ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

Pulse Techniques Demonstrator on Computer

ชื่อนักศึกษา 1. นางสาวสุปราณี เส็มหมาด รหัสประจำตัว 46035453

2. นางสาวอุทุมพร พราหมสุทธิ รหัสประจำตัว 46035460

3. นายจรัส ประเสริฐศรี รหัสประจำตัว 46035721

4. นายนเรศ ดอกลำเจียก รหัสประจำตัว 46035726

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล	
2. อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์	
3. อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ	
4. อาจารย์สุชิน อาจหาญ	
5. อาจารย์สุระชัย พิมพ์สาลี	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันเสาร์ที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 เวลา 15.45 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.สุรสิทธิ์ ราตรี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

<BT4710132>

ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์

ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

PULSE TECHNIQUES DEMONSTRATOR ON COMPUTER

T059506

นางสาวสุปราณี เส็มหมาด
นางสาวอุทุมพร พราหมสุทธิ
นายจรัส ประเสริฐศรี
นายนเรศ ดอกลำเจียก

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

ปพ.
ส823ข
2547

เลขหมู่ 59506
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 6 ธ.ค. 2549

b 11556935x
i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

Pulse Techniques Demonstrator on Computer

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรพัลส์เทคนิค, การเขียนโปรแกรม, การอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์

2. เพื่อออกแบบวงจรประกอบชุดทดลองวงจรพัลส์เทคนิค, ออกแบบโปรแกรมควบคุม, ออกแบบใบงานประกอบการทดลอง

3. เพื่อสร้างวงจรประกอบชุดทดลอง, เขียนโปรแกรมและใบงานประกอบการทดลอง

4. เพื่อทำการทดลองและทดสอบการทำงานของชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

5. เพื่อนำชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ไปใช้งานจริง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ความรู้เรื่องการทำงานของวงจรพัลส์เทคนิค ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมและการอินเตอร์เฟส

2. ได้ประกอบชุดทดลองวงจรพัลส์เทคนิคผังงานของโปรแกรมควบคุม และรูปแบบของใบงานประกอบการทดลอง

3. ได้ชุดทดลองวงจรพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์, ใบงานประกอบการทดลองและโปรแกรมควบคุมการทำงาน

4. ได้ผลทดลองและผลทดสอบการทำงานของชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

5. ได้ชุดฝึกปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ไปใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อเรื่อง ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

ชื่อนักศึกษา นางสาวสุปราณี เส็มหมาด
นางสาวอุทุมพร พราหมสุทธิ
นายจรัส ประเสริฐศรี
นายนเรศ ดอกลำเจียก

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอชุดปฏิบัติการทดลองวงจรพัลส์เทคนิคแสดงผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยประกอบไปด้วยบอร์ดการทดลองและการ์ดอินเตอร์เฟส ซึ่งต่อร่วมระหว่างบอร์ดการทดลองและเครื่องคอมพิวเตอร์ การ์ดอินเตอร์เฟสทำการแปลงสัญญาณแอนะลอก จากบอร์ดการทดลองให้เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อเป็นอินพุตให้กับคอมพิวเตอร์ประมวลผลตามโปรแกรมที่สั่งงาน จากนั้นหน้าจอคอมพิวเตอร์จะแสดงรูปวงจรการทดลอง ขั้นตอนการปฏิบัติ การทดลองรูปสัญญาณที่ปรากฏ และคำถามท้ายการทดลอง

ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์นี้ จะสามารถนำไปใช้ในการประกอบการเรียนการสอนในวิชาวงจรพัลส์เทคนิค ในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Pulse Techniques Demonstrator on Computer	
Students	Miss Supranee	Semmard
	Miss Utumpon	Pramsuti
	Mr.Jarus	Prasertsree
	Mr.Nares	Doklumjeak
Advisor	Mr.Piya	Supavarasuwat
Co-Advisor	Mr.Amornchai	Chaichana
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education	
Program in	Industrial Instrument Technology	
Academic Year	2004	

ABSTRACT

Thesis present the project of pulse and Switching circuit Demonstrator on computer, which consists of demonstrated board and interface card, is connected between demonstrated board and computer. The interface card converts analog signal, from demonstrated board, to be digital signal input for computer to process according to command program. Computer monitor displays demonstrated circuit, step of the demonstrated operation, wave from and review question.

This Pulse Techniques Demonstrator on Computer can be used for learning and teaching in Pulse Techniques subject of Vocational Certificate education level very well.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องมาจากความร่วมมือของสมาชิกในกลุ่มทุกคน ขอขอบคุณบิดา มารดาที่สนับสนุนด้านทุนทรัพย์ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำและช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ขอขอบคุณอาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์ อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล ที่ให้คำแนะนำเรื่องการเขียนโปรแกรม ขอขอบคุณอาจารย์สุชิน อาจหาญที่ให้คำแนะนำในการสร้างวงจรดิจิตอลออสซิลโลสโคป ขอขอบคุณอาจารย์สุภาภรณ์ บุรีคำ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการออกแบบกราฟิก และขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ และขอบคุณเพื่อนๆ ที่ค่อยให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพัลซ์	3
2.2.1 รูปคลื่นชนิดต่างๆ	4
2.2.2 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์	8
2.2.3 วงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์	9
2.2.4 วงจรอาร์ซีดิฟเฟอร์เรนติเอเตอร์	12
2.2.5 วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณ	16
2.2.6 วงจรยกระดับสัญญาณ	23
2.2.7 สวิตช์ทรานซิสเตอร์	29
2.2.8 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	32
2.2.9 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	34
2.2.10 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	38
2.2.11 วงจรชมิตต์ทริกเกอร์	41
2.2.12 การใช้งานไทม์เมอร์	43
2.3 โปรแกรมวิชวลเบสิก	46
2.4 การอินเตอร์เฟส	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4.1 สัญญาณอินเตอร์เฟสของ PCI BUS	54
2.4.2 Request PIN แบ่งได้ตามหน้าที่ดั้งนี้	55
2.4.3 การทำงานของ BUS แบบพื้นฐาน	55
2.4.4 ขบวนการ เขียนข้อมูล	56
2.4.5 ขบวนการอ่านข้อมูล	57
2.5 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	57
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน	58
3.1 กล่าวนำ	58
3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์	58
3.3 วงจรภาคจ่ายไฟหลัก	60
3.3.1 การออกแบบและการสร้าง	60
3.3.2 การทำงาน	60
3.4 วงจรกำเนิดแรงดันแบบปรับค่าได้ 0 – 15 โวลต์	61
3.4.1 การออกแบบและการสร้าง	61
3.4.2 การทำงาน	61
3.5 วงจรกำเนิดแรงดันบวกลบแบบเลือกค่าได้	61
3.5.1 การออกแบบและการสร้าง	61
3.5.2 การทำงาน	62
3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณ	63
3.6.1 การออกแบบและการสร้าง	63
3.6.2 การทำงาน	63
3.7 วงจรนับความถี่	64
3.7.1 การออกแบบและการสร้าง	64
3.7.2 การทำงาน	65
3.8 วงจรลดทอนสัญญาณ	65
3.8.1 การออกแบบและการสร้าง	65
3.8.2 การทำงาน	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.9 วงจรยกระดับแรงดัน	66
3.9.1 การออกแบบและการสร้าง	66
3.9.2 การทำงาน	67
3.10 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล	67
3.10.1 การออกแบบและการสร้าง	67
3.10.2 การทำงาน	67
3.11 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	68
3.11.1 การออกแบบและการสร้าง	68
3.11.2 การทำงาน	69
3.12 วงจรบันทึกข้อมูลสัญญาณ	69
3.12.1 การออกแบบและการสร้าง	69
3.12.2 การทำงาน	70
3.13 การออกแบบกล่องและการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ	71
3.13.1 กล่องชุดการปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	71
3.13.2 หน้าปัทม์ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	72
3.14 การออกแบบโปรแกรม	73
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	75
4.1 การทดลองวงจรภาคจ่ายไฟหลัก	75
4.1.1 ลำดับขั้นการทดลอง	75
4.1.2 ผลการทดลอง	75
4.2 การทดลองวงจรกำเนิดแรงดันบวกลบแบบเลือกค่าได้	76
4.2.1 ลำดับขั้นการทดลอง	76
4.2.2 ผลการทดลอง	76
4.3 การทดลองวงจรกำเนิดแรงดันแบบปรับค่าได้ 0 – 15 โวลต์	76
4.3.1 ลำดับขั้นการทดลอง	76
4.3.2 ผลการทดลอง	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.4 การทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณ	77
4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง	77
4.4.2 ผลการทดลอง	77
4.5 การทดลองวงจรนับความถี่	80
4.5.1 ลำดับขั้นการทดลอง	80
4.5.2 ผลการทดลอง	80
4.6 การทดลองวงจรดิจิตอลออสซิลโลสโคป	81
4.6.1 ลำดับขั้นการทดลอง	81
4.6.2 ผลการทดลอง	82
4.7 การทดลองและผลการทดลองของแผงวงจรชุดปฏิบัติงาน	85
4.7.1 ลำดับขั้นการทดลอง	85
4.7.2 ผลการทดลอง	85
4.8 การทดลองหาความคลาดเคลื่อนของการวัดสัญญาณของดิจิตอลออสซิลโลสโคป	87
4.8.1 ลำดับขั้นการทดลอง	87
4.8.2 ผลการทดลอง	88
บทที่ 5 บทสรุป	89
5.1 สรุป	89
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	90
5.3 แนวทางการพัฒนา	90
บรรณานุกรม	94
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	92
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	99
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	112
ภาคผนวก ง แผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรม	124
ภาคผนวก จ ใบงาน	155
ภาคผนวก ฉ เฉลยใบงาน	238

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก ช คู่มือการใช้งาน	332
ภาคผนวก ซ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	338
ประวัติผู้แต่ง	361

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติที่ใช้วาดเส้น	51
2.2 คุณสมบัติต่างๆ ที่ใช้วาดรูปภาพทางเลขาคณิต	52
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างนาฬิกาที่เลือกออกมาและสัญญาณควบคุม	69
4.1 ผลของแรงดันที่วัดได้	75
4.2 ผลของแรงดันที่วัดได้	76
4.3 ผลของแรงดันที่วัดได้	77
4.4 ผลการทดลองวงจรนับความถี่	80
4.4 (ต่อ) ผลการทดลองวงจรนับความถี่	81
4.5 การเปรียบเทียบโดยใช้ดิจิตอลออสซิลโลสโคป AGILENT รุ่น 54621A วัดเทียบกับดิจิตอลออสซิลโลสโคปที่จัดทำขึ้น	88
ค.1 รายการอุปกรณ์วงจรอาร์ซี - ไทม์คอนแทน	113
ค.2 รายการอุปกรณ์วงจรอาร์ซี - ดิฟเฟอร์เร็นติเอเตอร์	113
ค.3 รายการอุปกรณ์วงจรอาร์ซี - อิรติเกรเตอร์	113
ค.4 รายการอุปกรณ์วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณ	114
ค.5 รายการอุปกรณ์วงจรยกระดับสัญญาณ	114
ค.6 รายการอุปกรณ์วงจรทรานซิสเตอร์สวิตซ์และอินเวอร์เตอร์	114
ค.6 (ต่อ)รายการอุปกรณ์วงจรทรานซิสเตอร์สวิตซ์และอินเวอร์เตอร์	115
ค.7 รายการอุปกรณ์วงจรจุดชนวนชมิตต์	115
ค.8 รายการอุปกรณ์วงจรไบสเตเบิล	116
ค.9 รายการอุปกณ์วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	116
ค.9 (ต่อ) รายการอุปกณ์วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	117
ค.10 รายการอุปกรณ์วงจรโมโนสเตเบิลมัลตไวเบรเตอร์	117
ค.11 รายการอุปกรณ์วงจรใช้งานไอซี 555 เป็นอะสเตเบิล	118
ค.12 รายการอุปกรณ์วงจรยกระดับแรงดัน	118
ค.13 รายการอุปกรณ์วงจรนับความถี่	119
ค.14 รายการอุปกรณ์วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.15 รายการอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบค่าคงที่	120
ค.15 (ต่อ)รายการอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบค่าคงที่	121
ค.16 รายการอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบปรับค่าได้	121
ค.17 รายการอุปกรณ์วงจรกำเนิดความถี่	122
ค.18 รายการอุปกรณ์วงจรบันทึกข้อมูล	122
ค.19 รายการอุปกรณ์วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	122
ค.19 (ต่อ) รายการอุปกรณ์วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	123
ค.20 รายการอุปกรณ์วงจรลดทอนสัญญาณ	123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปคลื่นกระแสสลับรูปสี่เหลี่ยม	3
2.1 (ต่อ) รูปคลื่นกระแสสลับรูปสี่เหลี่ยม	4
2.2 รูปคลื่นไซน์ที่ได้จากการดัดรูปคลื่นแบบครึ่งคลื่นและเต็มคลื่น	4
2.3 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมแบบต่าง ๆ เมื่อคาบเวลาของสัญญาณ $t_1 = t_2$ และ $t_1 \neq t_2$	5
2.4 สัญญาณลาดเอียงแบบต่างๆที่มีความลาดเอียงของสัญญาณแตกต่างกัน	6
2.5 องค์ประกอบของคลื่นของเอกซ์โพเนนเชียลแบบต่างๆ	7
2.6 ลักษณะของรูปคลื่นพัลส์	8
2.7 วงจรและลักษณะของรูปคลื่นที่ได้จากวงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์	10
2.8 วงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์	13
2.9 การเปรียบเทียบสัญญาณอินติเกรเตอร์และดิฟเฟอเรนติเอเตอร์	13
2.10 ลักษณะของสัญญาณแรงดันดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ของวงจรที่มีค่าเวลาคงที่ต่างๆ กัน	13
2.11 ค่าของแรงดันต่างๆ ที่ปรากฏในวงจรที่เวลา t ใดๆ และความหมายของเวลาทันที ทันใดก่อนและหลัง t_0	14
2.12 ความหมายของวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณ	16
2.13 ประเภทของวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณ	17
2.14 สภาวะการทำงานที่เวลาต่างๆ	17
2.14 (ต่อ) สภาวะการทำงานที่เวลาต่างๆ	18
2.15 สภาวะของวงจรไดโอดจริงที่เวลาต่างๆ	19
2.16 สภาวะการทำงานที่เวลาต่างๆ ของวงจร	20
2.17 วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบมีไบอัสและสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากการขริบ	21
2.18 สภาวะการทำงานที่เวลาต่างๆ ของวงจร	22
2.19 วงจรยกระดับสัญญาณ	23
2.20 วงจรยกระดับสัญญาณด้านลบ	24
2.21 วงจรยกระดับสัญญาณด้านบวก	24
2.21 (ต่อ) วงจรยกระดับสัญญาณด้านบวก	25
2.22 วงจรยกระดับสัญญาณแบบมีไบอัส	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 (ต่อ) วงจรยกระดับสัญญาณแบบมีไบอัส	28
2.23 สวิตช์ทรานซิสเตอร์	29
2.23 (ต่อ) สวิตช์ทรานซิสเตอร์	30
2.24 รูปคลื่นแสดงความหมายของวงจร	32
2.25 รูปร่างของสัญญาณจุดชนวนแบบต่างๆ	33
2.26 วงจรจุดชนวนตามส่วนต่างๆ ของวงจรโมโนสเตเบิล	33
2.27 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	34
2.28 วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์และลักษณะของสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจร	34
2.28 (ต่อ) วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์และลักษณะของสัญญาณที่จุดต่างๆ	35
2.28 (ต่อ) วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์และลักษณะของสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจร	36
2.29 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	38
2.30 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แบบคอลเลกเตอร์คัปปลิ้ง ON	39
2.31 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แบบคอลเลกเตอร์คัปปลิ้ง OFF	39
2.32 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แบบคอลเลกเตอร์คัปปลิ้ง	40
2.33 วงจรชมิตต์ทริกเกอร์	41
2.34 วงจรไบสเตเบิลชนิดอิมิตเตอร์คัปปลิ้ง	42
2.35 การทำงานของไอซี 555	44
2.35 (ต่อ) การทำงานของไอซี 555	45
2.36 การเริ่มต้นเข้าสู่ Visual Basic	48
2.37 แสดง IDE ของ Visual Basic	48
2.38 แถบเมนู	49
2.39 เมนู Context	49
2.40 แถบเครื่องมือ	50
2.41 สัญญาณอินเตอร์เฟสของ PCI BUS	54
2.42 ขบวนการเขียนข้อมูล	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.43 ขบวนการอ่านข้อมูล	56
2.44วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล	57
3.1 แผนผังการทำงานของชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิค	58
3.2 แผนผังการทำงานในส่วนของดิจิตอลออสซิลโลสโคป	59
3.3 วงจรภาคจ่ายไฟหลัก	60
3.4 วงจรกำเนิดแรงดันแบบปรับค่าได้ 0 – 15 โวลต์	61
3.5 วงจรจ่ายแรงดันบวกลบและแบบเลือกค่าได้	62
3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณ	63
3.7 วงจรนับความถี่	64
3.8 วงจรลดทอนสัญญาณ	66
3.9 วงจรยกระดับแรงดัน	66
3.10 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล	67
3.11 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	68
3.12 วงจรบันทึกข้อมูลสัญญาณ	70
3.13 ขนาดกล่องของชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิค	71
3.14 หน้าปัทม์ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลผลบนคอมพิวเตอร์	72
3.15 ขนาดของแผงทดลอง	72
3.16 ผังการทำงานของโปรแกรมประกอบการทดลอง	73
4.1 สัญญาณไซน์ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p	77
4.2 สัญญาณไซน์ที่ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p	78
4.3 สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p	78
4.4 สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p	79
4.5 สัญญาณสามเหลี่ยมที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p	79
4.6 สัญญาณสามเหลี่ยมที่ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p	80
4.7 สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้ในการทดลองโปรแกรม	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้ในการทดลองโปรแกรม	82
4.9 สัญญาณไซน์ที่ได้ในการทดลองโปรแกรม	83
4.10 สัญญาณไซน์ที่ได้จากการวัดเทียบออสซิลโลสโคป	83
4.11 สัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากการทดลองโปรแกรม	84
4.12 สัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากการวัดเทียบออสซิลโลสโคป	84
4.13 วงจรอาร์ซี ไทม์คอนแทน	85
4.14 สัญญาณที่วัดเทียบจากโปรแกรม	85
4.15 สัญญาณ V_{OUT} ที่วัดเทียบจากโปรแกรม	86
4.16 สัญญาณ V_{IN} ที่วัดเทียบจากออสซิลโลสโคปภายนอก	86
4.17 สัญญาณ V_{OUT} ที่วัดเทียบจากออสซิลโลสโคปภายนอก	87
ก.1 รูปหน้ากล่อง	93
ก.2 รูปหลังกล่อง	93
ก.3 ส่วนประกอบทั้งหมดของชุดปฏิบัติการทดลอง	94
ก.4 กล่องใส่แผงทดลอง	94
ก.5 แผงทดลองชุดปฏิบัติการพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	95
ก.6 แผงใส่อุปกรณ์	95
ก.7 วงจรแปลงสัญญาณแนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	96
ก.8 วงจรกำเนิดแรงดัน	96
ก.9 การ์ดอินเตอร์เฟส	97
ก.10 วงจรลดทอนและยกระดับสัญญาณอินพุต	97
ก.11 วงจรกำเนิดสัญญาณ	98
ก.12 วงจรนับความถี่	98
ข.1 ส่วนคบคุมระดับแรงดันไฟแบบค่าคงที่	100
ข.2 ส่วนควบคุมระดับแรงดันไฟแบบปรับค่าได้ 0 – 15 โวลต์	100
ข.3 ส่วนควบคุมระดับแรงดันไฟแบบบวกลบ	101
ข.4 ลายทองแดงส่วนควบคุมระดับแรงดันไฟ	102
ข.5 การวางอุปกรณ์ของส่วนควบคุมระดับแรงดันไฟ	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.6 วงจรกำเนิดสัญญาณ	104
ข.7 การวางอุปกรณ์วงจรกำเนิดสัญญาณ	104
ข.8 ลายทองแดงของวงจรกำเนิดสัญญาณ	105
ข.9 รูปวงจรนับความถี่	105
ข.10 ลายทองแดงวงจรนับความถี่	106
ข.11 การวางอุปกรณ์ของวงจรนับความถี่	106
ข.12 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลและวงจรยกระดับสัญญาณ	107
ข.13 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	107
ข.14 วงจรบันทึกข้อมูล	108
ข.15 ลายทองแดงดิจิตอลออสซิลโลสโคป	109
ข.16 การวางอุปกรณ์ของดิจิตอลออสซิลโลสโคป	110
ข.17 ลายทองแดงวงจรยกระดับแรงดันและวงจรลดทอนสัญญาณ	111
ข.18 การวงอุปกรณ์ของวงจรยกระดับแรงดันและวงจรลดทอนสัญญาณ	111
ง.1 ผังการทำงานของโปรแกรมนับความถี่	125
ง.1 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรมนับความถี่	126
ช.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของชุดปฏิบัติการพัลส์เทคนิค แสดงผลบนคอมพิวเตอร์ด้านหน้า	334
ช.2 ส่วนประกอบและปุ่มคบคุมของชุดปฏิบัติการพัลส์เทคนิค แสดงผลบนคอมพิวเตอร์ด้านบน	335

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติพัลส์เทคนิคมีปัญหาที่พบมาก คือ ในขณะที่ทำการทดลองจะต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่อร่วมกันเป็นจำนวนมาก เช่น เครื่องกำเนิดสัญญาณ แหล่งจ่ายไฟ แผงต่อวงจร อุปกรณ์ในการทดลอง และออสซิลโลสโคป ซึ่งมีราคาสูง เมื่อเปรียบเทียบกับโครงงานเดิมที่มีอยู่ที่ใช้คอมพิวเตอร์แทนออสซิลโลสโคป และสามารถใช้งานต่อร่วมกับแผงชุดฝึกซึ่งเป็นโครงงานที่น่าสนใจแต่ยังมีปัญหา คือ ใบงานไม่ครอบคลุมกับหลักสูตรปัจจุบัน และอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานมีคุณภาพต่ำเมื่อเทียบกับปัจจุบัน ดังนั้นจึงคิดปรับปรุงโครงงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

1.มีใบงานปฏิบัติการทดลองที่ครอบคลุมหลักสูตรวิชาพัลส์เทคนิค ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 12 ใบงานประกอบด้วย

1.1) การวัดค่า RC Time Constant โดยใช้ออสซิลโลสโคป

1.2) วงจรดิฟเฟอร์เร็นติเอเตอร์

1.3) วงจรอินติเกรเตอร์

1.4) วงจรไดโอดลิมิตเตอร์ชนิดมีไบแอสและไม่มีไบแอส

1.5) วงจรไดโอดแคลมเปอร์ชนิดมีไบแอสและไม่มีไบแอส

1.6) ทรานซิสเตอร์สวิตช์

1.7) ไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

1.8) อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

1.9) โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

1.10) การใช้งานไอซี 555 เป็นโมโนสเตเบิลและอะสเตเบิล

1.11) วงจรชมิตต์ทริกเกอร์

2 สามารถวัดและแสดงรูปสัญญาณปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์ได้ 2 ช่องสัญญาณ สามารถวัดความถี่ได้ 20 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถแสดงรูปวงจรที่ใช้ปฏิบัติงานขั้นตอนในการทดลอง และคำถามท้ายการทดลองบนจอคอมพิวเตอร์

4 สามารถพิมพ์ใบงานเพื่อใช้ประกอบการทดลองได้

5 มีคำถามแบบปรนัย เพื่อวัดความสามารถของนักศึกษา

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ ขีดความสามารถของโครงงานและเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึง ทฤษฎี และหลักการทำงานของวงจรการปฏิบัติการทดลอง การ์ดอินเตอร์เฟสที่ใช้ และโปรแกรมที่ใช้เขียนสั่งงานคอมพิวเตอร์

บทที่ 3 การสร้าง การออกแบบและการทำงานกล่าวถึง การออกแบบและการสร้างวงจรต่างๆ ได้แก่ วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง วงจรกำเนิดความถี่ การ์ดอินเตอร์เฟส วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล ผังงานของโปรแกรม และโปรแกรมที่ใช้เขียนสั่งงานคอมพิวเตอร์

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองกล่าวถึง เนื้อหาเกี่ยวกับลักษณะของสัญญาณที่ได้จากจุดทดสอบต่างๆ ของชุดทดลอง ซึ่งได้แบ่งชุดทดลองออกเป็น 12 การทดลอง ลำดับขั้นการทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข เป็นการสรุปถึงข้อบกพร่อง และแนวทางในการแก้ไขชุดทดลองนี้

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง แผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรม

ภาคผนวก จ ใบงาน

ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งาน

ภาคผนวก ช รายระเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

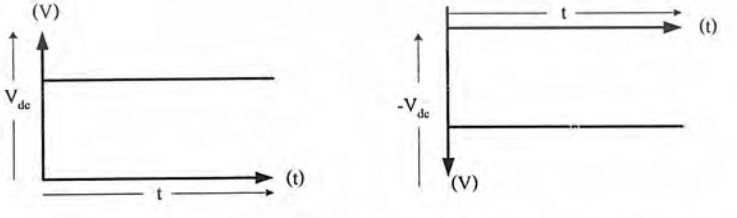
บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการ

2.1 กล่าวนำ

ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ และหลักการที่นำมาใช้ประกอบการสร้างโครงงาน โดยประกอบด้วย ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพัลส์ ทฤษฎีและหลักการของการอินเตอร์เฟส การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โปรแกรมวิชวลเบสิก ซึ่งจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพัลส์

รูปคลื่นสัญญาณจะแสดงคุณลักษณะซึ่งเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างขนาด (Amplitude) กับเวลา โดยขนาดอาจปรากฏในรูปของแรงดัน หรือกระแส โดยสามารถเขียนลงในกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ เช่น รูปคลื่นของขนาดแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรงด้านบวก ($+V_{dc}$) และรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านลบ ($-V_{dc}$) แสดงในรูปที่ 2.1 (ก), (ข) ซึ่งเป็นรูปคลื่นที่เกิดอย่างต่อเนื่องปรากฏสม่ำเสมอ อีกลักษณะหนึ่งซึ่งพบเห็นเสมอในการวิเคราะห์รูปคลื่น คือ รูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับรูปไซน์ หรือรูปคลื่นกระแสสลับรูปสี่เหลี่ยม (AC Between Positive And Negative) ซึ่งเป็นรูปคลื่นชนิดปรากฏสม่ำเสมอ เช่นกันบางครั้งเรียกว่า Periodic waveform แสดงในรูปที่ 2.1 (ค), (ง) รูปคลื่นที่ปรากฏชั่วขณะ (Transients) สังเกตได้ชัดเจนจากรูปคลื่นที่เป็นชนิดสม่ำเสมอ เช่น V_{dc} ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ง) มีสัญญาณผิดปกติเกิดขึ้นชั่วขณะอาจเกิดขึ้นทางด้านบวกหรือด้านลบ ลักษณะนี้เรียกว่ารูปคลื่นชั่วขณะ

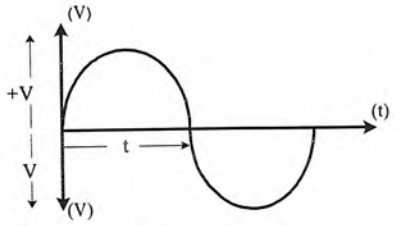


(ก) Graph of positive dc voltage versus time

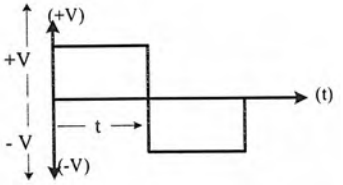
(ข) Graph of negative dc voltage versus time

รูปที่ 2.1 รูปคลื่นกระแสสลับรูปสี่เหลี่ยม

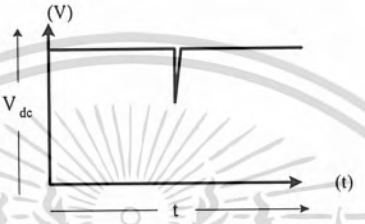
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) Graph of instantaneous value of ac dc voltage versus time



(ง) Wavefrom that alternates between positive and negative dc voltage levels



(จ) Transient on a dc voltage

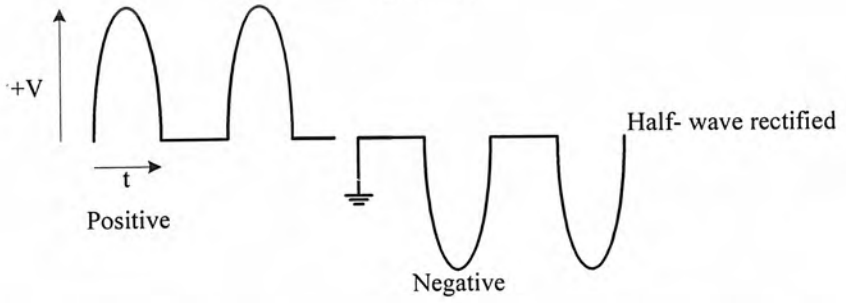
รูปที่ 2.1 (ต่อ) รูปคลื่นกระแสสลับรูปสี่เหลี่ยม

2.2.1 รูปคลื่นชนิดต่าง ๆ (Miscellaneous waveforms)

1) รูปคลื่นไซน์

เป็นรูปคลื่นทางไฟฟ้าที่พบมากในการทดลองซึ่ง อาจจะพบในลักษณะครึ่งคลื่น (Half wave) หรือเต็มคลื่น (Full wave) ซึ่งเป็นรูปคลื่นไซน์กระแสตรงที่ได้จากการเรียงกระแส (Rectification) หรือรูปคลื่นไซน์กระแสสลับ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

Sinusoidal

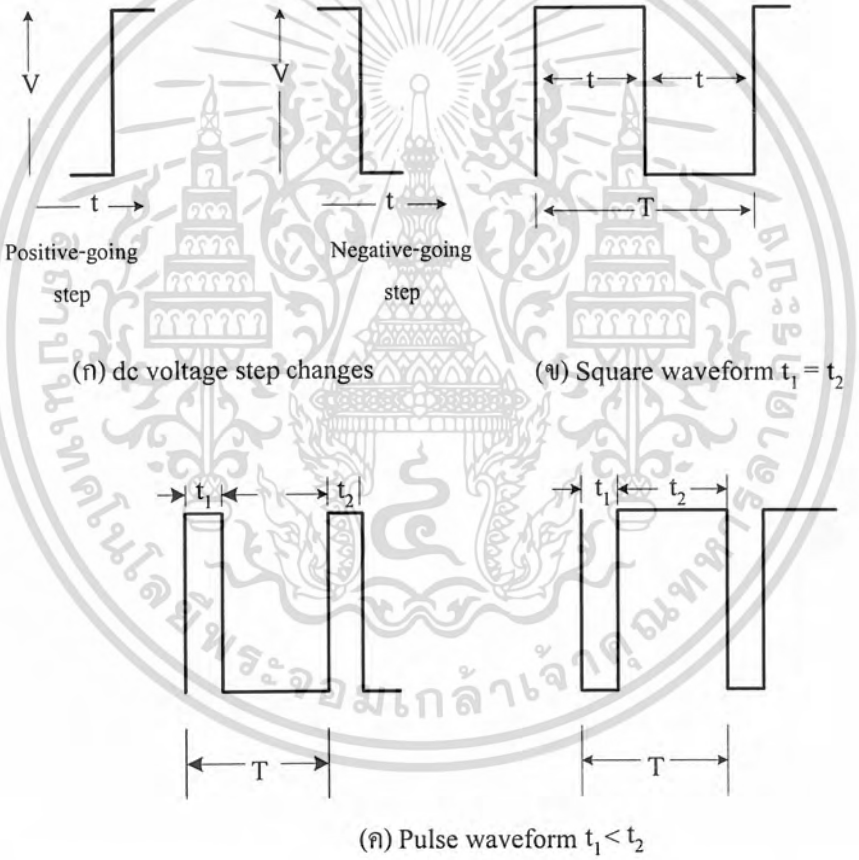


รูปที่ 2.2 รูปคลื่นไซน์ที่ได้จากการตัดรูปคลื่นแบบครึ่งคลื่นและเต็มคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Rectangular)

เกิดจากระดับของแรงดันไฟตรง (V_{dc}) ที่เปลี่ยนแปลงเป็นขั้น (Step changes) หรือรูปคลื่นขั้นบันไดสองลักษณะ คือ Positive – going step และ Negative – going step ดังรูปที่ 2.3 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีการเปลี่ยนแปลงคาบเวลาด้านบวกของสัญญาณ และคาบเวลาด้านลบ (t_2) เท่ากันหรือ $t_1 = t_2$ เราเรียกเฉพาะว่ารูปคลื่นจัตุรัส (Square wave) ดังแสดงในรูป 2.3 (ข) แต่ถ้าคาบเวลาของสัญญาณด้านบวก (t_1) และด้านลบ (t_2) ไม่เท่ากันหรือ $t_1 \neq t_2$ จะเรียกชื่อรูปคลื่นนี้ว่า รูปคลื่นพัลส์ ดังรูป 2.3 (ค)



รูปที่ 2.3 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมแบบต่าง ๆ เมื่อคาบเวลาของสัญญาณ $t_1 = t_2$ และ $t_1 \neq t_2$

สัญญาณลาดเอียง (Ramp) ประกอบจากลักษณะของรูปคลื่นสัญญาณแรงดันที่มีความลาดเอียงด้านบวก (Positive-going ramp) และรูปคลื่นที่ลาดเอียงทางด้านลบ (Negative going ramp) ในรูป 2.4 (ก) ความลาดเอียงของสัญญาณทั้งสองเท่ากันเราเรียกว่า รูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

wave) รูป 2.4 (ข) ความลาดเอียงของสัญญาณทั้งสองไม่เท่ากันเรียกว่า รูปคลื่นฟันเลื่อย (Sawtooth waveforms) ดังรูป 2.4 (ค)

(ก) Ramp Voltage

(ข) Triangular wave

(ค) Saw tooth waveforms

รูปที่ 2.4 สัญญาณลาดเอียงแบบต่างๆที่มีความลาดเอียงของสัญญาณแตกต่างกัน

3) รูปคลื่นเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential)

รูปคลื่นพัลส์บางกรณีเกิดจากการเก็บประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุ ซึ่งเป็นไปตามสมการสองสมการ คือสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$V = Ee^{-Kt} \tag{2.1}$$

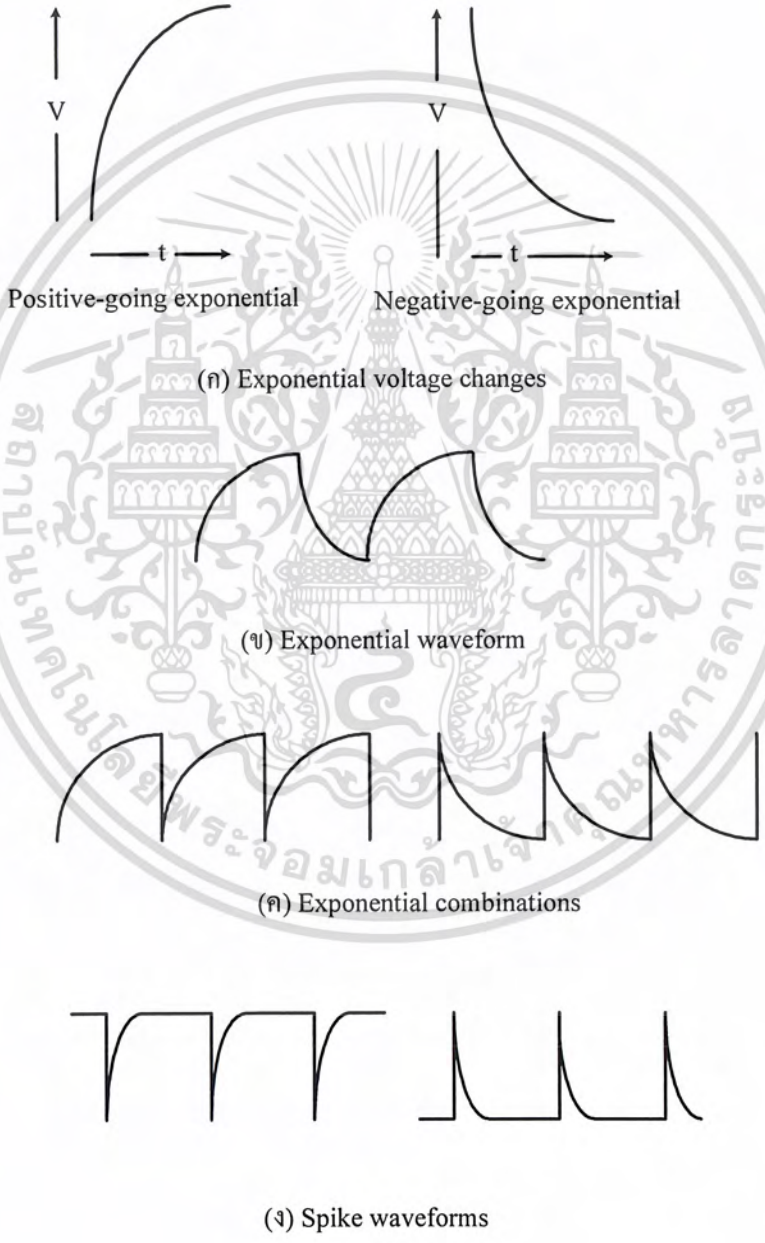
$$V = E(1-e^{-Kt}) \tag{2.2}$$

เมื่อ K คือ ค่าคงที่ (ค่า R และ C ในวงจร)

e คือ ค่าคงที่เอกซ์โพเนนเชียลมีค่า 2.718

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ 2.1 ทำให้เกิดคลื่นเอกซ์โพเนนเชียลแบบ Positive-going และสมการ 2.2 ทำให้เกิดคลื่นเอกซ์โพเนนเชียลแบบ Negative-going ดังแสดงในรูปคลื่นเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential waveform) ดังรูป 2.5 (ข) และถ้านำคลื่นเอกซ์โพเนนเชียลผสมกับรูปคลื่นขั้นบันไดจะเป็นดังรูปที่ 2.5 (ค), (ง)



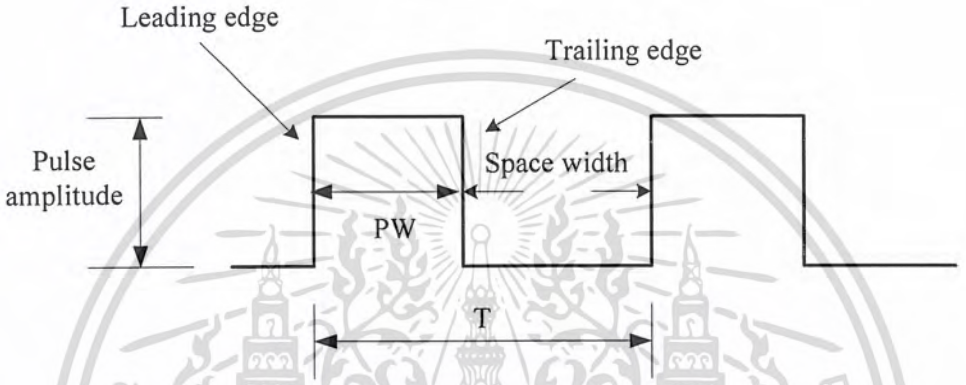
รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของคลื่นเอกซ์โพเนนเชียลแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์

1) รูปคลื่นพัลส์ในอุดมคติ (Ideal pulse waveform)

คือ รูปคลื่นพัลส์ที่พิจารณาโดยไม่คิดช่วงเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้น ในขณะที่สัญญาณพัลส์มีการเปลี่ยนแปลงจากระดับแรงดันต่ำไปสู่ระดับแรงดันสูง หรือจากระดับแรงดันสูงไปสู่ระดับแรงดันต่ำลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ในอุดมคติแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะของรูปคลื่นพัลส์

2) ขนาดของพัลส์ (Pulse Amplitude)

คือ ค่าที่วัดจากระดับแรงดันศูนย์โวลต์ไปถึงค่าสูงสุด (Peak value) ของพัลส์

3) ขอบหน้าของพัลส์ (Leading Edge)

คือ ขั้นของสัญญาณที่เปลี่ยนค่าจากระดับแรงดันต่ำไปสู่ขนาดแรงดันสูงสุด พิจารณาจากที่เวลา $t = 0$

4) ขอบหลังของพัลส์ (Trailing Edge)

คือ ขั้นของสัญญาณที่เปลี่ยนค่าจากระดับแรงดันสูงสุดของพัลส์ไปสู่ระดับต่ำสุดของพัลส์

5) คาบเวลาของพัลส์ (Time Period)

ใช้ตัวย่อว่า T คือ ระยะเวลาที่วัดจากขอบหน้าของพัลส์ที่เวลา จนถึงขอบหน้าของพัลส์รูปคลื่นต่อไป

ถ้าคาบเวลาของพัลส์มีค่า $t = 1$ วินาที (Sec)

ความถี่ของพัลส์ (Pulse Repetition Frequency : PRF) = 1 วัฏจักร (Cycle)

หรือ = 1พัลส์ต่อวินาที (Pulse Per Sec : PPS)

หรือ PRF = 1/T PPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ความกว้างของพัลส์ (Pulse Width : PW)

คือ ช่วงเวลาที่วัดจากขอบหน้าของพัลส์จนถึงขอบหลังของพัลส์

7) ช่องว่างระหว่างพัลส์ (Space Width : SW)

คือ ช่วงเวลาที่วัดจากขอบหลังของพัลส์รูปคลื่นแรกจนถึงขอบหน้าของพัลส์รูปคลื่นถัดไป

8) อัตราส่วนของพัลส์ (M/S Ratio)

คือ อัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ PW กับช่องว่างระหว่างพัลส์

$$\text{M/S ratio} = \frac{PW}{SW} \tag{2.3}$$

9) วัฏจักรหน้าที่ (Duty Cycle)

คือ ร้อยละของอัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ (PW) กับคาบเวลาของพัลส์ (T)

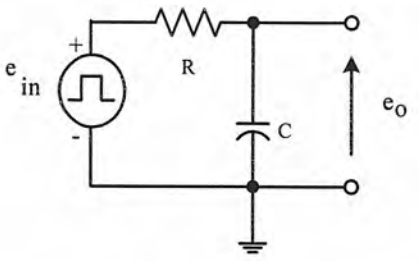
$$\text{Duty Cycle} = \frac{PW}{T} x100\% \tag{2.4}$$

2.2.3 วงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์

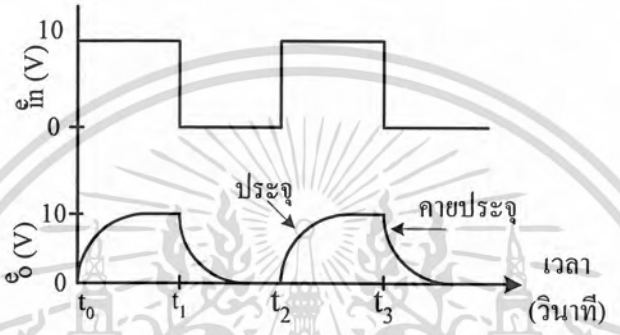
เมื่อสัญญาณคลื่นที่ไม่ใช่รูปไซน์ ถูกป้อนผ่านเข้ามาในวงจรประเภทเชิงเส้น แล้วผลที่ได้ทางเอาต์พุตจะมีลักษณะที่แตกต่างจากสัญญาณเดิม วงจรไฟฟ้าดังกล่าวนี้มักจะถูกเรียกว่า "วงจรแต่งรูปคลื่นเชิงเส้น" (Linear Waveshaping Circuit) ซึ่งอาจจัดแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท คือ วงจรอาร์ซี (RC Circuit), วงจรอาร์แอล (RL Circuit), วงจรอาร์แอลซี (RLC Circuit) วงจรอาร์ซีนับได้ว่าเป็นวงจรแต่งรูปคลื่นที่ง่ายที่สุด

วงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์เป็นวงจรซึ่งประกอบด้วยตัวความต้านทาน (R) และตัวเก็บประจุ (C) ต่ออนุกรมอยู่กับแหล่งจ่ายแรงดัน (รูปพัลส์ใดๆ) ดังรูปที่ 2.7 (ก) โดยแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ (e_o) เมื่อสัญญาณเอาต์พุตและมีลักษณะดังรูปที่ 2.7 (ข) หรือพิจารณาดูแล้วจะเห็นว่าวงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์ก็คล้ายกับวงจรกรองสัญญาณแบบอาร์ซี ซึ่งยอมให้สัญญาณความถี่ต่ำผ่านไปได้ (Low Pass RC Filter) นั่นเองจากการทำงานในรูปที่ 2.7 (ก) และ (ข) อาจกล่าวได้ว่าเนื่องจากพัลส์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากก็คือสัญญาณรูปไซน์ที่มีความถี่ฮาร์โมนิคหลายๆ คลื่น มารวมกันและเมื่อเจอกับวงจรกรองสัญญาณแบบอาร์ซี ซึ่งยอมให้ความถี่ต่ำผ่านไปได้แต่จะดักหรือกรองสัญญาณความถี่สูงไว้ ดังนั้นส่วนที่เป็นความถี่ฮาร์โมนิคสูงๆ ก็จะถูกลัดวงจรให้ลงกราวด์ เนื่องจากค่ารีแอคแตนซ์ X_c ของตัวเก็บประจุจะมีค่าน้อยลงเมื่อความถี่มีค่าสูงขึ้น ดังนั้นสัญญาณที่เอาต์พุตจึงมีลักษณะไม่ใช่คลื่นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์



(ข) รูปคลื่นของแรงดัน

รูปที่ 2.7 วงจรและลักษณะของรูปคลื่นที่ได้จากวงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์

1) การทำงานของวงจร

การทำงานของวงจรดังรูปที่ 2.7 (ก) ที่เวลา t_0 สัญญาณแรงดันอินพุตที่มีขนาด 10 โวลต์ จะถูกป้อนเข้ามาจากช่วงเวลา t_0 ถึง t_1 จึงคล้ายกับว่าวงจร RC ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดัน 10 โวลต์ และในทันทีที่แรงดันถูกป้อนเข้ามา แรงดันทั้งหมดจะปรากฏตกคร่อมตัวความต้านทาน R ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในช่วงเวลาที่เป็นศูนย์ตัวเก็บประจุยังไม่เริ่มเก็บประจุไฟฟ้า ดังนั้นจึงไม่มีแรงดันใดๆ ตกคร่อมตัวเก็บประจุ กระทั่งเวลาผ่านไปจึงมีการสะสมประจุอิเล็กตรอนที่ด้านใดด้านหนึ่งของตัวเก็บประจุ C จึงทำให้เกิดมีแรงดันตกคร่อมตัว C

แต่จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์กล่าวไว้ว่า “ผลรวมของแรงดันที่ตกคร่อมอยู่ในวงจรปิดทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแหล่งจ่ายแรงดันในวงจรนั้น” ดังนั้นผลรวมของแรงดันที่ตกคร่อมตัวความต้านทานและตัวเก็บประจุ จะต้องมีค่าเท่ากับแหล่งจ่ายแรงดัน +10 โวลต์ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก t_0 จนถึง t_1 อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านวงจรและทำการสะสมประจุให้แก่ตัวเก็บประจุจนกระทั่งแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าเป็น +10 โวลต์อิเล็กตรอนจึงหยุดไหล นั่นคือขณะนี้แรงดันทั้งหมดจะปรากฏตกคร่อมตัวเก็บประจุ ถ้าหากช่วงเวลาของการสะสมประจุมีค่ามากพอ ก็จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะคลื่นของแรงดันที่เอาต์พุต (e_o) ดังรูปที่ 2.7 (ข) คือ เมื่อเวลา t_1 ตัวเก็บประจุจะถูกสะสมประจุจนถึงค่า +10 โวลต์ และที่เวลา t_0 พัลส์จะไม่ปรากฏ วงจรในขณะนี้จึงคล้ายกับไม่มีแหล่งจ่ายแรงดันถูกลัดวงจร ดังนั้นตัวเก็บประจุซึ่งขณะนี้มีแรงดันตกคร่อมอยู่ 10 โวลต์จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันในวงจรแล้วเริ่มปล่อยประจุ ออกมาทำให้เกิดกระแสอิเล็กตรอนไหลผ่านตัวความต้านทาน เมื่อประจุถูกปล่อยออกมาจนหมด แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าเป็นศูนย์และไม่มีกระแสไหลในวงจร สมการซึ่งแสดงค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในขณะมีการสะสมประจุของตัวเก็บประจุแสดงดังสมการที่ 2.5 เรียกว่า "สมการสะสมประจุ"

$$e_c = \mathrm{E}\ (1 - \varepsilon^{-t/RC}) \tag{2.5}$$

ซึ่งสมการนี้เรียกว่า "สมการสะสมประจุ" (Charge Equation)

โดยที่ e_c คือ ค่าของแรงดันซึ่งตกคร่อมตัวเก็บประจุที่เวลา t ใดๆ

E คือ ค่าของแรงดันที่ป้อนให้กับวงจร (V)

ε คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 2.718 หรือเรียกว่าค่าเอ็กซ์โปเนนเชียล

t คือ เวลาที่ตัวเก็บประจุใช้ในการสะสมประจุ (Charge) (Sec)

R คือ ค่าความต้านทานของตัวความต้านทานในวงจร ซึ่งอิเล็กตรอนจะไหลผ่านเพื่อไปสะสมที่ตัวเก็บประจุ (Ω)

C คือ ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่ต่อในวงจร (F)

และสมการซึ่งแสดงค่าของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในขณะที่มีการคายประจุจากตัวเก็บประจุแสดงได้ดังสมการที่ 2.6 เรียกว่า "สมการคายประจุ"

$$e_c = E.\varepsilon^{-t/RC} \tag{2.6}$$

โดยที่ e_c คือ ค่าของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่เวลา t ใดๆ (V)

E คือ ค่าแรงดันที่สูงสุดที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุก่อนที่จะมีการคายประจุเกิดขึ้น

t คือ เวลาที่ตัวเก็บประจุใช้ในการคายประจุ

ε คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 2.718

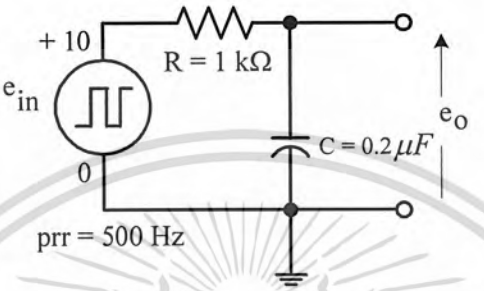
R คือ ค่าความต้านทานของตัวความต้านทานที่ต่อในวงจรซึ่งอิเล็กตรอนต้องไหลผ่านในขณะที่ตัวเก็บประจุคายประจุ (Ω)

C คือ ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่ต่อในวงจร (F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การวิเคราะห์วงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์

โดยพิจารณารูปที่ 2.8 ซึ่งเป็นวงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์ที่มีค่าเวลาคงที่ปานกลางถ้าหากแรงดันที่อินพุตเป็นพัลส์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ให้หาลักษณะของคลื่นแรงดันและขนาดของคลื่นจากเอาต์พุตของวงจรที่ปรากฏบนจอออสซิลโลสโคป



รูปที่ 2.8 วงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์

กำหนดให้แรงดันอินพุต $E = 10\,\text{Vpeak}$, 500 Hz (เป็นคลื่นรูปจัตุรัส) ($p.r.t$) คือ ช่วงเวลาที่พัลส์เกิดซ้ำ

$$R = 1000\Omega$$

$$C = 2\mu F$$

ดังนั้น $$p.r.t = \frac{1}{p.r.t} = \frac{1}{500} = 2\ m\ \text{sec}$$

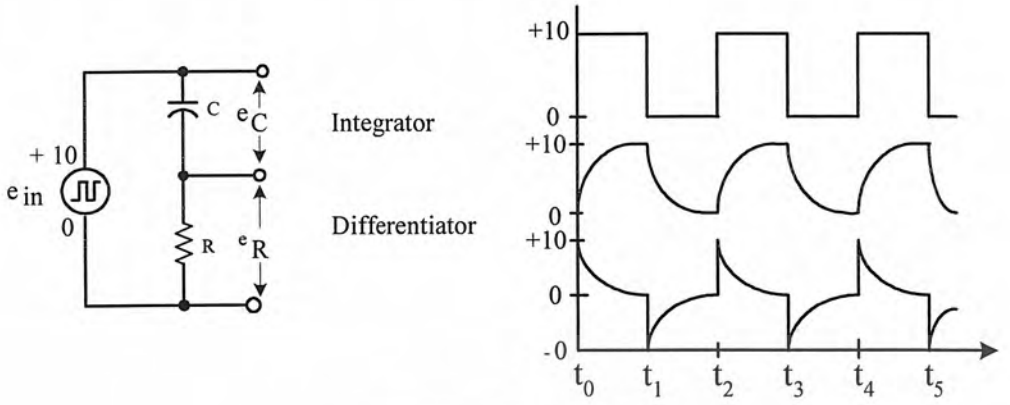
$$t_p = \frac{p.r.t}{2} = \frac{2\times10^{-3}}{2} = 1\ m\ \text{sec}$$

$$\tau = RC = 100\times2\times10^{-6} = 2\ m\ \text{sec}$$

2.2.4 วงจรอาร์ซีดิฟเฟอร์เรนติเอเตอร์

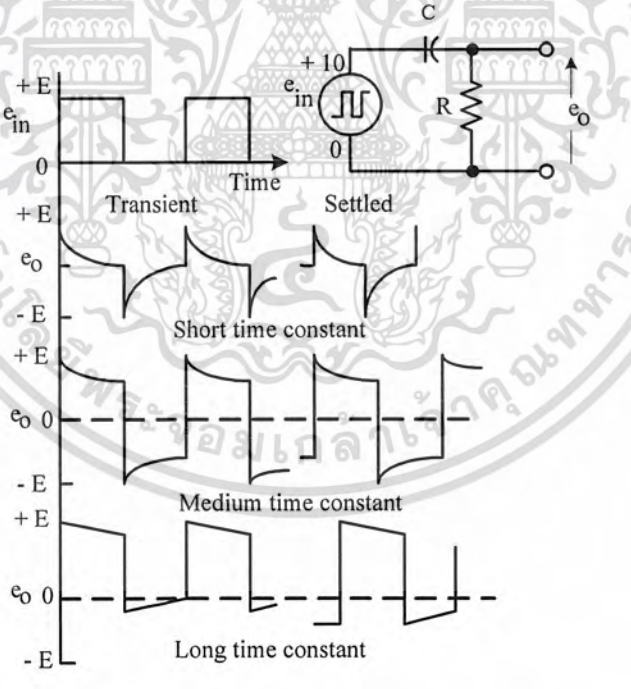
วงจรอาร์ซีดิฟเฟอเรนติเอเตอร์ คือ วงจรซึ่งประกอบด้วยตัวความต้านทานและตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดัน โดยแรงดันเอาต์พุต ได้แก่ แรงดันที่ตกคร่อมตัวความต้านทาน โดยทั่วไปสัญญาณจากแหล่งจ่าย จากแรงดันมักเป็นสัญญาณแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมมุมฉาก สัญญาณแรงดันที่เอาท์พุตนี้นิยมเรียกว่าสัญญาณดิฟเฟอเรนติเอเตอร์ เขียนเปรียบเทียบกับสัญญาณอินติเกรเตอร์ได้ดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การเปรียบเทียบสัญญาณอินติเกรเตอร์และดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์

สัญญาณแรงดันดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ ได้แก่ สัญญาณแรงดันของวงจรอาร์ซีดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ที่ปรากฏตกคร่อมตัวความต้านทาน ลักษณะของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับค่าเวลาคงที่ของวงจรนั้นๆ ดังรูปที่ 2.10 เป็นลักษณะสัญญาณดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ของวงจรที่มีค่าเวลาคงที่ต่างๆ กัน



รูปที่ 2.10 ลักษณะของสัญญาณแรงดันดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ของวงจรที่มีค่าเวลาคงที่ต่างๆ กัน

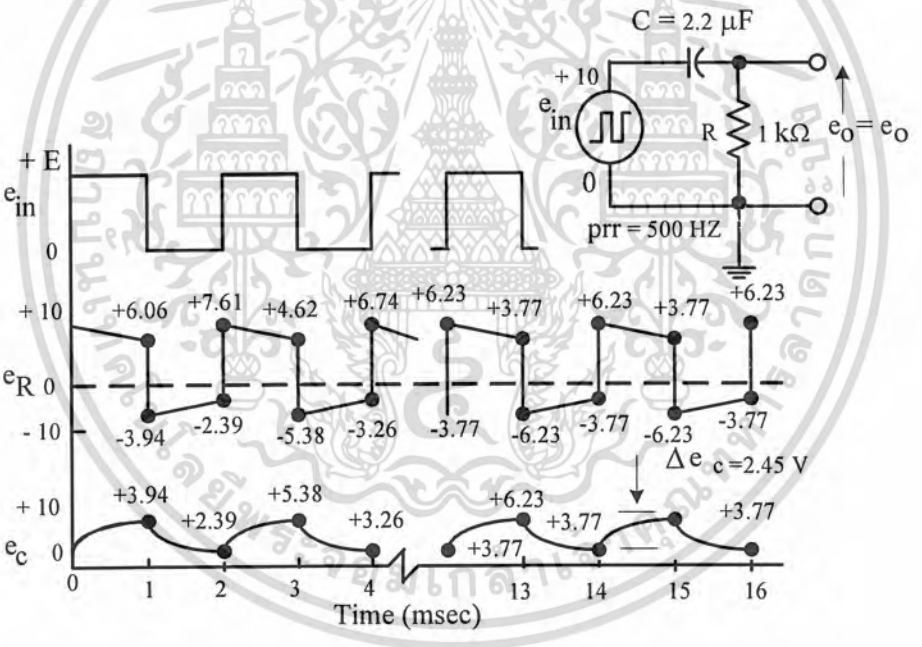
นอกจากนี้แล้ววงจรอาร์ซีดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ในรูปที่ 2.10 พิจารณาได้ว่าเป็นวงจรกรองสัญญาณประเภทความถี่สูงผ่านแบบอาร์ซี คือ สัญญาณที่มีความถี่สูงจึงจะผ่านไปได้ดีส่วนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำจะถูกต้านทานหรือกรองไว้ ซึ่งสามารถพิสูจน์ให้เห็นได้โดยการพิจารณาแรงดันที่เอาต์พุตของวงจรที่มีค่าเวลาคงที่นานๆ ในรูปที่ 2.10 จะเห็นว่าลักษณะของสัญญาณจะมีขอบมุมซึ่งมีความคมมาก ซึ่งแสดงว่าสัญญาณนี้ประกอบด้วยคลื่นความถี่ย่อยรูปไซน์ที่มีค่าความถี่สูงๆ

1) การทำงานของวงจร

การทำงานของวงจรชนิดนี้ จะพิจารณาค่าของแรงดันต่างๆ ซึ่งปรากฏในวงจรที่เวลา t ใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 เมื่อเวลา t_0 แรงดันอินพุต คือ 0 โวลต์และเป็น +10 โวลต์ กล่าวคือที่ t_0 แรงดันอินพุตจะเป็น 0 และทันทีทันใดหลังจากเวลา t_0 แรงดันจะมีค่าเป็น +10 โวลต์ ดังนั้นเพื่อให้เห็นค่าความแตกต่างกันของแรงดันที่กล่าวมานี้เวลา t_0 จึงถูกพิจารณาได้ว่า เมื่อเวลาก่อน t_0 ซึ่งค่าแรงดันอินพุตเป็น 0 โวลต์เขียนแทนด้วย t_0 และเวลาทันทีทันใดภายหลังt_0 ซึ่งค่าแรงดันอินพุตเป็น +10 โวลต์ เขียนแทนด้วย t_{+0} ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ค่าของแรงดันต่างๆ ที่ปรากฏในวงจรที่เวลา t ใดๆ และความหมายของเวลาทันทีทันใดก่อนและหลัง t_0

ที่เวลา t_0 แรงดันซึ่งตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่า 0 โวลต์ ดังนั้นแรงดันทั้งหมดของสัญญาณอินพุตจะปรากฏตกคร่อมที่ตัวความต้านทาน R เป็นไปตามกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ นั่นเองสัญญาณอินพุต +10 จะถูกป้อนเข้าไปในวงจรเป็นเวลา 1 มิลลิวินาที ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวนี้ตัวเก็บประจุมีเวลาในการสะสมประจุกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 1 มิลลิวินาที เกิดมีแรงดันตกคร่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุ +3.94 โวลต์ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมตัวความต้านทานก็จะมีค่าลดลงจนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไป 1 มิลลิวินาที จะลดลงเหลือ +6.06 โวลต์ ซึ่งที่เวลาใดๆ ก็ตามในช่วง 1 มิลลิวินาที แรกนี้ผลรวมของแรงดันของสัญญาณอินพุตหรืออาจแสดงให้เห็นได้โดย

$$e_R = e_{in} - e_r \qquad (2.7)$$

$$e_R = 10\text{-}3.94$$

$$= 6.06 \text{ โวลต์ เมื่อเวลาผ่านไป 1 มิลลิวินาที } (t_1)$$

และจุดที่เวลา t_{+1} สัญญาณแรงดันอินพุตจะไม่ปรากฏ คือ จะมีค่าเป็น 0 โวลต์ แหล่งจ่ายแรงดันจึงเสมือนถูกลัดวงจรตัวเก็บประจุซึ่งขณะนี้มีแรงดันตกคร่อมอยู่แล้ว 3.94 โวลต์ จะทำหน้าที่คล้ายกับแหล่งจ่ายแรงดันโดยทำการคายประจุออกผ่านตัวความต้านทานในวงจร จึงมีผลทำให้คล้ายกับว่าตัวความต้านทานขณะนี้มีแรงดันตกคร่อมเป็น –3.94 โวลต์อย่างทันทีทันใดเมื่อเปรียบเทียบกับศักดาที่กราวด์ ดังนั้นแรงดันที่เอาต์พุตที่ตำแหน่ง t_{+1} จึงมีค่าเป็น –3.94 โวลต์ เมื่อตัวเก็บประจุคายประจุออกแรงดันที่ตกคร่อมก็จะค่อยๆ ลดลงกระทั่งผ่านไป 1 มิลลิวินาที แรงดันจะลดลงจาก +3.94 โวลต์เป็น +2.39 โวลต์ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวนี้แรงดันอินพุตมีค่าเป็น 0 โวลต์ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมตัวความต้านทานก็จะมีค่าเท่ากับแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุนั่นเอง แต่แรงดันที่ตกคร่อมตัวความต้านทานจะมีศักย์เป็นลบเมื่อเทียบกับกราวด์ ดังนั้นที่เวลา t_2 แรงดันที่เอาต์พุตจะมีค่าเป็น –2.39 โวลต์

ที่เวลา t_{+2} สัญญาณแรงดันอินพุตมีค่า +10 โวลต์อีกครั้งหนึ่ง และขณะนี้ที่ตัวเก็บประจุมีแรงดันตกคร่อมเหลืออยู่ 2.39 โวลต์ และยังทำหน้าที่เสมือนแหล่งจ่ายแรงดัน 2 แหล่งต่ออนุกรมกันอยู่ แต่มีทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมตัวความต้านทาน จะมีค่าเท่ากับผลต่างของแรงดันทั้งสอง คือ 10 – 2.39 = 7.61 โวลต์

และในช่วงเวลาจาก 2 มิลลิวินาที ถึง 3 มิลลิวินาที ตัวเก็บประจุจะเริ่มสะสมประจุ อีกครั้งหนึ่งเนื่องจากแรงดันอินพุตมีค่าเท่ากับ 10 โวลต์ ดังนั้นตัวเก็บประจุจะเริ่มจาก 2.39 โวลต์ที่เวลา t_{+2} กระทั่งถึงเวลา t_{-3} ทำให้มีแรงดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นเป็น 5.38 โวลต์ขณะที่ตัวเก็บประจุทำการสะสมประจุ และมีแรงดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นนั้นแรงดันที่ตกคร่อมตัวความต้านทานก็จะมีค่าน้อยลงเนื่องจากผลรวมของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุและตัวความต้านทานจะต้องมีค่าคงที่ และเท่ากับแรงดันที่อินพุตเสมอ ดังนั้นที่เวลา t_{-3} แรงดันตกคร่อมที่ตัวความต้านทานจะลดลงเหลือ 4.62 โวลต์ จากนั้นการคายประจุและการสะสมประจุก็จะเกิดขึ้นซ้ำๆ กันอีกเช่นนี้เรื่อยไป กระทั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตจะมีลักษณะเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งสังเกตเห็นได้ในจอออสซิลโลสโคป

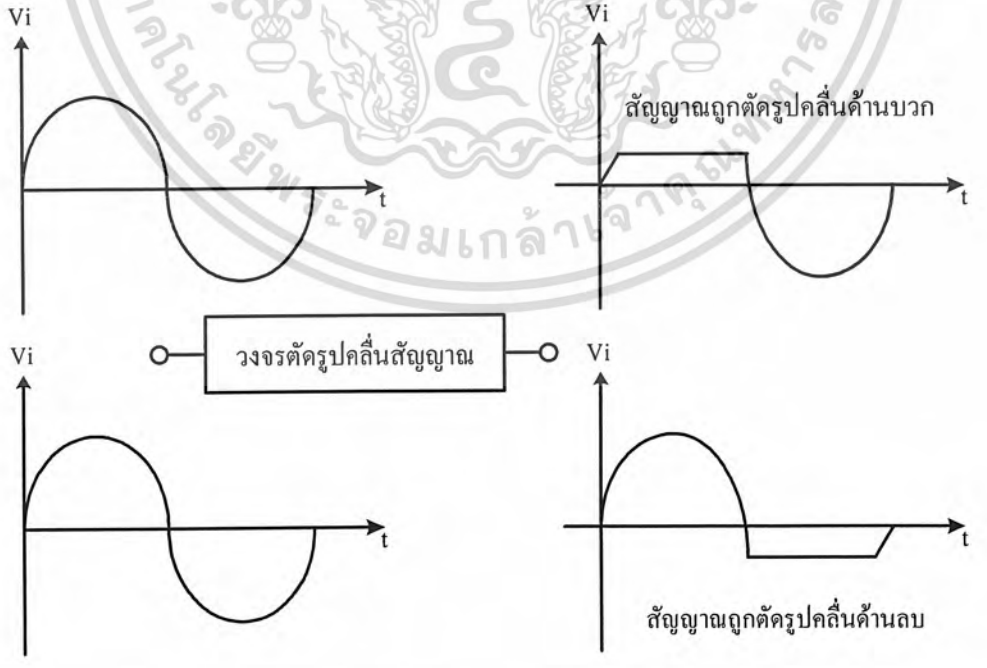
สมการของการคายประจุ อาจนำมาใช้เพื่อหาแรงดันที่ตกคร่อมตัวความต้านทานในวงจรอาร์ซี ขณะที่ตัวเก็บประจุทำการเก็บสะสมประจุ ได้โดย

$$\text{จาก} e_c = \mathrm{E} \cdot \varepsilon^{-t/RC}$$
$$\text{ดังนั้น } e_R = \mathrm{E} \cdot \varepsilon^{-t/RC} \quad (2.8)$$

โดยที่ e_R คือ แรงดันที่ตกคร่อมตัวความต้านทานขณะตัวเก็บประจุกำลังสะสมประจุ E คือ แรงดันที่ตกคร่อมตัวความต้านทานที่เวลาเริ่มต้นก่อนที่ตัวเก็บประจุจะทำการสะสมประจุ

2.2.5 วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณ (Clipper circuit)

วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ขริบสัญญาณของอินพุตให้มีขนาด และรูปร่างตามต้องการ บางครั้งเรียกวงจรนี้ว่า วงจรจำกัด (Limiter Circuit) เนื่องจากขนาดของสัญญาณอินพุตจะถูกจำกัดด้วยแรงดันค่าหนึ่งค่าใด ดังรูปที่ 2.12 จะเห็นว่าสัญญาณของเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าไม่เกินแรงดัน V



รูปที่ 2.12 ความหมายของวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

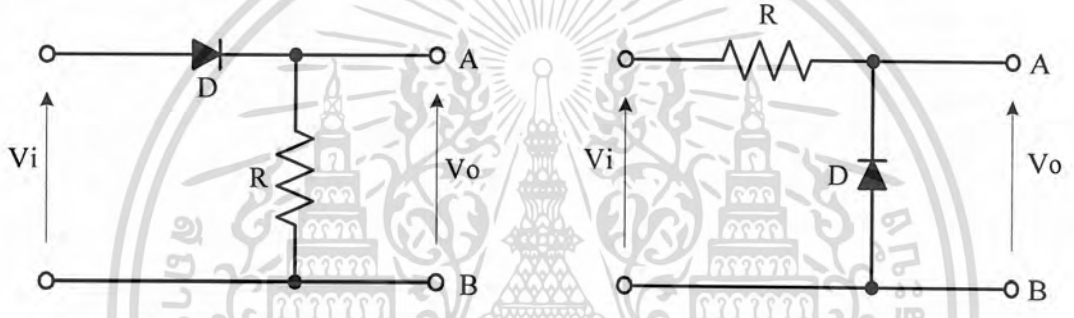
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

1. ประเภทของวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ไดโอด

วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ไดโอดทำหน้าที่ขริบสัญญาณ สามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ ตามตำแหน่งการวางไดโอด เมื่อเทียบกับขั้วสัญญาณเอาต์พุต คือ

1. วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบไดโอดอนุกรม
2. วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบไดโอดขนาน

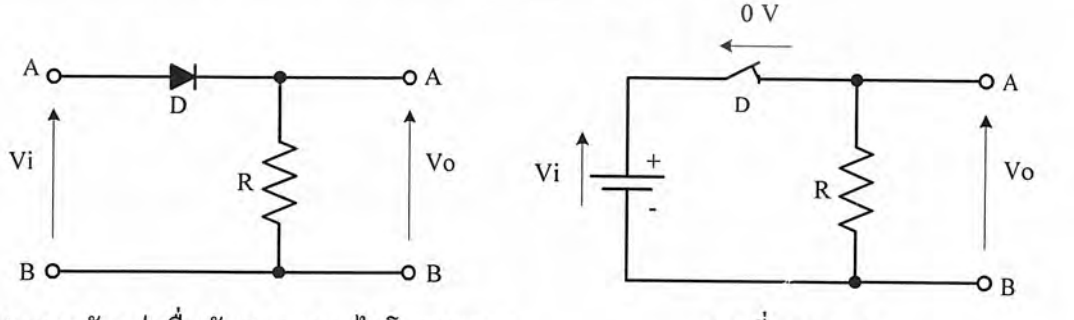
ถ้าไดโอดวางในลักษณะที่อันดับกับขั้วเอาต์พุต AB ดังรูปที่ 2.13 (ก) เรียกวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบไดโอดอนุกรม (Diode Series Clipper Circuits) และถ้าไดโอดวางตำแหน่งขนานกับขั้วเอาต์พุต AB ดังรูปที่ 2.13 (ข) เรียกวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบไดโอดขนาน (Diode Shunt Clipper Circuits)



(ก) แบบไดโอดอนุกรม (ข) แบบไดโอดขนาน

รูปที่ 2.13 ประเภทของวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณ

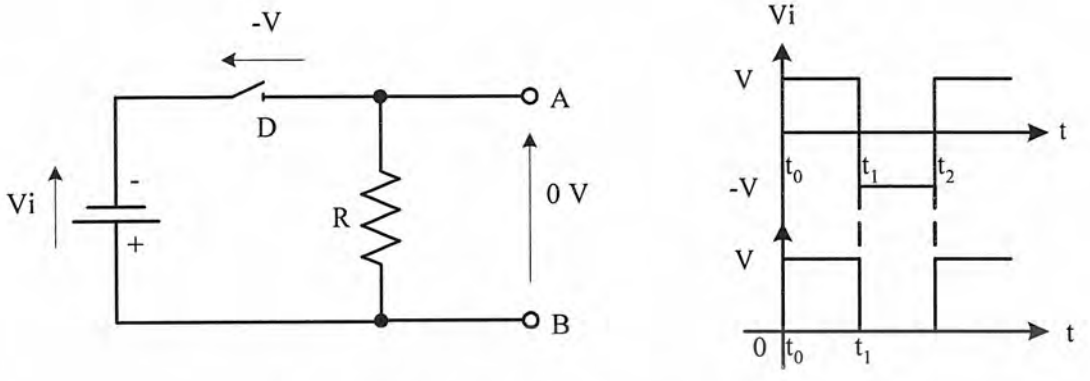
วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบไดโอดอนุกรมประกอบด้วย ไดโอดต่ออนุกรมกับตัวความต้านทาน R มีแรงดันตกคร่อมตัวความต้านทาน R เป็นเอาต์พุตของวงจร หลักการของวงจร คือ การใช้ไดโอดทำหน้าที่เป็นสวิตช์ เมื่อไดโอดได้รับไบอัสตรงไดโอดทำงานคล้ายกับสวิตช์ปิด (On) และเมื่อไดโอดได้รับไบอัสกลับไดโอดทำงานคล้ายกับสวิตช์เปิด (Off)



(ก) วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบไดโอดอนุกรม (ข) ที่เวลา $t_0 - t_1$

รูปที่ 2.14 สภาวะการทำงานที่เวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
59506



(ค) ที่เวลา t_1-t_2 (ง) รูปคลื่นที่เวลาต่างๆ

รูปที่ 2.14 (ต่อ) สภาวะการทำงานที่เวลาต่างๆ

เพื่อให้ง่ายแก่ความเข้าใจจึงสมมติให้ไดโอดเป็นไดโอดอุดมคติ คือ ไม่มีแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะไบอัสตรงและไม่มีกระแสรั่วไหลขณะไบอัสกลับ พิจารณาที่รูป 2.14 (ก) เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ในช่วงเวลา t_0 ถึง t_1 สัญญาณอินพุตมีแรงดันเท่ากับ +V โดยที่จุด A มีแรงดันเป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด B ทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรงและแทนไดโอดด้วยสวิตช์ที่อยู่ในสภาวะปิด ดังรูปที่ 2.15 (ข) สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ คือ สัญญาณอินพุตที่มีขนาดแรงดัน +V

ช่วงเวลาต่อมา คือ t_1 ถึง t_2 สัญญาณอินพุตเปลี่ยนค่าแรงดันเป็น –V ขณะนี้ที่จุด A มีแรงดันเป็นลบเมื่อเทียบกับจุด B ทำให้ไดโอดได้รับไบอัสกลับ แทนไดโอดด้วยสวิตช์เปิดดังรูปที่ 2.15 (ค) ช่วงนี้ไม่มีกระแสไหลผ่านตัวความต้านทานทำให้แรงดันตกคร่อม R มีค่าเป็น 0 โวลต์ ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตจึงเป็น 0 โวลต์

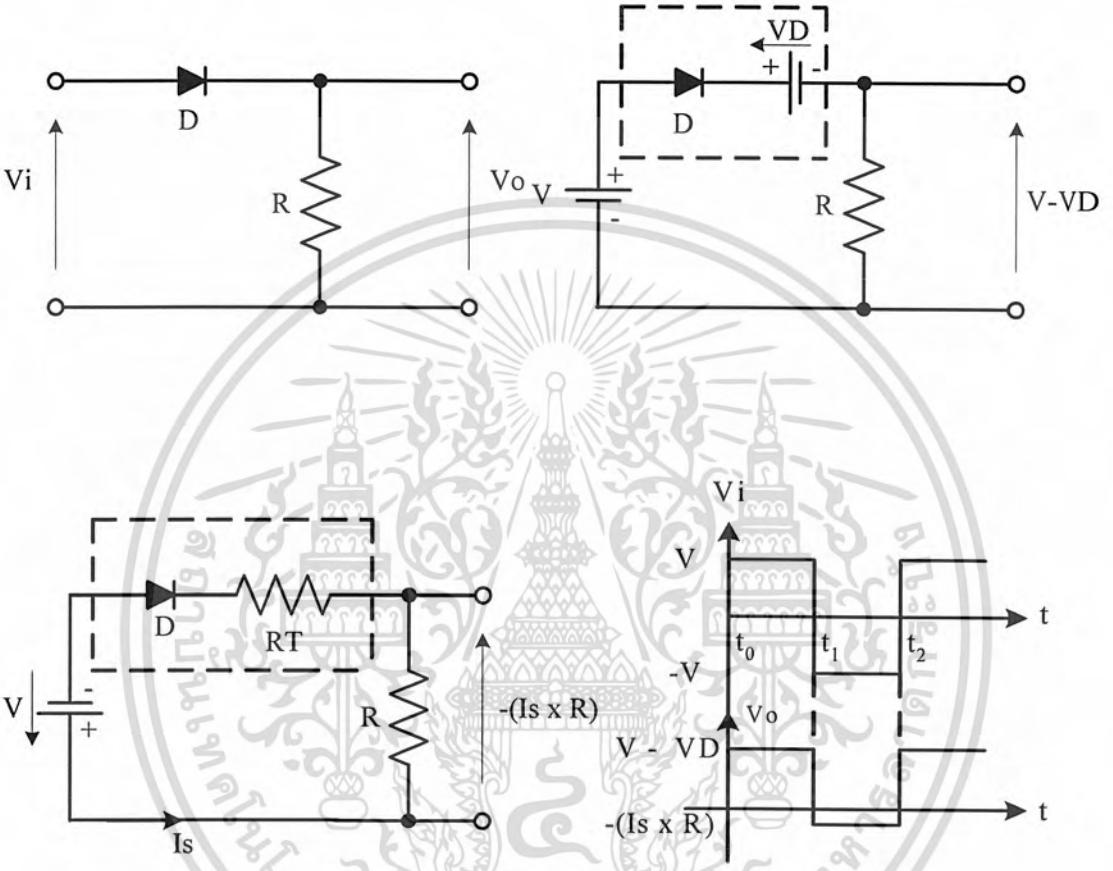
และในช่วงเวลา t_2 ถึง t_3 สัญญาณอินพุตจึงเหมือนกับช่วงเวลา t_0 ถึง t_1 และการทำงานของวงจรจะหมุนเวียนเช่นนี้เรื่อยไป

กรณีที่พิจารณาเป็นไดโอดจริง เมื่อไดโอดได้รับไบอัสตรงจะมีแรงดันตกคร่อมไดโอดเป็น v_D (มีค่า 0.7 V เมื่อเป็นซิลิกอนไดโอดและ 0.3 V เมื่อเป็นเจอร์เมเนียมไดโอด) ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_o &= V_i - V_D \\ &= V - V_D \end{aligned} \qquad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อไดโอดไดรับไบอัสกลับจะมีกระแสรั่วไหล I_s ผ่านตัวความต้านทาน R ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมเท่ากับ $(I_s \times R_R) \cdot V$ โดยทิศทางของกระแส I_s จะตรงข้ามกับทิศทางของกระแสปกติ I_F ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตจึงมีค่าเป็นลบดังรูปที่ 2.15

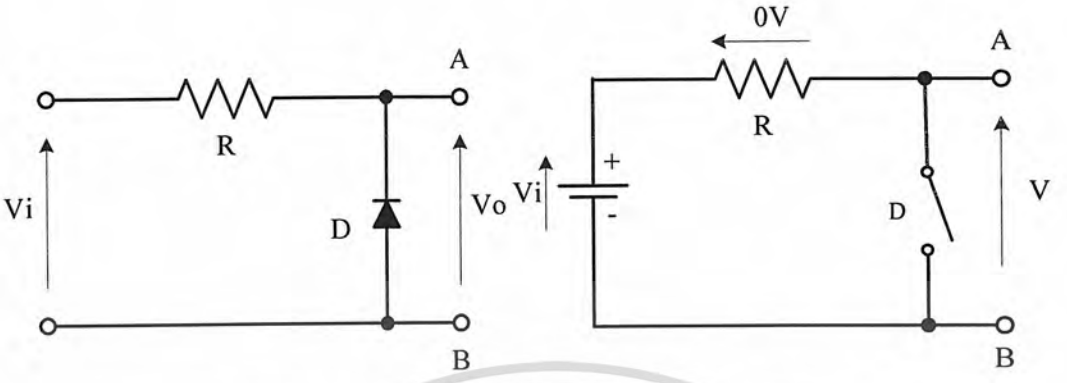


รูปที่ 2.15 สภาวะของวงจรไดโอดจริงที่เวลาต่างๆ

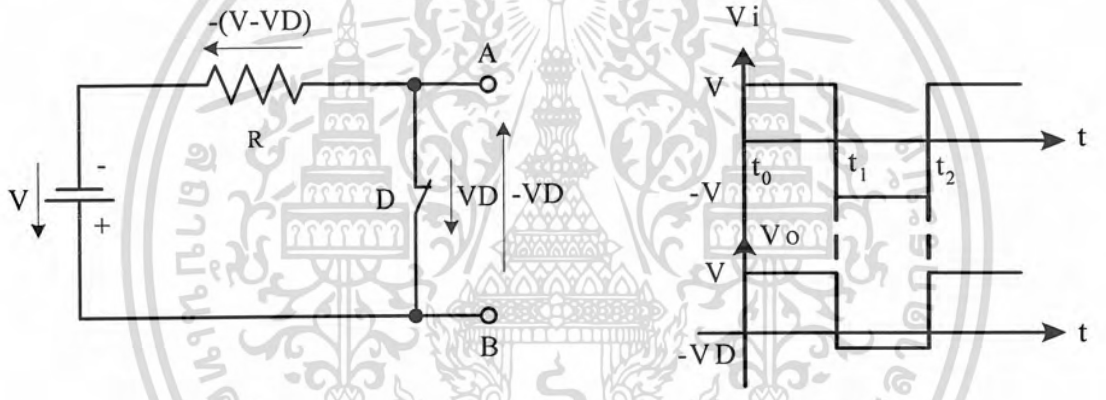
2.วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบไดโอดขนาน

ลักษณะของวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบไดโอดขนาน แสดงดังรูปที่ 2.16 (ก) ไดโอดจะต่อขนานกับขั้วสัญญาณเอาต์พุต AB โดยมีตัวความต้านทาน R ทำหน้าที่จำกัดกระแสที่ไหลผ่านไดโอดไม่ให้เกินค่าสูงสุด การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบไดโอดขนาน (ข) ที่เวลา $t_0 - t_1$



(ค) ที่เวลา $t_1 - t_2$ (ข) รูปคลื่นที่เวลาต่างๆ

รูปที่ 2.16 สภาวะการทำงานที่เวลาต่างๆ ของวงจร

เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ในช่วงเวลา t_0 ถึง t_1 สัญญาณอินพุตมีค่าแรงดัน $+V$ ทางด้านอินพุตของวงจรเสมือนมีแหล่งจ่ายแรงดันขนาดขนาด V ต่ออยู่ โดยมีขั้วบวกลบดังรูปที่ 2.16 (ข) ทำให้ไดโอดได้รับไบอัสกลับแทนไดโอดด้วยสวิตช์เปิด สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ คือ สัญญาณอินพุตที่มีขนาดแรงดัน $+V$

ช่วงเวลาต่อมาคือ t_1 ถึง t_2 สัญญาณอินพุตมีค่าแรงดัน $-V$ ทางด้านอินพุตของวงจรเสมือนมีแหล่งจ่ายแรงดันขนาน V ต่ออยู่ โดยมีขั้วบวกลบดังรูปที่ 2.16 (ค) ทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรงแทนแทนไดโอดด้วยสวิตช์ปิด สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ คือ แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะไบอัสตรง แต่มีทิศทางตรงข้ามดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ $-V_D$ แล้วการทำงานของวงจรก็จะหมุนเวียนเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตัวความต้านทาน R ในวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบไดโอดขนาน หาได้จากสมการ

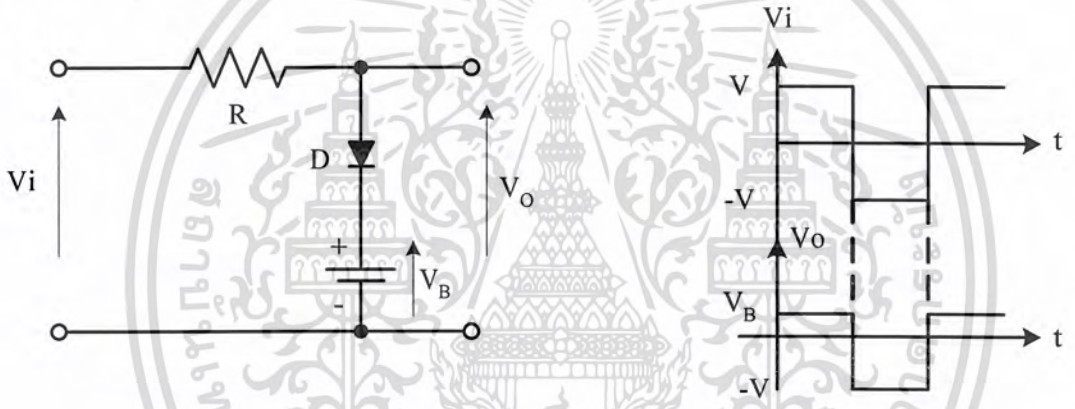
$$R >= \frac{V_i - V_D}{I_{\max}} \quad (2.10)$$

เมื่อ V_i คือ แรงดันอินพุตสูงสุดที่ให้ไดโอดได้รับไบอัสตรง

V_D คือ แรงดันตกคร่อมไดโอดได้รับไบอัสตรง

I_{MAX} คือ อัตราทนกระแสสูงสุดของไดโอด

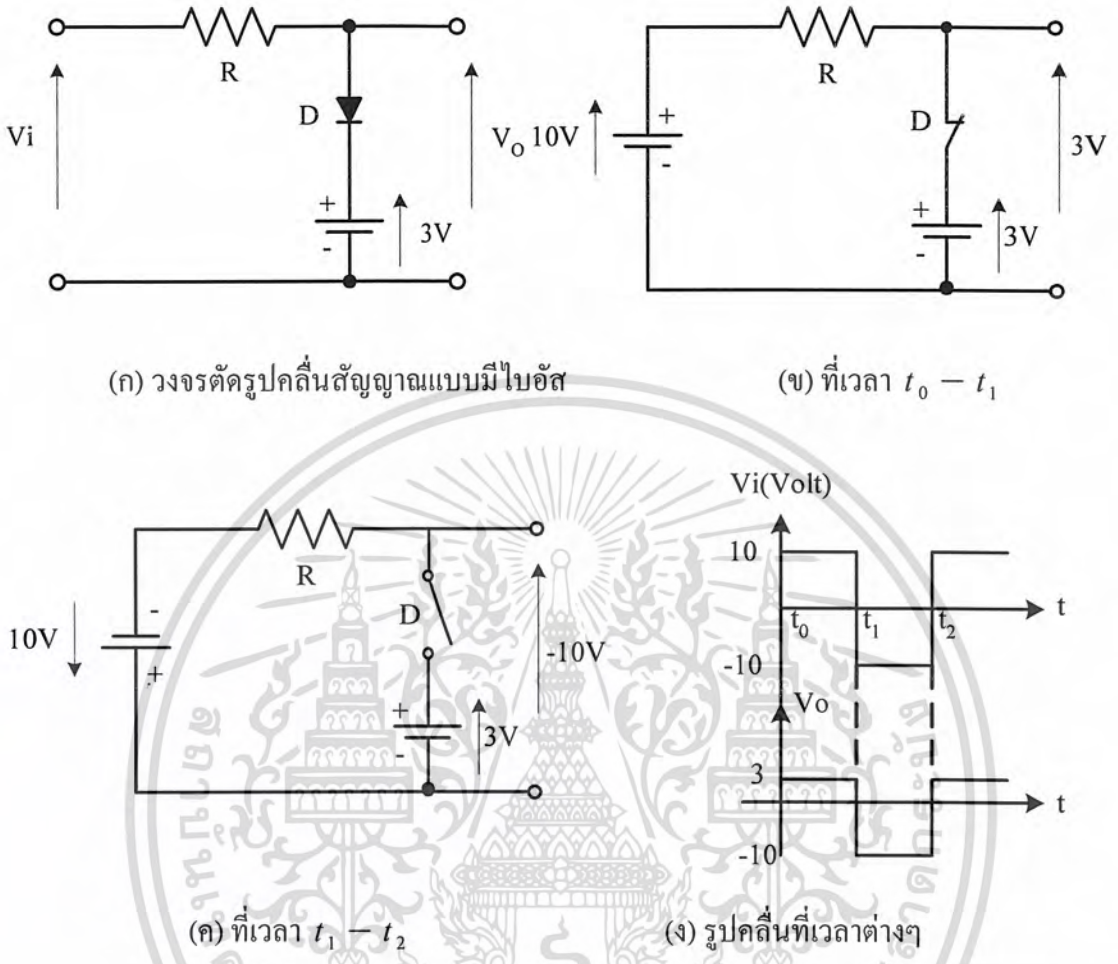
3.วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบมีไบอัส



รูปที่ 2.17 วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบมีไบอัสและสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการขริบ

สัญญาณอินพุตของวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณที่ผ่านมาจะเห็นว่าถูกขริบที่ระดับแรงดัน 0 โวลต์ ถ้าต้องการให้สัญญาณอินพุตถูกขริบที่ระดับแรงดัน V_B สามารถทำได้โดยการต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงขนาด V_B เข้ากับวงจรดังรูปที่ 2.17 และเรียกวงจรนี้ว่า วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบมีไบอัสวงจรจะขริบสัญญาณอินพุตทางด้านบวก ที่มีขนาดมากกว่าแรงดัน V_B ส่วนสัญญาณอินพุตที่มีขนาดน้อยกว่าแรงดัน V_B จะไม่ถูกขริบ หลักการของวงจร คือ เมื่อสัญญาณอินพุตมีแรงดันเป็นบวกมากกว่าแรงดัน V_B จะทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรงไดโอดทำงานเป็นสวิตช์ปิด สัญญาณเอาต์พุตมีค่าเท่ากับแรงดัน V_B และถ้าสัญญาณอินพุตมีแรงดันเป็นลบจะทำให้ไดโอดได้รับไบอัสกลับ ไดโอดทำงานเป็นสวิตช์ปิด สัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีค่าเท่ากับ V_i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 สภาวะการทำงานที่เวลาต่างๆ ของวงจร

การทำงานของวงจร คือ จากรูปที่ 2.18 กำหนดให้สัญญาณอินพุตเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาด ±10V และแหล่งจ่ายแรงดัน V_B = 3V เพื่อให้เข้าใจง่ายในการทำงานให้พิจารณาไดโอดเป็นอุดมคติ ช่วงเวลา t_0 ถึง t_1 สัญญาณอินพุตมีค่าแรงดัน -10V ขณะนี้ทางด้านอินพุตเสมือนมีแหล่งจ่ายแรงดัน 10V ต่ออยู่โดยมีขั้วบวกลบดังรูปที่ 2.18 (ข) จะเห็นว่าทิศทางของสัญญาณอินพุตหักล้างกับแหล่งจ่ายแรงดันเท่ากับ 3V โดยสัญญาณอินพุตมีค่ามากกว่าแหล่งจ่ายแรงดัน ดังนั้นไดโอดจึงได้รับไบอัสตรงแทนไดโอดด้วยสวิตช์ปิด ดังรูปที่ 2.18 (ข) ดังนั้นแรงดันเอาต์พุต จะมีค่าเท่ากับแหล่งจ่ายแรงดัน 3V

ช่วงเวลาต่อมา คือ t_1 ถึง t_2 สัญญาณอินพุตมีแรงดัน -10V ขณะนี้ทางด้านอินพุตของวงจรเสมือนมีแหลงจ่ายแรงดัน 10V ต่ออยู่โดยมีขั้วบวกลบดังรูปที่ 2.18 (ค) จะเห็นว่าทิศทางของแรงดัน

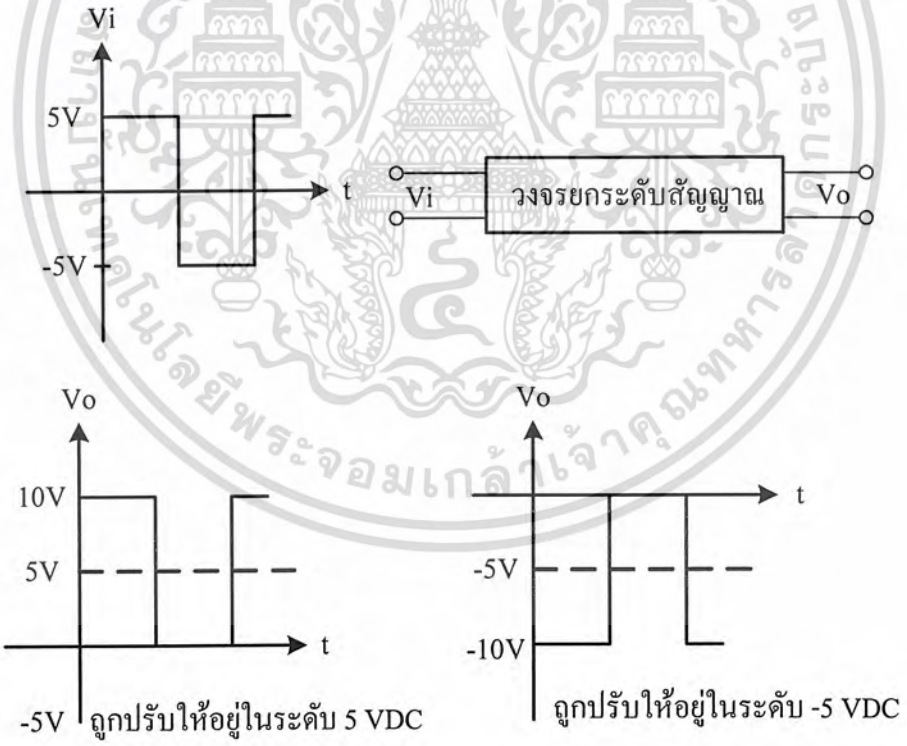
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุตเสริมกับแหล่งจ่ายแรงดัน 3V ทำให้ไดโอดได้รับไบอัสกลับ ด้วยค่าแรงดัน 13V แทนไดโอดด้วยสวิตช์ปิด ดังรูปที่ 2.18 (ค) ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ

$$V_o = -V_i = -10V \tag{2.11}$$

2.2.6 วงจรยกระดับสัญญาณ

เป็นวงจรไฟฟ้าซึ่งสามารถปรับหรือเปลี่ยนระดับของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าได้ โดยทั่วไปมักหมายถึง การเปลี่ยนแปลงหรือระดับขนาดของสัญญาณกระแสสลับให้มีระดับที่ต้องการ โดยที่ลักษณะของรูปคลื่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ หรืออาจกล่าวได้ง่ายๆว่า เป็นวงจรซึ่งสามารถตั้งระดับของสัญญาณกระแสตรงค่าใดๆ ก็ได้ วงจรดังกล่าวนี้บางทีถูกเรียกว่า “วงจรเพิ่มกระแสตรง” หรือ “วงจรเติมกระแสตรง”ซึ่งระดับไฟตรงของอินพุต ไปอยู่ที่ระดับไฟตรงระดับใหม่ โดยที่รูปร่างของสัญญาณอินพุตไม่เปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 2.19

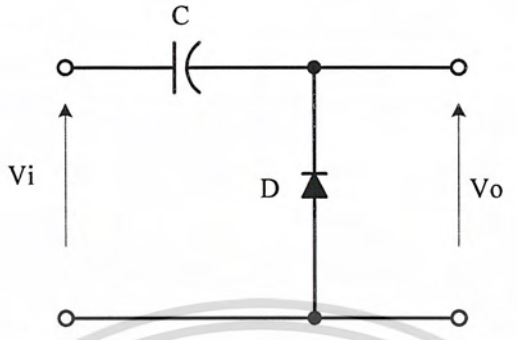


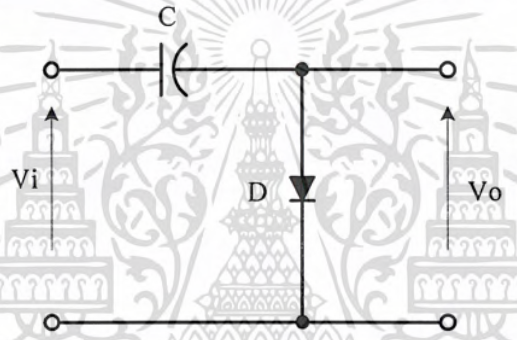
รูปที่ 2.19 รูปร่างของสัญญาณอินพุต

วงจรยกระดับสัญญาณที่ให้สัญญาณเอาต์พุตอยู่ที่ระดับแรงดันบวกเรียกว่า วงจรยกระดับสัญญาณด้านบวก (Positive Voltage Clamper) ส่วนวงจรยกระดับสัญญาณที่ให้สัญญาณเอาต์พุตอยู่

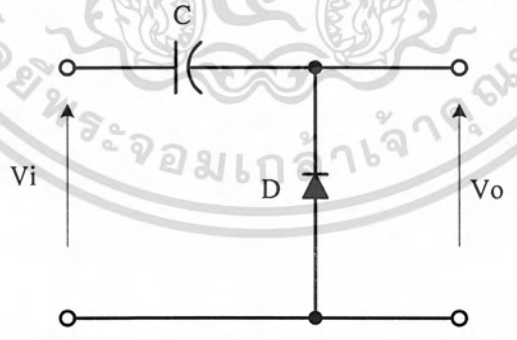
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระดับแรงดันลบ เรียกว่าวงจรยกระดับสัญญาณด้านลบ (Negative Voltage Clamper) วงจรทั้งสองแสดงดังรูปที่ 2.20





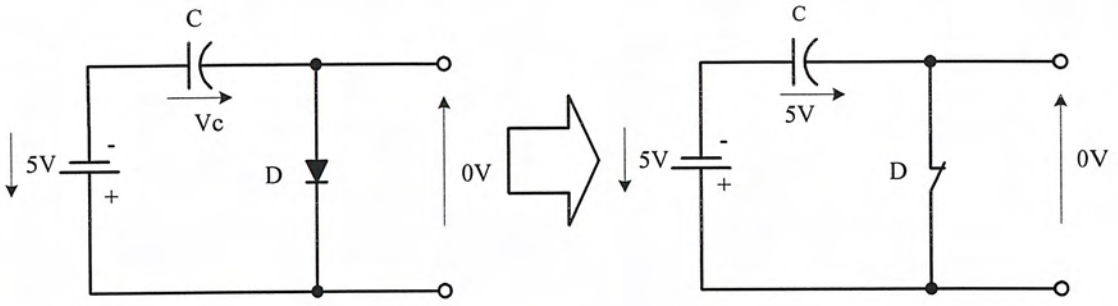
รูปที่ 2.20 วงจรยกระดับสัญญาณด้านลบ



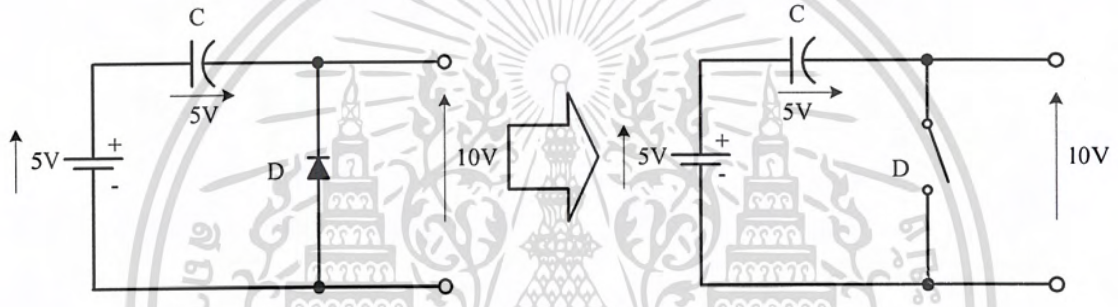
(ก) สมมติไดโอดเป็นไดโอดอุดมคติไม่มีประจุตกค้าง

รูปที่ 2.21 วงจรยกระดับสัญญาณด้านบวก

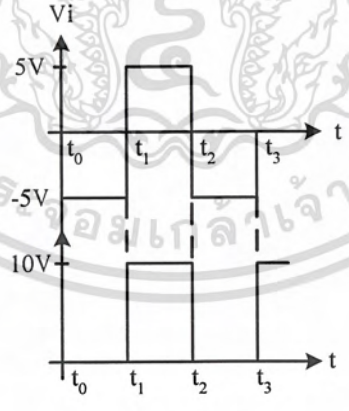
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ไดโอดได้รับไบอัสตรง



(ค) ไดโอดได้รับไบอัสตรง



(ง) รูปสัญญาณ

รูปที่ 2.21 (ต่อ) วงจรยกระดับสัญญาณด้านบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.วงจรยกระดับสัญญาณแรงดันบวก

พิจารณาวงจรยกระดับสัญญาณดังรูปที่ 2.21 (ก) สมมติว่าไดโอดเป็นไดโอดอุดมคติและก่อนหน้าเวลา t_0 ตัวเก็บประจุไม่มีประจุตกค้าง นั่นคือ $V_c = 0$ V

ช่วงเวลา t_0 ถึง t_1 แรงดันอินพุตมีค่า -5V โดยมีขั้วบวกลบ ดังรูปที่ 2.21 (ข) ให้ไดโอดได้รับไบอัสตรงแทนไดโอดด้วยสวิตช์ปิดจึงมีกระแสไหลผ่านวงจรและตัวเก็บประจุทำการสะสมประจุไฟฟ้าจนมีแรงดันตกคร่อม $V_c =$ 5V จากกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_O + V_i - V_C &= 0 \\ V_o &= V_c - V_i \\ &= (5-5)V = 0\,V \end{aligned} \tag{2.12}$$

ช่วงเวลาต่อมา t_1 ถึง t_2 แรงดันอินพุตมีค่า 5V โดยมีขั้วบวกลบดังรูปที่ 2.21 (ค) ทำให้ไดโอดได้รับไบอัสกลับ แทนไดโอดด้วยสวิตช์เปิด ดังนั้นตัวเก็บประจุไม่สามารถคายประจุได้ ทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_O - V_i - V_C &= 0 \\ V_O &= V_C - V_i \\ &= (5-5)V = 0\,V \end{aligned} \tag{2.13}$$

จากรูปคลื่นแรงดันของเอาต์พุตจะเห็นว่า ระดับแรงดันไฟตรงถูกปรับให้อยู่ที่ 5 V โดยที่ระดับแรงดันไฟตรงของอินพุตอยู่ที่ 0 V ส่วนลักษณะรูปร่างและขนาดของแรงดันเอาต์พุต จะเหมือนกับอินพุตทุกประการ

2.วงจรยกระดับสัญญาณแบบมีไบอัส

พิจารณาวงจรรูปที่ 2.22 (ก) เป็นวงจรยกระดับสัญญาณที่ปรับระดับแรงดันไฟตรง ให้อยู่ที่ระดับอื่น ที่ไม่ใช่ศูนย์ การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้

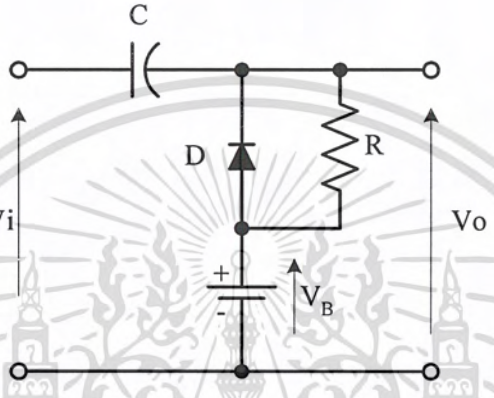
เมื่อแรงดันอินพุตมีค่า $-V$ ทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรง เขียนวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2.23 (ข) ตัวเก็บประจุสะสมประจุเต็มที่ แรงดันตกคร่อมเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_c &= V - V_B + V_D = 0 \\ V_c &= V + V_B - V_D \end{aligned} \tag{2.14}$$

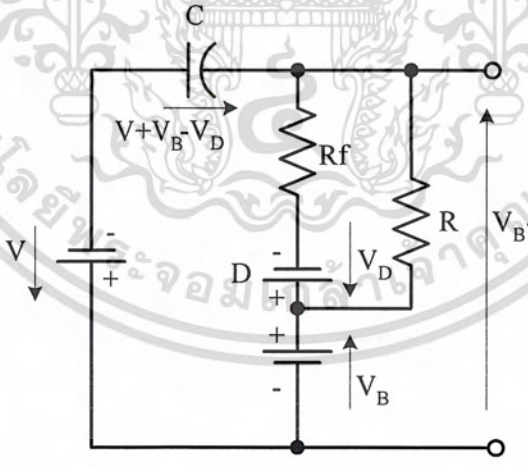
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_o &= V_o - V \\ &= V + V_B - V_D - V \\ &= V_B - V_D \end{aligned} \tag{2.15}$$



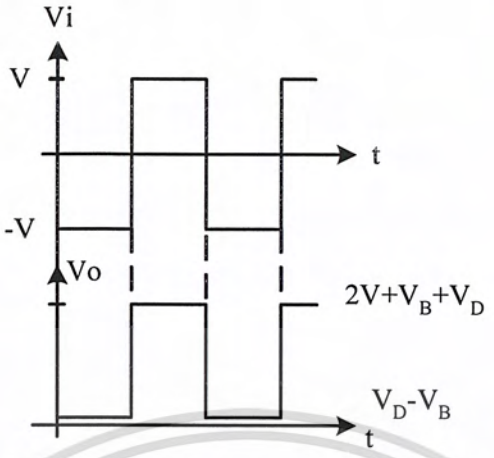
(ก) เป็นวงจรยกระดับสัญญาณที่ปรับระดับแรงดันไฟตรง



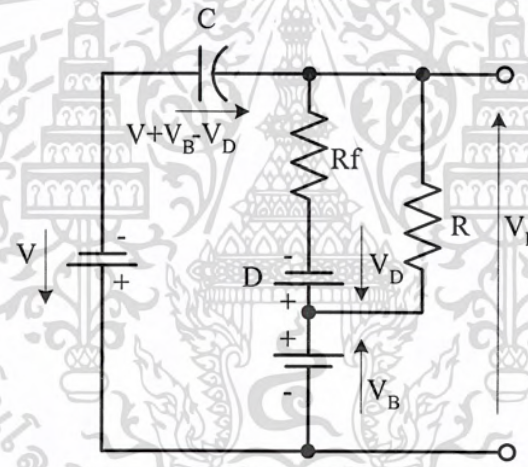
(ข) ไดโอดได้รับไบอัสตรง

รูปที่ 2.22 วงจรยกระดับสัญญาณแบบมีไบอัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ไดโอดได้รับไบอัสกลับ



(ง) ช่วงเปลี่ยนแปลงแรงดัน

รูปที่ 2.22 (ต่อ) วงจรยกระดับสัญญาณแบบมีไบอัส

และเมื่อแรงดันอินพุตมีค่า V ทำให้ไดโอดได้รับไบอัสกลับ เขียนวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2.22 (ค) ตัวเก็บประจุไม่ทันได้คายประจุทำให้แรงดันตกคร่อม ตัวเก็บประจุยังคงมีค่าเท่ากับ

$$V_c = V + V_B - V_D \tag{2.16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าเท่ากับ

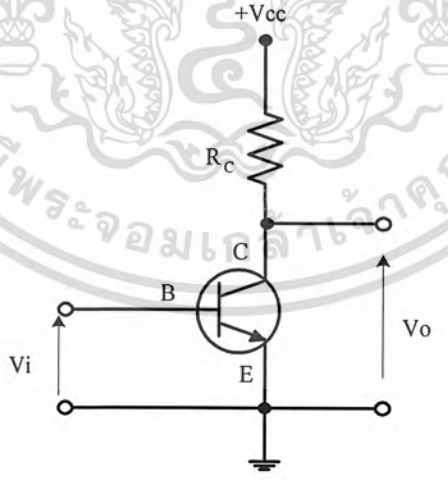
$$V_o - V - V_c = 0$$
$$V_o = V + V_c$$
$$V_o = V + V + V_B - V_D$$
$$V_o = 2V + V_B - V_D \quad (2.17)$$

และลักษณะรูปคลื่นเอาต์พุต แสดงดังรูปที่ 2.22 (ง) ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่างในช่วงแรงดัน $(V_B - V_D)$ และ $(2V + V_B - V_D)$

2.2.7 สวิตช์ทรานซิสเตอร์

เป็นการนำทรานซิสเตอร์มาทำหน้าที่เป็นสวิตช์ปิด – เปิดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อสร้างสัญญาณรูปคลื่นต่างๆ จากคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานอยู่ในสภาวะ “Off” จะถูกแทนด้วยสวิตช์ “เปิด” (Open) และเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานอยู่ในสภาวะ “On” จะถูกแทนด้วยสวิตช์ “ปิด” (Close)

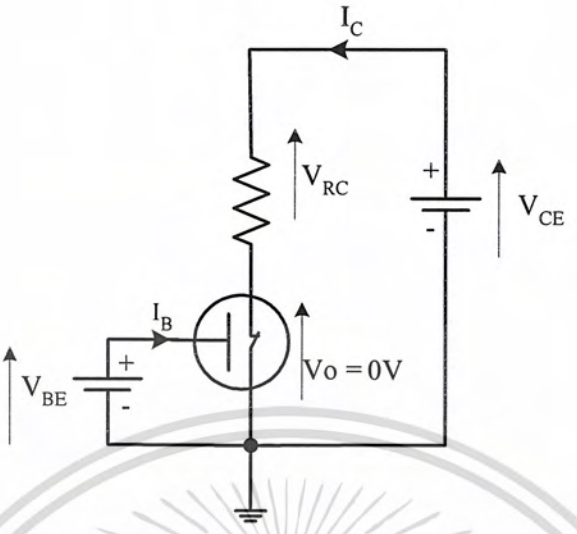
1. สวิตช์ทรานซิสเตอร์ (ในอุดมคติ)



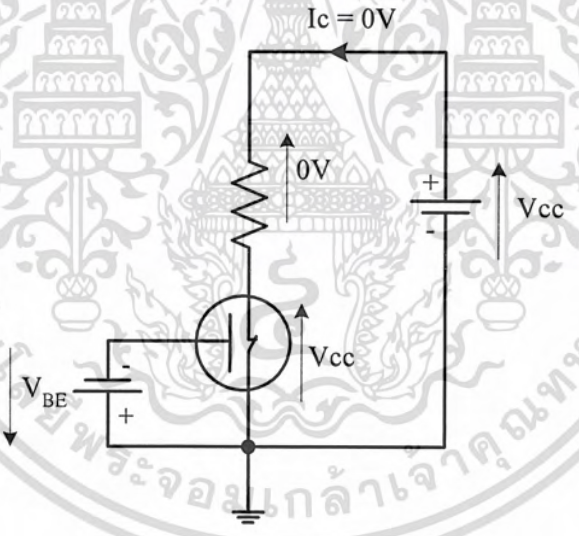
(ก) การทำงานของทรานซิสเตอร์ในสภาวะ On และ Off

รูปที่ 2.23 สวิตช์ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) การทำงานในสภาวะอิ่มตัว



(ค) การทำงานในสภาวะคัตออฟ

รูปที่ 2.23 (ต่อ) สวิตช์ทรานซิสเตอร์

จากรูปที่ 2.23 (ก) เป็นวงจรสวิตช์ทรานซิสเตอร์ในอุดมคติกล่าว คือ เมื่อทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะ “ON” จะมีแรงดันตกคร่อมที่ขาคอลเล็กเตอร์กับขาอิมิตเตอร์เท่ากับ 0 โวลต์ และเมื่อทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะ “OFF” จะไม่มีกระแสไหล นั่นคือ $I_c = 0$ สำหรับขั้วสวิตช์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์ คือ ขาคอลเล็กเตอร์กับขาอิมิตเตอร์ ซึ่งการปิด – เปิดของสวิตช์ถูกควบคุมโดยแรงดันทางด้านอินพุต เมื่อแรงดันอินพุตมีค่า +V มากจนทำให้ขาเบสและขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ได้รับไบอัสตรง ทรานซิสเตอร์ทำงานในสภาวะอิ่มตัวทรานซิสเตอร์จะถูกแทนด้วยสวิตช์ "ON" โดยมีแรงดันตกคร่อมระหว่างขาคอลเล็กเตอร์และขาอิมิตเตอร์ $V_{CE} = 0\,\text{V}$ นั่นคือแรงดันเอาต์พุต $V_O = 0\,\text{V}$ ดังรูปที่ 2.23 (ข) ทำให้กระแส I_C ไหลจากขั้ว $+V_{CC}$ ผ่าน R_C เกิดแรงดันตกคร่อมเท่ากับ

$$V_{RC} + V_O - V_{cc} = 0$$

$$V_{RC} = V_{CC} - V_0$$

$$V_{RC} = V_{CC} \left(V_O = 0V\right) \tag{2.18}$$

2. เวลาสวิตช์ของสวิตช์ทรานซิสเตอร์

ช่วงเวลาทำงาน

สวิตช์ทรานซิสเตอร์ในอุดมคติ เมื่อขาเบสและอิมิตเตอร์ได้รับไบอัสตรงจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในสภาวะ "ON" ทันที แต่ในความเป็นจริงแล้วทรานซิสเตอร์จะทำงานในสภาวะ "ON" ได้ จะต้องใช้เวลา เพื่อให้ตัวเก็บประจุที่รอยต่อ PN ทำการสะสมประจุ จึงทำให้เกิดการประวิงเวลาขึ้นในวงจร ช่วงเวลานี้เรียกว่า ช่วงเวลาทำงาน เขียนแทนด้วย t_{ON} จากรูปที่ 2.23 (ง) สามารถให้คำนิยามของค่าเวลาต่างๆ ได้ดังนี้

2.1 ช่วงเวลาประวิง (Delay time) คือ เวลาที่นับจากแรงดันอินพุตเริ่มต้นปรากฏไปจนถึงเวลาที่แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไปได้ 10% ของแรงดันเอาต์พุตเดิม เขียนแทนด้วย t_d

2.2 ช่วงเวลาขึ้น คือ เวลาตั้งแต่ค่าแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงจาก 10% ถึง 90% ของแรงดันเอาต์พุตเดิมเขียนแทนด้วย t_r

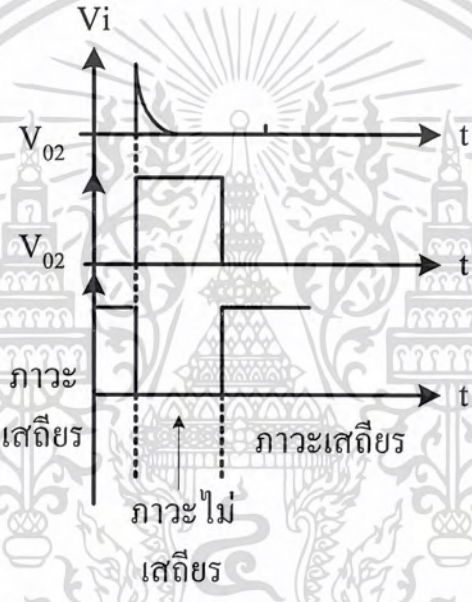
2.3 ช่วงเวลาทำงาน คือ เวลาที่นับจากค่าแรงดันอินพุตเริ่มต้นปรากฏไปจนถึงเวลาที่แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไปได้ 90% ของแรงดันเอาต์พุตเดิมเขียนแทนด้วย t_{ON} ซึ่งช่วงเวลานี้ประกอบด้วย t_d และ t_r ดังรูปที่ 2.23 (ง) ดังนี้

$$t_{ON} = t_d + t_r \tag{2.19}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

เป็นวงจรที่มีสภาวะเสถียร (Stable State) และสภาวะไม่เสถียร (Unstable State) โดยปกติวงจรอยู่ในสภาวะเสถียร เมื่อมีสัญญาณกระตุ้นจากภายนอกวงจร วงจรจะเปลี่ยนเป็นสภาวะไม่เสถียร และเมื่อหมดเวลาของภาวะไม่เสถียร วงจรจะกลับสู่ภาวะเดิม คือ ภาวะเสถียร ดังรูปที่ 2.24 ช่วงเวลาของภาวะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับค่าคงตัวเวลาภายในของวงจร บางครั้งเรียกวงจรนี้ว่า วงจรวันชอร์ต (One Short Circuit) เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตของวงจรจะปรากฏในภาวะไม่เสถียรเท่านั้น

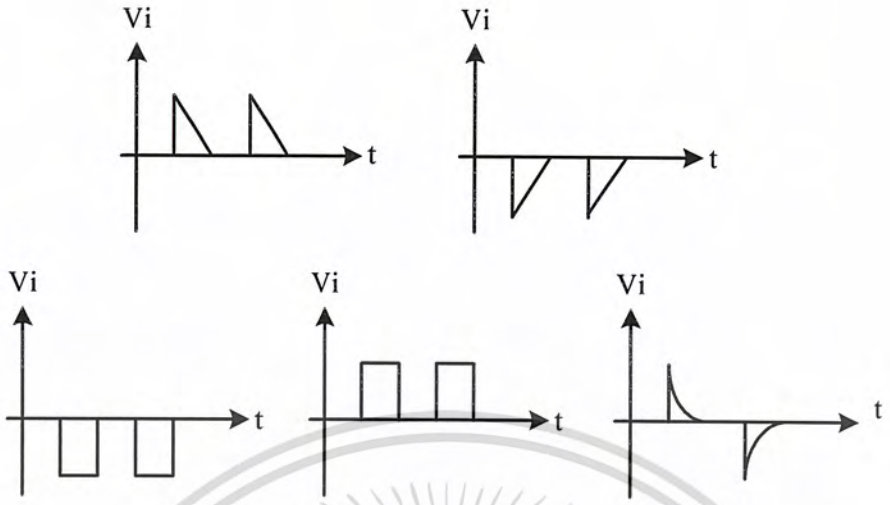


รูปที่ 2.24 รูปคลื่นแสดงความหมายของวงจร

1. การจุดชนวนของวงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

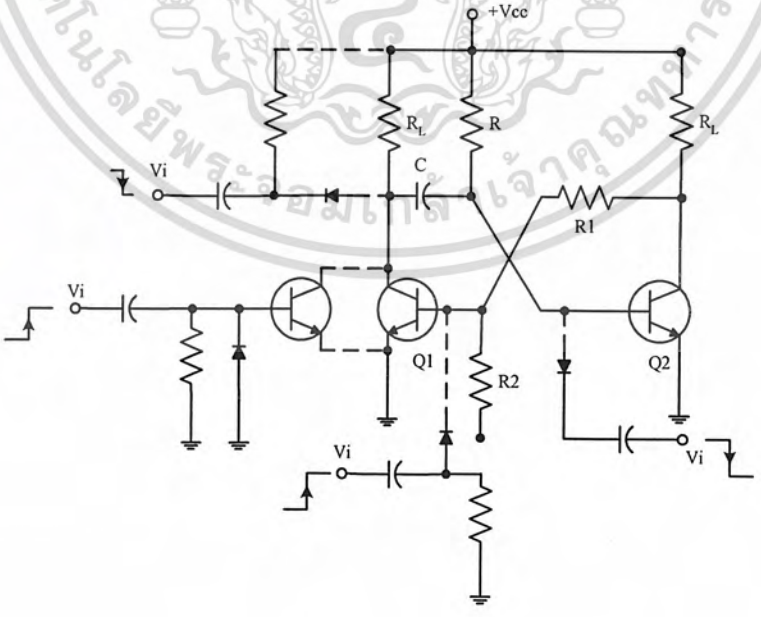
การจุดชนวนของโมโนสเตเบิล คือ การทำงานให้วงจรเปลี่ยนภาวะในการทำงาน จากภาวะปัจจุบันไปยังภาวะใหม่ โดยใช้สัญญาณจุดชนวนซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นในเวลาสั้นๆ สัญญาณจุดชนวนมีทั้งชนิดบวกและชนิดลบ ดังรูปที่ 2.25 และอาจเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมหรือสัญญาณสามเหลี่ยมก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 รูปร่างของสัญญาณจุดชนวนแบบต่างๆ

วิธีจุดชนวนสามารถทำได้หลายวิธี โดยหลักการแล้วเป็นการทำให้ทรานซิสเตอร์เปลี่ยนสภาวะการทำงาน ดังนั้นสัญญาณพัลส์อาจเป็นชนิดบวกหรือชนิดลบก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่าจะเปลี่ยนสภาวะการทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิดใด และทำการจุดชนวนที่ส่วนใดของวงจร นอกจากนี้ยังสามารถทำการจุดชวนที่ขาคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ได้อีกด้วยดังรูปที่ 2.26

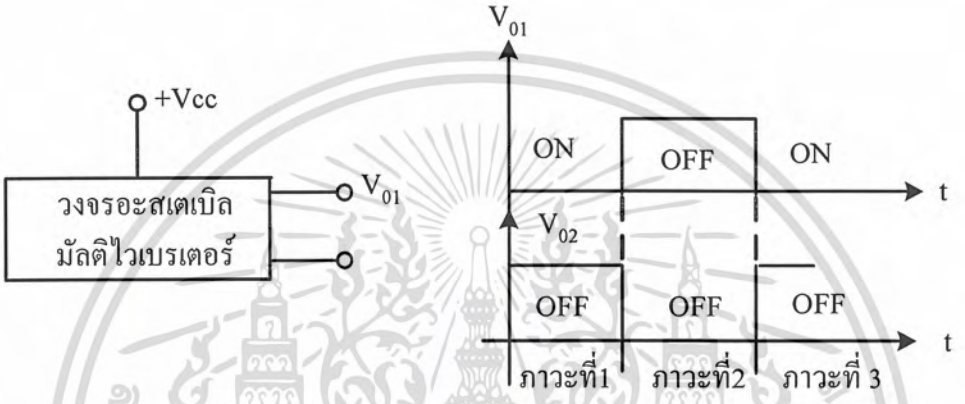


รูปที่ 2.26 วงจรจุดชนวนตามส่วนต่างๆ ของวงจรโมโนสเตเบิล

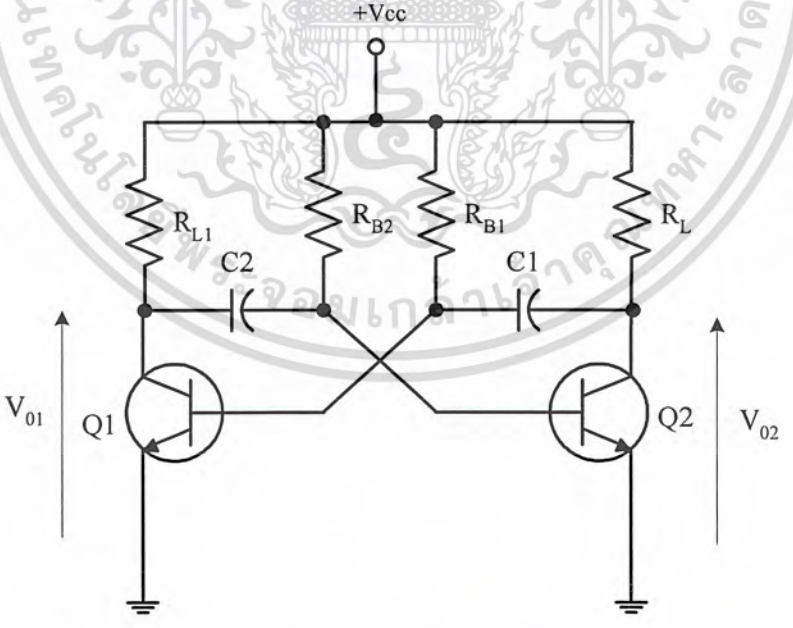
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.9 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

เป็นวงจรที่ไม่มีภาวะคงที่ กล่าวคือ วงจรจะเปลี่ยนสลับไปมาจากสภาวะหนึ่งไปยังอีกสภาวะหนึ่ง และจะกลับสู่ภาวะเดิมอย่างนี้ตลอดเวลาในแต่ละสภาวะหนึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าคงตัวเวลา R_C ของวงจร ดังรูปที่ 2.27 บางครั้งเรียกวงจรนี้ว่า ฟรีรันนิ่ง มัลติไวเบรเตอร์ (Free Running Multivibrator)



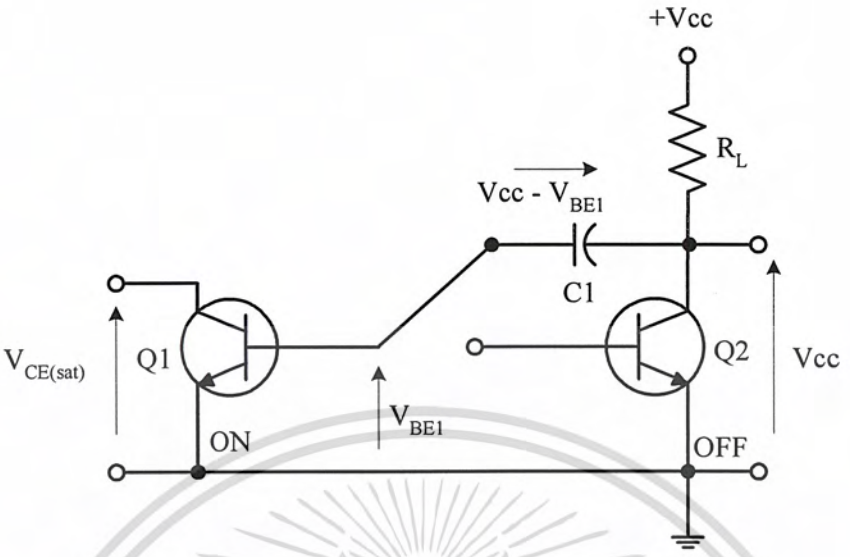
รูปที่ 2.27 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์



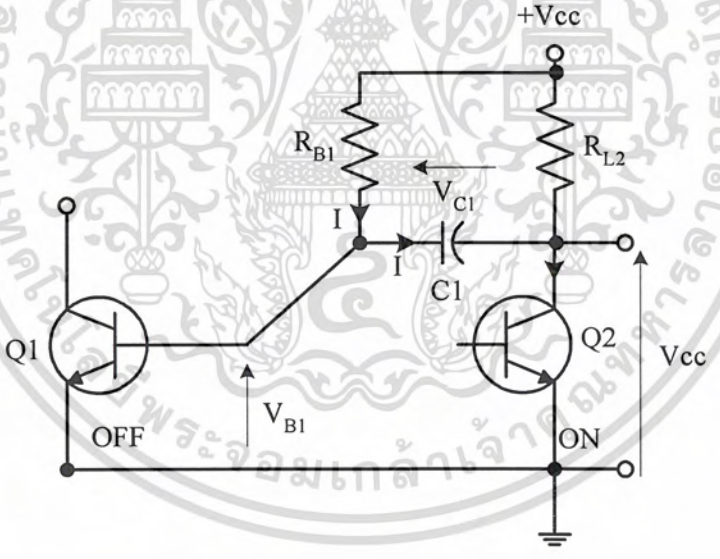
(ก) วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

รูปที่ 2.28 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์และลักษณะของสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



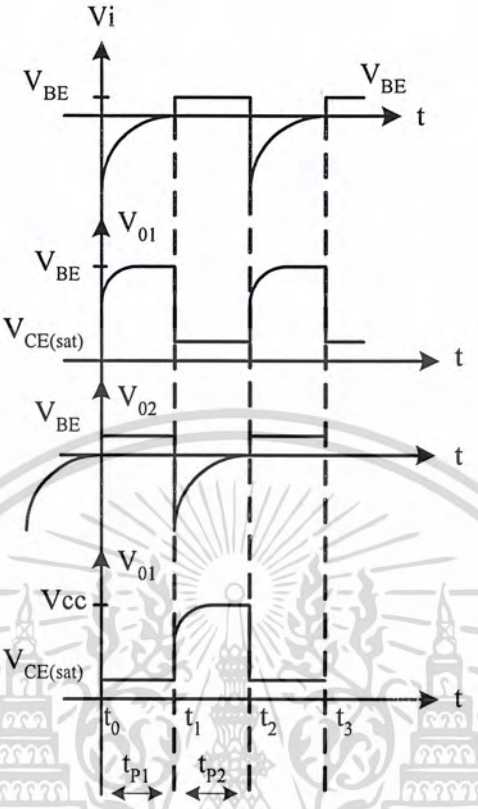
(ข) ทรานซิสเตอร์ได้รับไบอัสตรง



(ค) ทรานซิสเตอร์ได้รับไบอัสกลับ

รูปที่ 2.28 (ต่อ) วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์และลักษณะของสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) รูปคลื่น

รูปที่ 2.28 (ต่อ) วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์และลักษณะของสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจร

จากรูปที่ 2.28 (ก) เป็นวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัว มีลักษณะสมมาตร โดยทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะทำงานสลับกัน คือ ถ้าตัวหนึ่งนำกระแส ทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่งจะไม่นำกระแส สำหรับทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ปิดเปิดวงจร ความเร็วในการสวิตช์ของวงจรขึ้นกับค่า R_1C_1 และ R_2C_2

สมมติว่าที่เวลาที่ t_1 ทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำงานอยู่ในสภาวะ “ON” และทรานซิสเตอร์ Q_2 ทำงานอยู่ในสภาวะ “OFF” ดังนั้นแรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของ Q_1 มีค่าเป็น $V_{CE}(sat)$ และแรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของ Q_2 มีค่าเป็น V_{CE} ดังรูปที่ 2.28 (ข) ขณะนี้ตัวเก็บประจุ C_1 มีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ

$$V_{02} = V_{C1} + V_{BE1}$$
$$V_{C1} = V_{02} - V_{BE1}$$
$$V_{C1} = V_{CC} - V_{BE1} \qquad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างถึงรูปคลื่นในรูปที่ 2.28 (จ) ที่เวลา t_1+ แรงดันที่เบสของ Q_2 มีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่า $0V$ ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_2 นำกระแสและอิ่มตัว แรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของ Q_2 ลดลงจากค่า V_{CC} เป็น $V_{CE}(sat)$ แต่ในขณะที่ตัวเก็บประจุ C_1 ไม่สามารถคายประจุได้ทันทีทันใดต้องใช้เวลาช่วงหนึ่ง ดังนั้นแรงดันที่เบสของ Q_1 จึงมีค่าเท่ากับ

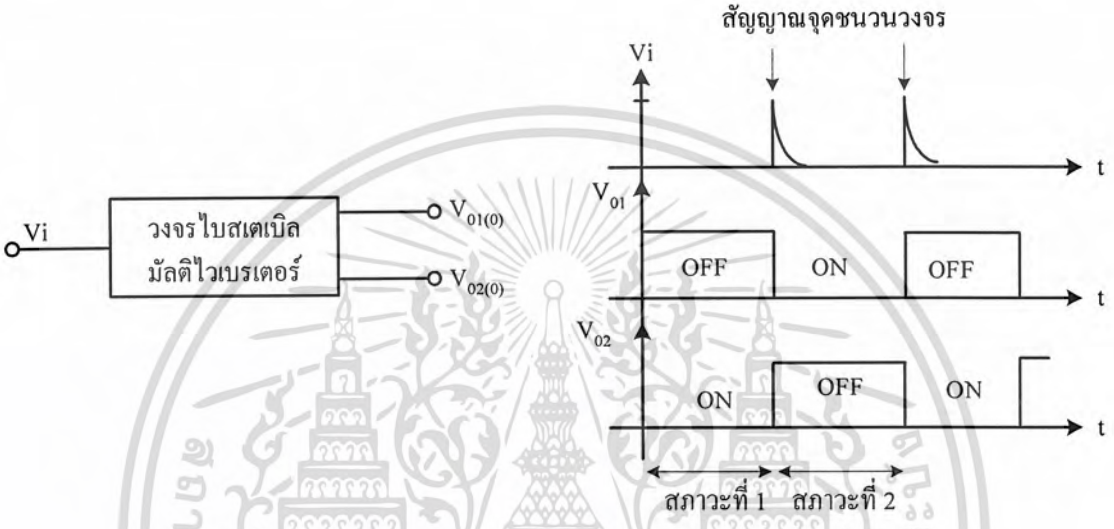
$$\begin{aligned} V_{02} &= V_{C1} + V_{B1} \\ V_{B1} &= V_{02} - V_{C1} \\ &= V_{CE}(sat) - (V_{CC} - V_{B1}) \\ V_{B1} &= -V_{CC} \end{aligned} \tag{2.21}$$

ขณะนี้แรงดันที่เบสของ Q_1 มีค่าประมาณ $-V_{CC}$ ดังรูปที่ 2.28 (ค) ทรานซิสเตอร์ Q_1 ได้รับไบอัสกลับ ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำงานในสภาวะ “OFF” และแรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของ Q_1 มีค่าเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียลจนถึงค่า V_{CC} โดยใช้เวลาช่วงหนึ่ง เนื่องจากตัวเก็บประจุ C_2 ทำการประจุไฟฟ้าโดยผ่านตัวความต้านทาน R_{L1} และมีแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_2 เท่ากับ $V_{CC}-V_{BE2}$ ดังรูปที่ 2.28 (ค) ดังนั้นลักษณะรูปคลื่นของแรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของ Q_1 เมื่อเวลาผ่าน t_1+ ไปแล้วจึงมีลักษณะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล ดังรูปที่ 2.28 (จ) ระหว่างช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 แรงดันที่เบสของ Q_2 มีค่าประมาณ V_{BE} ซึ่งทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_2 อยู่ในสภาวะ “ON” ในช่วงเวลานี้ตัวเก็บประจุ C_1 จะเริ่มทำการคายประจุผ่านตัวต้านทาน R_{B1} ทำให้แรงดันของเบสที่ Q_1 มีค่าเพิ่มขึ้นแบบเอกโพเนนเชียลจากค่า $-V_{CC}$ ไปยังค่า $+V_{CC}$ และเมื่อเวลาผ่านไปเป็น t_2+ แรงดันที่เบสของ Q_1 มีค่ามากกว่า $0V$ เล็กน้อย จะทำให้รอยต่อออิมิตเตอร์และเบสได้รับไบอัสตรงทรานซิสเตอร์ Q_1 จึงอยู่ในสภาวะ “ON” แรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของ Q_1 จะลดลงมีค่าเท่ากับ $V_{CE}(sat)$ ในทำนองเดียวกันกับที่เวลา t_1+ คือ ในขณะนี้ตัวเก็บประจุ C_2 ไม่สามารถคายประจุได้ทันทีทันใดต้องใช้เวลา ดังนั้นแรงดันที่เบสของ Q_2 จึงมีค่าเท่ากับ $-V_{CC}$ ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_2 อยู่ในสภาวะ “OFF”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.10 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

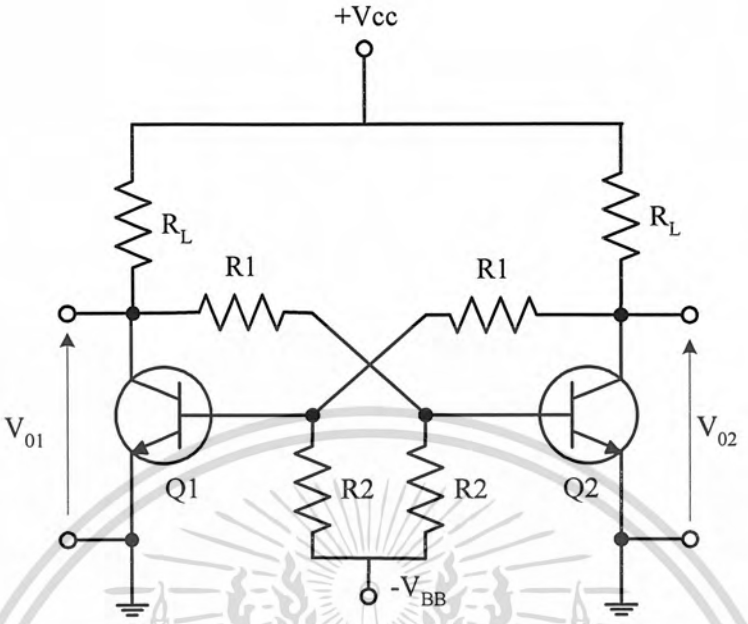
เป็นวงจรที่มีสภาวะคงที่ 2 สภาวะ การเปลี่ยนสภาวะของวงจร จากสภาวะหนึ่งไปยังอีกสภาวะหนึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณจุดชนวนจากภายนอกของวงจร ดังรูปที่ 2.29 บางครั้งเรียกว่าวงจรฟลิปฟลอบ (Flip Flop)



รูปที่ 2.29 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

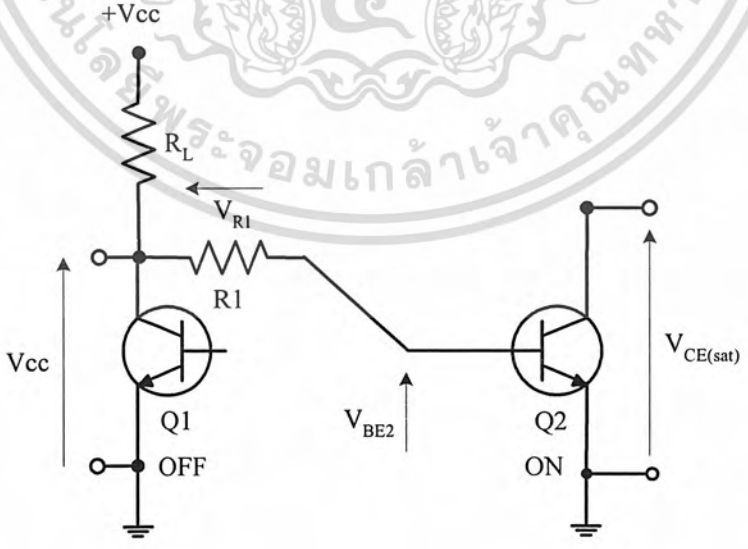
จากรูปที่ 2.30 เป็นวงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แบบคอลเล็กเตอร์คัปปลิ้ง ซึ่งประกอบด้วย วงจรสวิตช์ทรานซิสเตอร์ 2 วงจรที่มีลักษณะสมมาตร แรงดันเอาต์พุตของแต่ละวงจรจะถูกป้อนกลับผ่าน R_1 ไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ของแต่ละวงจร ดังนั้นเมื่อวงจรสวิตช์ทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่ง ON อีกตัวหนึ่ง OFF หลักการของวงจร สมมติว่าวงจรอยู่ในสภาวะที่ทรานซิสเตอร์ Q_1 “ON” และ Q_2 “OFF” วงจรอยู่ในสภาวะคงที่เช่นนี้ตลอดไป จนกระทั่งมีสัญญาณจุดชนวนจากภายนอกมากระทำให้วงจรเปลี่ยนสภาวะใหม่เป็น Q_1 “OFF” และ Q_2 “ON” และวงจรอยู่ในสภาวะคงที่เช่นนี้ต่อไป จนกว่าจะมีสัญญาณจุดชนวนใหม่อีกครั้งวงจรนี้จึงเปลี่ยนสภาวะการทำงานอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แบบคอลเล็กเตอร์คัปปลิ้ง ON

พิจารณาวงจรรูปที่ 2.31 สมมติให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 อยู่ในสภาวะ “OFF” และทรานซิสเตอร์ Q_2 อยู่ในสภาวะ “ON” แรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของ Q_1 มีค่าประมาณ V_{CC} ดังรูป ค่าแรงดันนี้จะป้อนให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_2 โดยผ่านตัวความต้านทาน R_1



รูปที่ 2.31 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แบบคอลเล็กเตอร์คัปปลิ้ง OFF

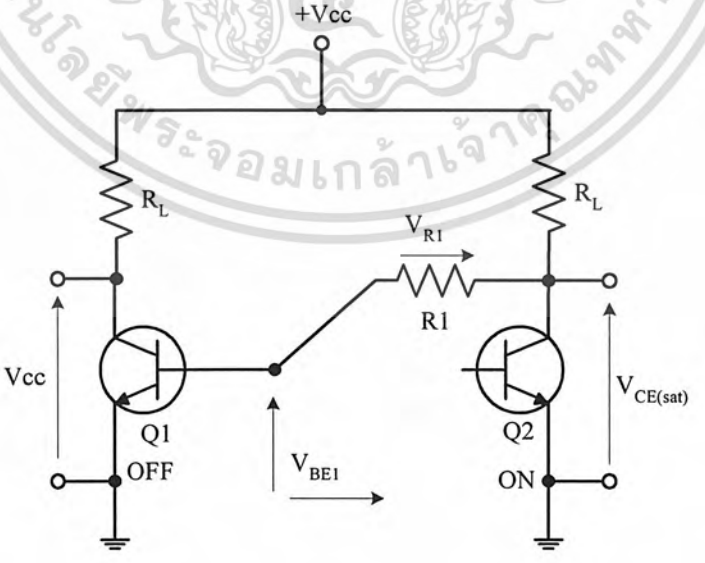
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแรงดันที่เบสของ Q_2 จึงมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_{BE2} - V_{CE1} + V_{R1} &= 0 \\ V_{BE2} &= V_{CE1} - V_{R1} \\ V_{BE2} &= V_{CC} - V_{R1} \\ &= V_{CC} \end{aligned} \tag{2.22}$$

ซึ่งทำให้ขาเบสและอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_2 ได้รับไบอัสตรงทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_2 นำกระแสจนถึงจุดอิ่มตัว และแรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของ Q_2 มีค่าประมาณ 0 โวลต์ $V_{CE}(sat) = 0.3$ สำหรับซิลิกอนทรานซิสเตอร์ ค่าแรงดันนี้จะป้อนกลับให้ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 โดยผ่านตัวความต้านทาน R_1 ดังรูปที่ 2.32 ทำให้แรงดันที่เบสของ Q_1 มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_{BE1} - V_{CE}(sat) + V_{R1} &= 0 \\ V_{BE1} &= -V_{R1} + V_{R1} + V_{CE}(sat) \\ V_{BE1} &= -V_{R1} \end{aligned} \tag{2.23}$$

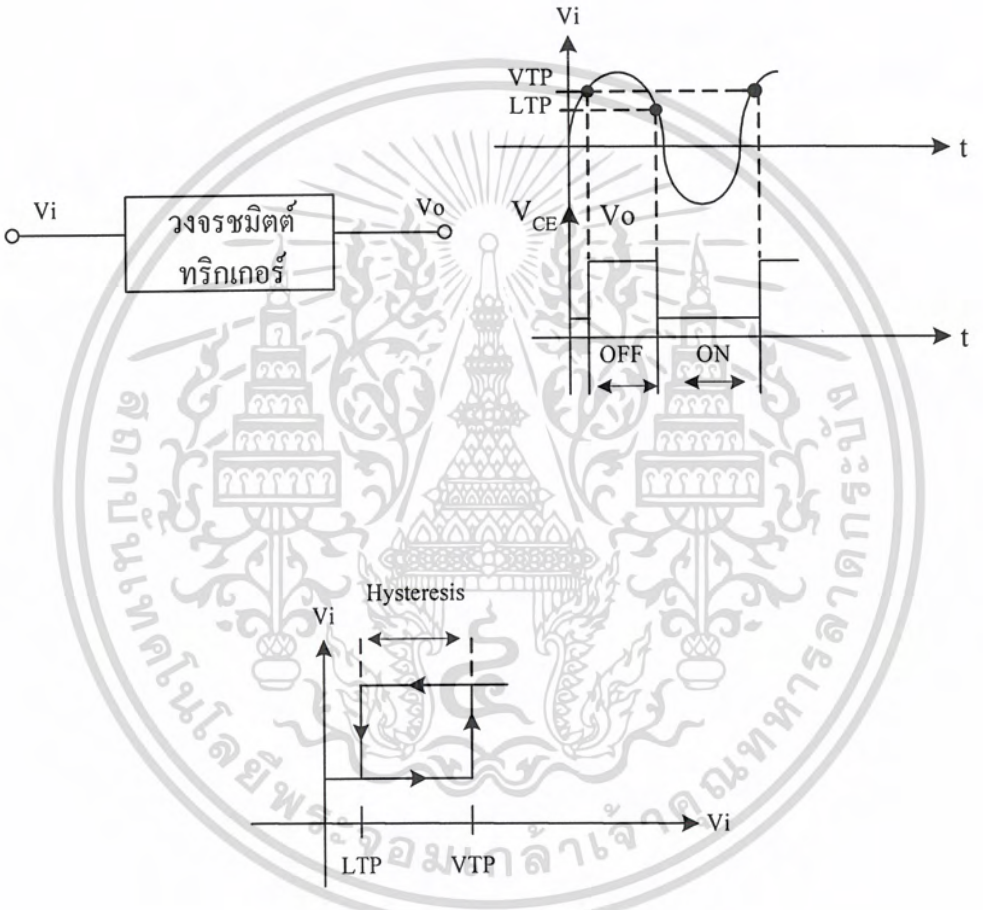


รูปที่ 2.32 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แบบคอลเล็กเตอร์คัปปลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

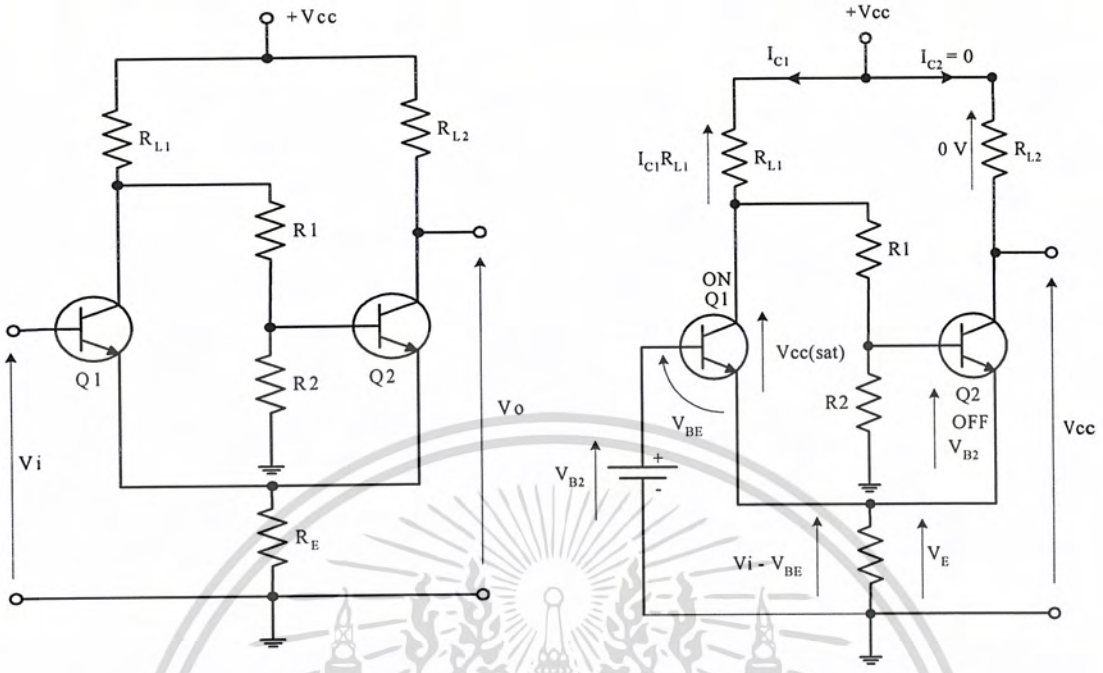
2.2.11 วงจรชมิตต์ทริกเกอร์

วงจรชมิตต์ทริกเกอร์เป็นวงจรที่มีสัญญาณจุดชนวนอินพุต 2 ระดับ คือ จุดชนวนขีดบน (Upper Trigger Point, UTP) ซึ่งทำให้วงจรอยู่ในสภาวะ “OFF” และจุกชนวนขีดล่าง (Lower Trigger Point, LTP) ซึ่งทำให้วงจรอยู่ในสภาวะ “ON” ดังรูปที่ 2.33 ขนาดของแรงดันจุดชนวนทั้งสอง ขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจร

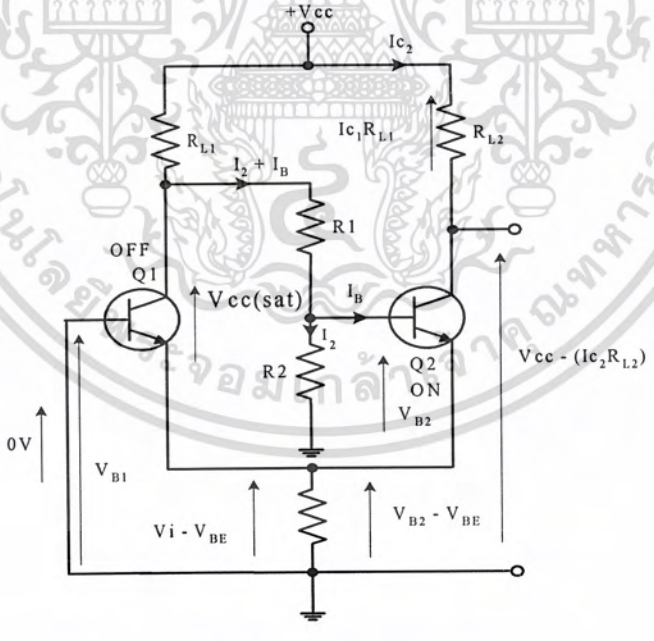


รูปที่ 2.33 วงจรชมิตต์ทริกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การทำงานของวงจร (ข) สภาวะการทำงาน Q_1On, Q_2 Off



(ค) สภาวะการทำงาน Q_1Off, Q_2 On

รูปที่ 2.34 วงจรไบสเตเบิลชนิดอิมิตเตอร์คัปปลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรูปที่ 2.34 (ก) เป็นวงจรชมิตต์ทริกเกอร์ หรือ วงจรไบสเตเบิลชนิดอิมิตเตอร์คัปปลิ้ง ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์สวิตช์สองตัวต่อในลักษณะเรียงกันโดยตรง ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ทั้งสองต่อลงกราวนด์โดยผ่านตัวต้านทาน R_E ทำให้กระแส I_E ที่ไหลผ่าน R_E ไม่มีผลต่อทรานซิสเตอร์ตัวที่ "ON" อยู่ ขั้วอินพุต คือ ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 ส่วนขั้วเอาต์พุต คือ ขาคอลเล็กเตอร์ของ Q_2 ตัวต้านทาน R_1, R_2 ทำหน้าที่แบ่งแรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ Q_1 ให้กับแรงดันที่ขาเบสของ Q_2 วงจรมีสภาวะคงที่ 2 สภาวะ การเปลี่ยนสภาวะคงที่ของวงจรขึ้นอยู่กับระดับแรงดันจุดชนวน V_i การทำงานของวงจรอธิบายเป็นขั้นตอนดังนี้

1. เมื่อ $V_i = 0V$ จะทำให้ Q_1 "OFF" แรงดัน V_E (ด้าน Q_1)$= V_1$ และมีกระแส $I_2 + I_B$ ไหลผ่าน R_{L1}, R_1, R_2 ทำให้แรงดัน V_{B2} มีค่าสูงพอที่จะทำให้ Q_2 "ON" จึงมีกระแส I_{C2} ไหลผ่าน R_{L2} เกิดแรงดัน $I_{C2} \times R_{L2}$ ดังนั้นแรงดัน $V_O = (V_{CC} - I_{C2}R_{RL2})$

2. ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะไม่ "ON" จนกว่าแรงดัน $V_{B1} > V_E$ หรือ $V_i > V_E$ นั่นเอง

3. ขณะนี้แรงดัน V_E (ด้าน Q_2) $= V_{B2} - V_{BE}$ และ V_E (ด้าน Q_1) $= V_i - V_{BE}$ ดังรูปที่ 2.34 (ข)

4. นั่นคือเมื่อ $V_i > V_{B2}$ จะทำให้ Q_1 "ON" กระแส I_{C1} ไหลผ่าน R_{L1} เกิดแรงดันตกคร่อม V_{RL1} ทำให้ $V_{O1} = (V_{CC} - I_{C1}R_{L1})$ และแรงดัน $V_{B2} < V_E$ ดังนั้น Q_2 ถูกไบอัสกลับ เปลี่ยนสภาวะเป็น "OFF" ทำให้แรงดัน $V_{O2} = V_{CC}$

5. สภาวะวงจรขณะนี้ คือ Q_1 "ON" และ Q_2 "OFF" ดังรูปที่ 2.34 (ค)

6. ขณะที่ Q_1 "ON" กระแส $I_E = V_E / R_E = (V_i - V_{BE}) / R_E$ ถ้า V_i ลดลงจะทำให้ I_E ลดลงด้วยแต่ $I_E = I_C$ และแรงดัน V_{RC1} จะลดลงตามกระแส I_{C1} ดังนั้นเมื่อลด V_i จะทำให้ V_{RC1} ลดลงด้วยอันส่งผลทำให้ V_{O1} เท่ากับ ($V_{CC} - I_{C1}R_{L1}$) เพิ่มขึ้นตามลำดับ

7. เมื่อ V_{O1} เพิ่มขึ้นทำให้แรงดัน V_{B2} เพิ่มตาม ถ้า V_i ลดลงจนกระทั่ง $V_{B2} >= V_E$ นั่นคือ Q_2 ได้รับไบอัสตรงทรานซิสเตอร์ Q_1 "ON" อีกครั้งหนึ่ง

8. ระดับแรงดัน V_i ทำให้แรงดัน Q_1 "ON" เรียกว่า จุดชนวนขีดบน (Upper Trigger Point : UTP) และเรียกระดับแรงดัน V_i ทำให้ Q_1 "OFF" ว่า จุดชนวนขีดล่าง (Lower Trigger Point : LTP)

2.2.12 การใช้งานไทม์เมอร์ 555

ไอซีไทม์เมอร์ 555 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในงานอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะการนำงานมาต่อเป็นวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ เช่น วงจรโมโนสเตเบิล อะสเตเบิล และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสร้างสัญญาณกวาด เป็นต้น ลักษณะภายนอกของไอซี 555 จะมีขาทั้งหมด 8 ขา โดยแต่ละขาจะมีหน้าที่ดังนี้ คือ

1. ขากราวนด์ (Ground) เป็นจุดต่อกราวนด์ของวงจรภายในและภายนอก

2. ขาจุดชนวน (Trigger) ทำหน้าที่จุดชนวนให้ไอซี 555 อยู่ในสภาวะ “ON” เมื่อมีสัญญาณจุดชนวนแรงดันลบที่มีขนาดน้อยกว่า 1 ใน 3 ของ V_{CC}

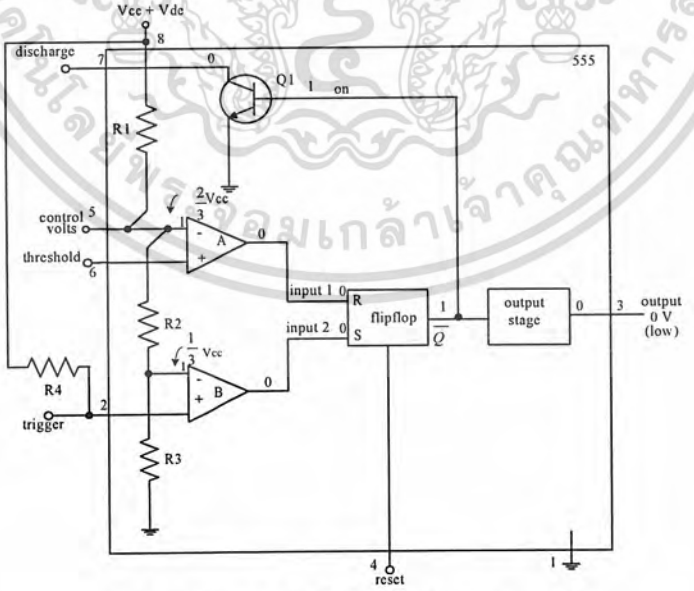
3. ขาเอาต์พุต (Output) เป็นเอาต์พุตของไอซี 555 ที่ต่อไปยังโหลดภายนอกมี 2 สภาวะ คือ สภาวะ “ON” (1) และสภาวะ “OFF” (0)

4. ขารีเซต (Reset) ทำหน้าที่เปลี่ยนสภาวะปัจจุบันของไอซี 555 ให้เป็นสภาวะ “OFF” เมื่อมีสัญญาณเข้าที่ขารีเซต

5. ขาแรงดันควบคุม (Control Voltage) จะต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันภายนอกเพื่อควบคุมไอซี 555 ให้ทำงานที่ค่าแรงดันมากกว่า 1 ใน 3 ของ V_{CC} และ 2 ใน 3 ของ V_{CC}

6. ขาแรงดันขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold Voltage) ถ้าแรงดันที่ขานี้มีค่ามากกว่า 2 ใน 3 ของ V_{CC} จะทำให้ไอซี 555 อยู่ในสภาวะ “OFF” และถ้าแรงดันที่ขานี้มีค่าน้อยกว่า 2 ใน 3 ของ V_{CC} จะทำให้ไอซี 555 อยู่ใน สภาวะ “ON”

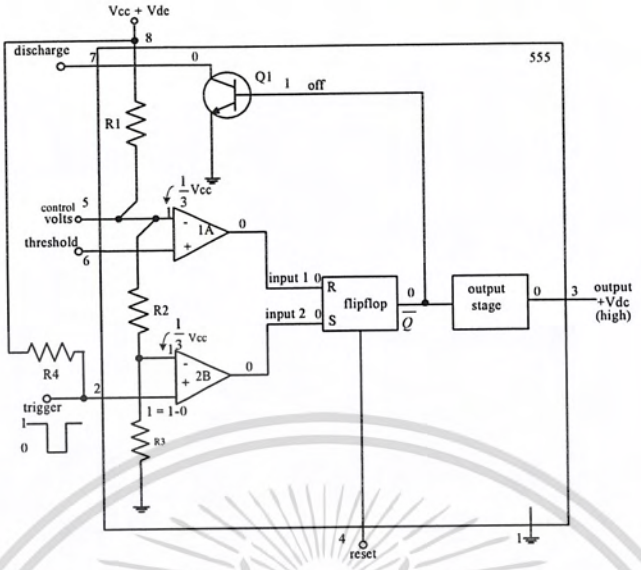
7. ขาคายประจุ (Discharge) มักจะต่อกับตัวเก็บประจุภายนอก เพื่อให้ตัวเก็บประจุคายประจุผ่านทรานซิสเตอร์ Q_1 ขณะที่ Q_1 อยู่ในสภาวะ “ON”



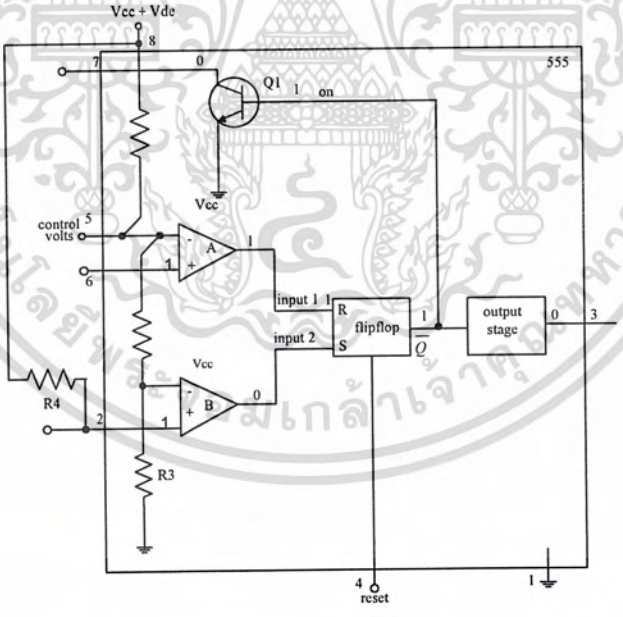
(ก) การทำงานของไอซี 555 ในสภาวะสงบ

รูปที่ 2.35 การทำงานของไอซี 555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) การทำงานของไอซี 555 ในสภาวะ ON



(ค) การทำงานของไอซี 555 ในสภาวะ OFF

รูปที่ 2.35 (ต่อ) การทำงานของไอซี 555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรดังรูปที่ 2.35 (ก) การทำงานของไอซี 555 ในสภาวะสงบ (Quiescent) โดยขา 2 จะต่อกับแหล่งจ่ายแรงดัน V_{CC} ผ่าน R_4 ขณะนี้ไม่มีแรงดันจุดขนวนที่ขา 2 วงจรเปรียบเทียบ 1 มีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 0 เพราะว่าแรงดันที่ขาลบมากกว่าที่ขาบวก ($2V_{CC} > 0V$) และวงจรเปรียบเทียบ 2 มีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 0 เช่นกัน เพราะว่าแรงดันที่ขาลบมีค่ามากกว่าที่ขาบวก โดยแรงดันที่ขาลบมีค่าประมาณ V_{CC} จะเห็นว่าเวลานี้แรงดันอินพุต ของวงจรฟลิปฟลอปจะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 อยู่ในสภาวะ "ON" และวงจรอินพุตของวงจรฟลิปฟลอปยังเป็นอินพุตของวงจรภาคเอาต์พุต (Output Stage) โดยวงจรภาคเอาต์พุตจะทำการกลับสัญญาณอินพุต (Inverting) ให้เป็นสัญญาณตรงข้ามกับอินพุต ดังนั้นไอซี 555 จะให้เอาต์พุตเป็น 0

วงจรดังรูปที่ 2.36 (ข) การทำงานของไอซี 555 ในสภาวะ "ON" ที่ขา 2 จะมีสัญญาณจุดชนวนแรงดันลบขนาดน้อยกว่า 1 ใน 3 ของ V_{CC} ดังนั้นแรงดันที่ขาบวกมากกว่าที่ขาลบวงจรเปรียบเทียบ 2 ให้เอาต์พุตเป็น 1 ในขณะที่สัญญาณอินพุตของวงจรเปรียบเทียบไม่เปลี่ยนแปลงจึงทำให้เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ 1 เป็น 0 เมื่อ S ของวงจรฟลิปฟลอปเป็น 1 จะทำให้เอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 0 แรงดันเอาต์พุตของฟลิปฟลอปจะทำให้ Q_1 อยู่ในสภาวะ "OFF" และแรงดันเอาต์พุตของฟลิปฟลอป เมื่อเป็นอินพุตของภาคเอาต์พุตจะทำให้ไอซี 555 ให้เอาต์พุตเป็น 1

วงจรดังรูปที่ 2.35 (ค) การทำงานของไอซี 555 ในสภาวะ "OFF" ที่ขา 6 จะมีสัญญาณจุดชนวนแรงดันบวกที่ขาขนาดมากกว่า $2V_{CC}$ ทำให้วงจรเปรียบเทียบ 1 มีแรงดันที่ขาบวกมากกว่าขาลบ ดังนั้นเอาต์พุตของวงจรมีค่าเป็น 1 ในขณะที่วงจรเปรียบเทียบ 2 ไม่มีสัญญาณจุดชนวนที่ขา 2 จึงทำให้แรงดันที่ขาลบมากกว่าที่ขาบวก ดังนั้นเอาต์พุตเป็น 0 ผลของเอาต์พุตจากวงจรเปรียบเทียบ 1 จะทำให้ฟลิปฟลอปเอาต์พุตเป็น 1 และแรงดันค่านี้เมื่อผ่านภาคเอาต์พุตจะทำให้ไอซี 555 มีค่าเป็น 0 ที่ขา 3

2.3 โปรแกรมวิชวลเบสิก

ในปัจจุบันในระบบปฏิบัติการในลักษณะของวินโดว์ ได้เข้ามาแทนที่ในระบบปฏิบัติการแบบเดิม ซึ่งส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ คือ ดอส วินโดว์ได้ทำการเปลี่ยนรูปแบบของคอมพิวเตอร์ให้มีความสามารถมากกว่าการเป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ด้วยการเพิ่มความสามารถทางด้านการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และผู้ใช้ ซึ่งเรียกว่า "User Interface" เข้าไปจะทำให้คอมพิวเตอร์มีการใช้งานที่ง่ายมากขึ้น ด้วยการพัฒนารูปโปรแกรมแบบต่างๆ ให้อยู่ในรูปของ Graphic User Interface ซึ่งแตกต่างจากรูปแบบของโปรแกรม ในลักษณะเดิมที่ใช้กันอยู่บนระบบปฏิบัติการดอส แต่เดิมการแสดงผลจะอยู่ในรูปแบบตัวอักษร ซึ่งค่อนข้างมีข้อจำกัดโดยเฉพาะรูปแบบของคำสั่งที่ใช้จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบของคำสั่งที่ใช้ป้อนทีละบรรทัด หรือเรียกว่า "Command Line" โดยผู้ใช้จะต้องทำการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของแต่ละคำสั่งอย่างถูกต้องแม่นยำ จึงจะใช้โปรแกรมนั้นได้เป็นอย่างดี

ในการพัฒนาโปรแกรมขึ้นใช้งานเช่นเดียวกัน แต่เดิมโปรแกรมเมอร์พัฒนาโปรแกรมอยู่บนระบบปฏิบัติการดอส จึงเปลี่ยนแปลงรูปแบบและแนวความคิดมาทำการพัฒนาโปรแกรม บนวินโดว์แทน ในยุคแรกการพัฒนาโปรแกรมวินโดว์ นั้นค่อนข้างจะทำได้ยาก โดยอาจจะใช้ภาษา C หรือ Software Development Kit (SDK) มาเขียนโปรแกรมแต่ต้องเขียน Routine ต่างๆ เป็นจำนวนมากเพื่อพัฒนาโปรแกรมหนึ่งๆ ให้แล้วเสร็จ ด้วยเหตุนี้ Microsoft จึงนำภาษาคอมพิวเตอร์มาใช้ ชื่อ "BASIC" ในรูปแบบเดิมมาพัฒนาขึ้นใหม่ให้ชื่อว่า "Visual Basic" โดยเริ่มต้นจาก Visual Basic Version 1.0 และได้มีการพัฒนามาเป็นลำดับจนกระทั่งถึงในปัจจุบัน

เราสามารถใช้ Visual Basic สร้างโปรแกรมบนวินโดว์ โดยอาศัยการออกแบบโปรแกรมในลักษณะ Visualize ซึ่งใช้การกำหนดตำแหน่งของออปเจ็ค ลงบนจอภาพ เพื่อติดต่อกับผู้ใช้โดยตรง ออปเจ็คเหล่านี้จะเปลี่ยนไปตามเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น เช่น การเคลื่อนเมาส์ หรือการรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด ในการกำหนดขั้นตอนการทำงานให้กับออปเจ็ค ภายใต้เหตุการณ์ใดๆ จะใช้ภาษา Basic เข้ามาช่วยในการเขียนโปรแกรม ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การพัฒนาโปรแกรมบนวินโดว์โดยการใช้ Visual Basic มีความง่ายและสะดวกในการใช้งาน รวมทั้งมีขั้นตอนน้อยเพียงแต่เลือก From และ Control ที่เหมาะสมแล้ววาดภาพลงบนจอภาพเพื่อใช้ติดต่อกับผู้ใช้ จากนั้นจึงทำการเขียนภาษา Basic เพื่อสร้างโปรแกรมด้วยตนเอง ด้วยวิธีที่ง่ายและเร็วกว่าที่คิด จึงทำให้ผู้ใช้เรียนรู้ได้ภายในเวลา 2-3 ชั่วโมง สามารถสร้างโปรแกรมบน Windows แบบง่ายๆ ได้

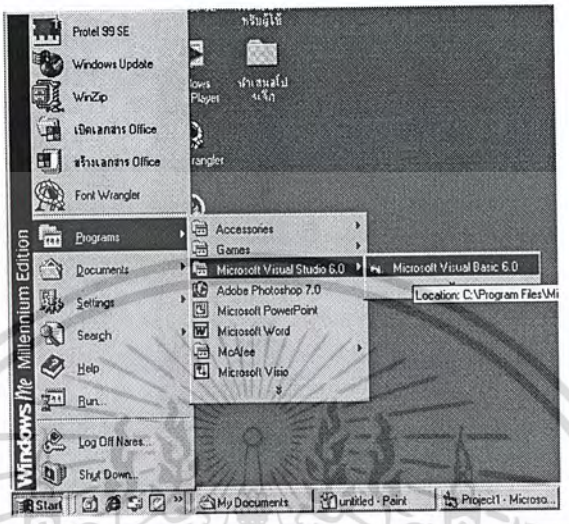
นอกจากนี้ Visual Basic ยังใช้ได้ตั้งแต่ User ระดับต้นเพื่อใช้สร้างโปรแกรมง่ายๆ บนวินโดว์ หรือโปรแกรมเมอร์ระดับกลางที่จะเรียกใช้ฟังก์ชั่นการทำงานต่างๆ ของ Visual Basic ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนโปรแกรมเมอร์ในระดับอาชีพที่พัฒนาโปรแกรมในระดับสูง โดยการใช้ Object Linking and Embedding (OLE) Windows Application Programming Interface (API) มาประกอบในการเขียนโปรแกรม

1. การเริ่มต้น ในการเปิดโปรแกรม Visual Basic 6 (Starting the Visual Basic IDE)

เมื่อรันการติดตั้งโปรแกรมของ Visual Basic มันจะอนุญาตแทนที่สิ่งต่างๆ ในกลุ่มโปรแกรมหรือสร้างกลุ่มโปรแกรมใหม่ และสิ่งต่างๆ ของโปรแกรมใหม่สำหรับ Visual Basic ในวินโดวส์ พร้อมแล้วที่จะเริ่มต้นใช้ Visual Basic จากวินโดวส์ ต่อไปนี้เป็นขั้นตอนการเริ่มต้น Visual Basic จากวินโดวส์

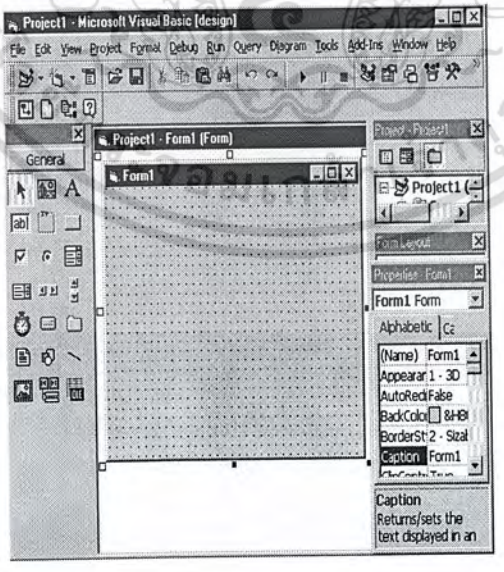
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 คลิก Start บน Toolbar และเลือก Programs Microsoft Visual Basic 6.0 แล้วดับเบิลคลิกที่รายการ Microsoft Visual Basic 6.0



รูปที่ 2.36 การเริ่มต้นเข้าสู่ Visual Basic

1.2 วินโดวส์ของ Microsoft Visual Basic ปรากฏที่จอภาพจะเห็นการเชื่อมโยงต่างๆ ของ IDE (Integrated Development Environment)



รูปที่ 2.37 IDE ของ Visual Basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.สมาชิกต่างๆ ของ IDE

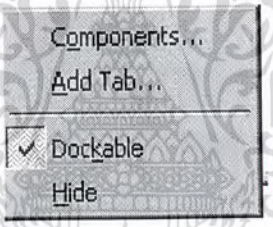
IDE ของ Visual Basic ประกอบด้วยสมาชิกต่อไปนี้

2.1 แถบเมนู (Menu Bar)

รูปที่ 2.38 แถบเมนู

แสดงคำสั่งต่างๆ ที่ใช้ทำงานด้วย วิชวลเบสิก จะประกอบด้วยเมนู file, Edit, View, Project, Format, Debug, Run, Tools, Add – Ins, Window, และ Help เมนู Project, Format, และ Debug ช่วยให้เข้าถึงฟังก์ชั่นต่างๆ สำหรับโปรแกรม

2.2 เมนู Context (Context Menus)



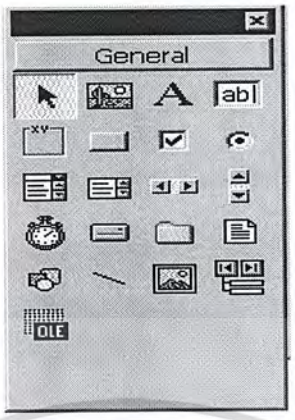
รูปที่ 2.39 เมนู Context

บรรจุ Shortcut ที่ต้องดำเนินการบ่อยๆ การเปิดเมนูContext ให้คลิกปุ่มขวามือของเมาส์บนออปเจ็คต์ รายการ Shortcut จากเมนู Context จะแปรตามส่วนของสภาวะแวดล้อมที่คลิกปุ่มขวามือของเมาส์ เช่น เมนู Context แสดงเมื่อคลิกปุ่มขวามือของเมาส์บนบ๊อกซ์เครื่องมือ (Toolbar) จะปรากฏไดอะล็อกบ๊อกซ์ของ Components, Add Tab, Dockabie, Hilde, หรืออื่นๆ

2.3 แถบเครื่องมือ (Toolbars)

เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้คำสั่งต่างๆ ในสภาวะแวดล้อมของโปรแกรมได้เร็วและสามารถคลิกปุ่มต่างๆ บนแถบเครื่องมือ (Toolbars) เพื่อใช้คำสั่งต่างๆ ดังกล่าว Toolbar มาตรฐานได้จัดทำไว้โดยอัตโนมัติ เมื่อเริ่มต้น IDE ของ วิชวลเบสิก (Visual Basic) แถบเครื่องมือช่วยเหลือในการปรับปรุง แก้ไขแอพพลิเคชัน และ การออกแบบฟอร์ม (form) รวมทั้งการตรวจสอบข้อผิดพลาด สามารถกำหนดให้เป็น On หรือ Off จากคำสั่งของ Toolbars บนเมนู View

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 แถบเครื่องมือ

1) Label เป็น Control ที่ใช้สำหรับเขียนข้อความบนจอภาพ

2) Text box เป็น Control ที่ใช้สำหรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด

3) Command Button ใช้เป็นปุ่มต่างๆ บน Control

4) Option Button ใช้สำหรับกำหนดข้อความที่เป็นทางเลือก โดยบังคับให้เลือกตัวเลือกใดตัวเลือกหนึ่งซึ่งมี Property ที่น่าสนใจ คือ Property Value ที่ใช้สำหรับกำหนดตัวเลือกเริ่มต้นไว้ล่วงหน้า ซึ่งมักจะเป็นตัวเลือกที่ถูกเลือกบ่อยครั้งกว่าตัวเลือกอื่น หรือใช้ตรวจสอบว่าตัวเลือกใดที่ถูกเลือกในการเขียนโปรแกรม

5) Frame ใช้สำหรับวาดกรอบลงบน From ซึ่งนอกจากความสวยงามแล้วเรายังนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแบ่งกลุ่มของ Option Button ที่ต่างกันออกจากกัน

6) Check Box มีลักษณะเช่นเดียวกับกับ Option Button ต่างกันตรงที่สามารถเลือกได้มากกว่า 1 ทางเลือก

7) List Box เป็น Control ที่มีลักษณะเป็นทางเลือกเช่นเดียวกับ Option Button แต่จะมีทางเลือกไม่จำกัด เนื่องจากสามารถเพิ่มเติมได้ และสามารถเลือกได้มากกว่า 1 ทางเลือก ซึ่งแตกต่างจาก Option Button ที่มีทางเลือกตายตัวและเลือกได้เพียงทางเดียว Property ที่น่าสนใจ ได้แก่ Property List ซึ่งใช้สำหรับกำหนดข้อมูลให้กับ List Box

8) Combo Box เป็น Control ที่มีรูปแบบของ Text Box และ List Box รวมกัน โดยใช้ Property Style ในการกำหนดรูปแบบ มีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ 1 เซ็ทค่า = 0-Drop Down Combo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีรูปแบบของ Text Box และ List Box รวมกัน กล่าว คือ สามารถเอาข้อมูลได้โดยการป้อนข้อมูลลงในช่องของ Combo Box หรือเลือกข้อมูลจากช่อง List Box ที่ปรากฏขึ้น เมื่อคลิกปุ่มใน Combo Box เช่น ตัวกำหนด Front ใน Microsoft Word

รูปแบบที่ 2 เซ็ทค่า = 1-Simple Combo

จะมีรูปแบบของ Text Box เพียงอย่างเดียวกล่าว คือ จะเลือกข้อมูลได้จากการป้อนข้อมูล

รูปแบบที่ 3 เซ็ทค่า = 2-Drop Down List

จะมีรูปแบบของ List Box เพียงอย่างเดียว เช่น ตัวกำหนดรูปแบบของกรอบในแถบเครื่องมือ (Border) ใน Microsoft Word

9) Hscroll Bar และ Vscroll Bar เป็นแถบ Scroll Bar ที่การเลื่อนแต่ละครั้งจะให้ค่าออกมาเป็นตัวเลข โดยที่จะเป็นแถบในแนวนอนส่วน Vscroll Bar จะเป็นแถบในแนวตั้งค่าของตัวเลขที่ได้จากการเลื่อนของทั้ง 2 Control จะประมาณออกมาผ่านทาง Property Value โดยจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าที่กำหนดไว้ใน Property Min และ Max

10) Drive List Box, Dir List Box และ File List Box ทั้ง 3 Control นี้เกี่ยวข้องกับ File, Directory และ Drive โดยที่จะทำหน้าที่เป็น Drop Down List Box ที่แสดง Drive ต่างๆ ของเครื่อง Dir List Box ใช้แสดง Directory ต่างๆ และ File List Box ใช้แสดงรายชื่อใน File ใน Directory ที่เลือกไว้ใน Dir List Box

11) Line เป็น Control ที่ใช้วาดเส้น โดยกำหนดรูปแบบของเส้นผ่านทางคุณสมบัติ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติที่ใช้วาดเส้น

คุณสมบัติ	การใช้งาน
Property Border Style	ใช้กำหนดรูปแบบของเส้น เช่น เส้นตรง เส้นประ จุดไข่ปลา เป็นต้น
Property Border Width	ใช้กำหนดความหนาของเส้น
Property X1	ใช้กำหนดจุดเริ่มต้นของเส้นในแนวแกน X
Property X2	ใช้กำหนดจุดสิ้นสุดของเส้นในแนวแกน X
Property Y1	ใช้กำหนดจุดเริ่มต้นของเส้นในแนวแกน Y

12) Shape ใช้วาดภาพทางเลขาคณิต โดยกำหนดรูปแบบผ่านทาง Property Shape ซึ่งมี 6 รูปดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติต่างๆ ที่ใช้วาดรูปภาพทางเลขาคณิต

คุณสมบัติ	การใช้งาน
Property 0-Rectangle	รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
Property 1-Square	รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส
Property 2-Oval	รูปวงรี
Property 3-Circle	รูปวงกลม
Property 4-Rounded Rectangle	รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีมุมบน
Property 5-Rounded Square	รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีมุมบน

13) Image และ Picture Box เป็น Control ที่ใช้อ่าน File รูปภาพมาแสดงบน Form โดยการกำหนดชื่อ File ใน Property Picture สามารถอ่าน File รูปภาพได้ทั้ง File ที่มีนามสกุล BMP, ICO, WMF, DIF และ JPG ทั้ง 2 Control มีข้อแตกต่างดังนี้

1. Control Image ไม่สามารถใช้งานร่วมกับ Control Line ที่ใช้ในการวาดรูปอื่นๆ ได้ เช่น Control หรือ Shape เป็นต้น ส่วน Control Picture Box ทำได้

2. Control Image ไม่สามารถใช้กับไฟล์รูปภาพในลักษณะ Data Dynamic Exchange (DDE) ซึ่งเป็นความสามารถในการแลกเปลี่ยนข้อมูล ระหว่างโปรแกรมที่ทำอยู่บนระบบการปฏิบัติการวินโดว์ได้ ส่วน Control Picture Box ทำได้

3. Control Image สามารถใช้งานในลักษณะของปุ่มที่มีรูปภาพได้ ส่วน Control Picture Box ทำไม่ได้

4. Control Image จะปรับขนาดของภาพที่อ่านมาให้เหมาะกับขนาดของออปเจ็คที่จัดไว้โดยอัตโนมัติ ส่วน Control Picture Box จะต้องกำหนดให้ Property Auto Size มีค่าเป็นจริง จึงจะทำได้

5. Control Image สามารถย่อขยายรูปภาพได้ เมื่อกำหนดค่าให้กับ Property Strech เป็นจริง ส่วน Control Picture Box ทำไม่ได้

14) Time เป็น Control ที่จะไม่ปรากฏบนจอภาพ เมื่อทำการ Run ทำหน้าที่เป็นตัวจับเวลาเพื่อกำหนดการทำงานของโปรแกรมตามช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งใช้ในการเขียนโปรแกรมเพียงอย่างเดียว

15) OLE ใช้สำหรับเรียกใช้งานโปรแกรมอื่นที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ และสามารถทำงานในลักษณะออปเจ็ค Linking and Embedding ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16) Data เป็น Control ที่ใช้ติดต่อกับฐานข้อมูล

4. การสร้างเมนู

ในการสร้างเมนูลงบน Form จะต้องระบุ Form ที่จะจัดทำเมนูก่อน โดยการเรียก Form ที่จะจัดทำเมนูขึ้นมาบนจอภาพ จากนั้นให้เลือกเมนู Tool Bar แทนจะปรากฏภาพ Menu Editor ใน Menu Editorนี้ จะมีส่วนที่น่าสนใจดังนี้

1. ข้อความที่ใส่ถ้าต้องการให้ตัวอักษรใดมีการขีดเส้นใต้ ให้ใส่ & ไว้ข้างหน้าตัวอักษรนั้น เช่น &Exit เป็นต้น จะปรากฏเป็น Exit ซึ่งตัวอักษรที่ขีดเส้นใต้นี้จะใช้ร่วมกับคีย์ Alt

2 Caption ใช้สำหรับใส่ข้อความที่จะใช้เป็นเมนู เช่น ข้อความ File, Edit, View ในจอภาพของ Visual Basic

3. Name ใช้สำหรับกำหนดชื่อให้กับแต่ละเมนู เพราะ Visual Basic จะถือว่าแต่ละเมนู คือ 1 ออปเจ็ค

4. Shortcut จะอยู่ในรูปของ Drop-Down List ซึ่งใช้กำหนด Hot Key ให้กับเมนู เช่น Al-X

5. Checked ใช้สำหรับกำหนดให้เมนูนั้นเป็นแบบ On/Off เช่น Set Default Printer ในเมนูของ Setting Printer ใน Windows 95

6. Enabled ใช้กำหนดว่าต้องการให้เมนูนั้นทำงานหรือไม่ ซึ่งถ้าไม่เลือก Enabled เมื่อทำกาน Run เมนูนั้นจะปรากฏเป็นข้อความสีเทาในเมนู ซึ่งไม่สามารถเลือกเพื่อใช้งานได้

7. Visible ใช้กำหนดให้เมนูนั้นปรากฏบนจอภาพหรือไม่

8. Windows List ใช้กำหนดว่า เมนูดังกล่าวมีเมนูย่อยหรือไม่

6. ตัวออกแบบฟอร์ม (Form Designer)

วินโดว์สำหรับใช้เป็นที่ออกแบบการเชื่อมโยงของแอพพลิเคชั่น สามารถเพิ่มคอลโทรล (Control) กราฟฟิก และภาพต่างๆ ให้ฟอร์มที่สร้างขึ้นตามต้องการแต่ละฟอร์ม (Form) ในแอพพลิเคชันจะมีวินโดว์สำหรับเป็นตัวออกแบบฟอร์มของมันเอง

7. วินโดว์ Properties (Properties Window)

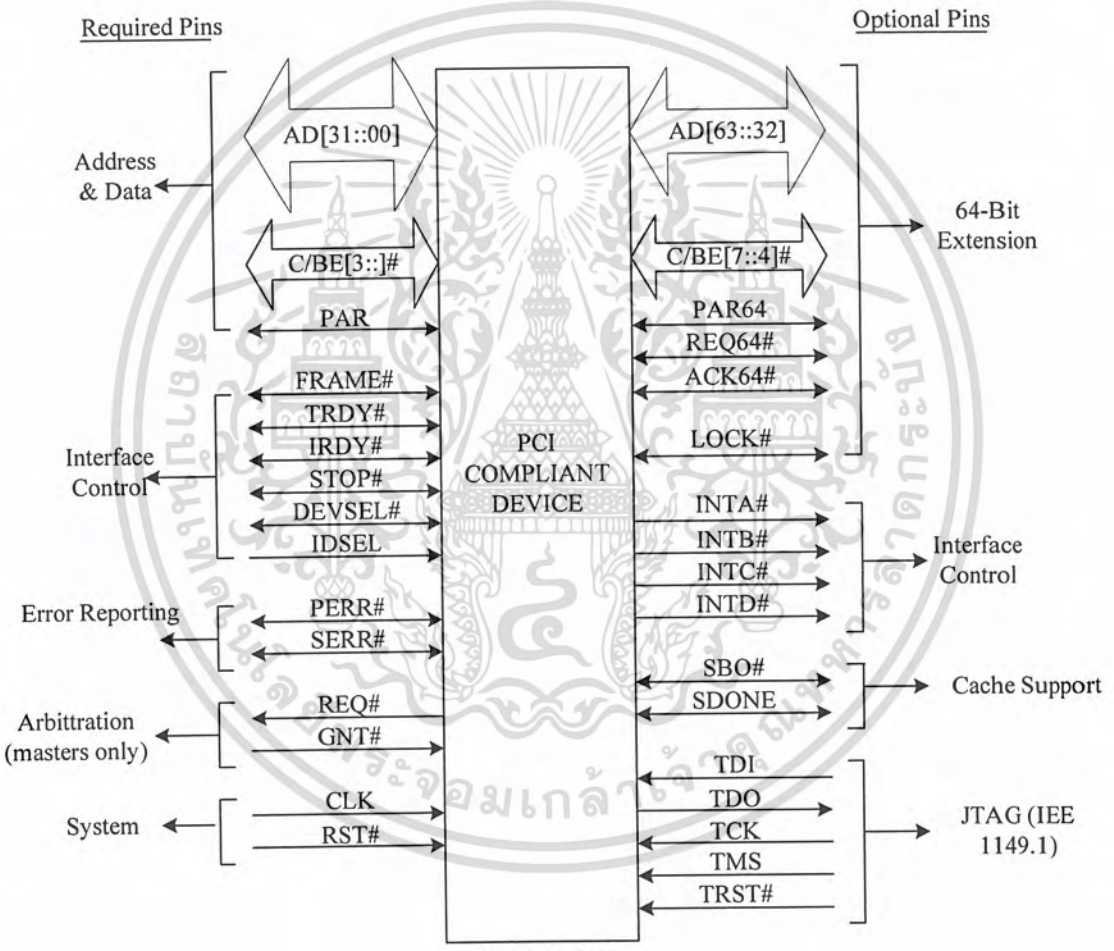
วินโดว์แสดงพรอพเพอร์ที (Properties) ต่างๆ ที่ได้ติดตั้งจากการเลือกฟอร์มหรือคอนโทรล (Control) ซึ่งเป็นคุณลักษณะต่างๆ ของออปเจ็คต์ เช่น ขนาด (Size), ข้อความจ่าหน้า (Caption), หรือสี (Color) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 หลักการอินเตอร์เฟส

PCI BUS เป็นสถาปัตยกรรมยุคใหม่ที่มีความสามารถสูง และสามารถถ่ายโอนข้อมูลได้มากมีความซับซ้อนมากกว่า ISA BUS แบบเก่ามากอุปกรณ์ที่จะนำมาเชื่อมต่อกับ PCI จะต้องได้มาตรฐานตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้แล้ว แต่การออกแบบอุปกรณ์ PCI ชนิด Target Only สำหรับนำมาใช้งานควบคุมที่ไม่ซับซ้อน นับเป็นทางเลือกอีกอย่างหนึ่ง

2.4.1 สัญญาณอินเตอร์เฟสของ PCI BUS



Figur 2-1: PCI Pin List

รูปที่ 2.41 สัญญาณอินเตอร์เฟสของ PCI BUS

สัญญาณอินเตอร์เฟสของ PCI BUS สามารถแยกเป็นสองส่วนได้แก่ Option PIN และ Request PIN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 Request PIN แบ่งได้ตามหน้าที่ดังนี้

1. SYSTEM PIN

1.1 CLOCK Clock ของระบบ PCI BUS การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณต่างจะมีผลที่ขอบขาขึ้นของ Clock

1.2 RESET สัญญาณ RESET

2. ADRESS and DATA PIN

2.1 AD0-AD31 สัญญาณ Address และ Data ใช้ร่วมกันมีทั้งหมด 32 บิต

2.2 C/BE [0::3] สัญญาณชุดคำสั่งของบัส เช่น อ่าน เขียน

2.3 PAR สัญญาณตรวจสอบ Parity

3. Interface Control Pin

3.1 FRAME สัญญาณสำหรับบ่งชี้ว่าเริ่มต้น และ สิ้นสุดขบวนการถ่ายโอนข้อมูล

3.2 IRDY สัญญาณแสดงความพร้อมของ Master

3.3 TRDY สัญญาณแสดงความพร้อมของ Target

3.4 DEVSEL สัญญาณเลือกอุปกรณ์

Option PIN เป็นสัญญาณสำหรับอุปกรณ์ PCI ความสามารถสูง

2.4.3 การทำงานของ BUS แบบพื้นฐาน

หลักการถ่ายโอนข้อมูลของ PCI ประกอบด้วย 3 สัญญาณ คือ

1. FRAME เป็นสัญญาณจาก Master สำหรับบ่งชี้ว่าว่าเริ่มต้น และ สิ้นสุด ขบวนการถ่ายโอนข้อมูล

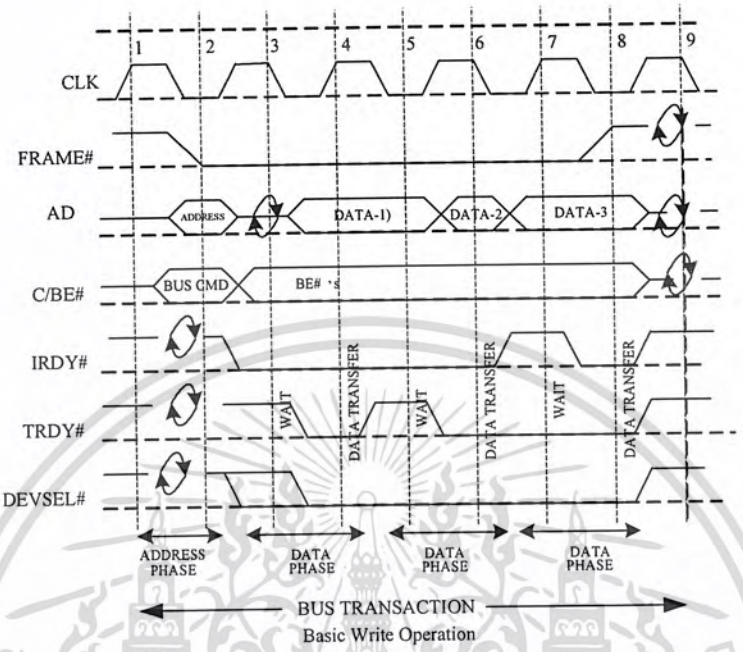
2. IRDY Initiator Ready เป็นสัญญาณจาก Master สำหรับบ่งชี้ว่า พร้อมที่จะรับข้อมูล

3. TRDY Target Ready เป็นสัญญาณจาก Target สำหรับบ่งชี้ว่า พร้อมที่จะรับส่งข้อมูล

เมื่อ Bus อยู่ในสภาวะ Ldle สัญญาณ Frame Irdy จะไม่ Active สัญญาณ Clock ที่ขอบขาขึ้นลูกแรกเมื่อ Frame เริ่ม Active เรียกสภาวะนี้ว่า Address Phase และสัญญาณ Address, Command จะถูกถ่ายโอนในสัญญาณ Clock ที่ขอบขาขึ้นนี้ สัญญาณที่ขอบขาขึ้น Clock ถัดไปเรียกสภาวะนี้ว่า Data Phase ในสภาวะนี้ Irdy Trdy จะ Active สภาวะ Wait Cycle อาจเกิดขึ้นได้ เมื่อสัญญาณ Irdy หรือ Trdy ไม่ Active ขบวนการถ่ายโอนข้อมูลจะสิ้นสุดเมื่อ สัญญาณ Frame ไม่ Active

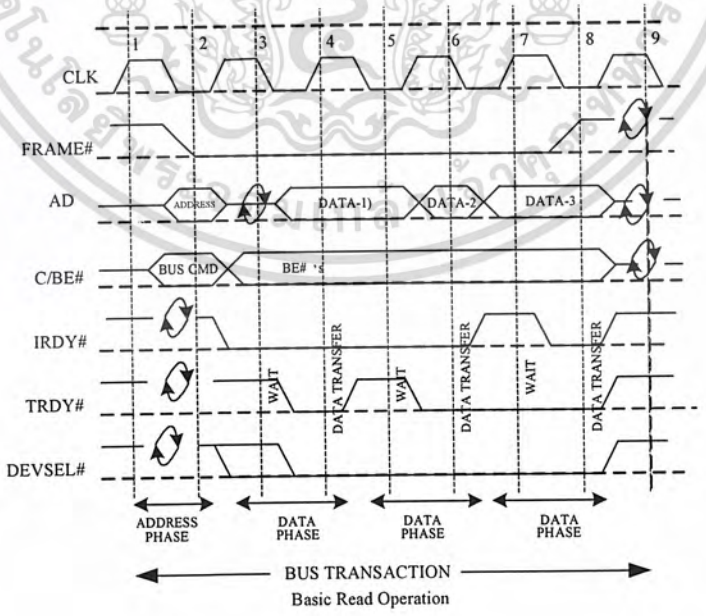
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 ขบวนการเขียนข้อมูล



รูปที่ 2.42 ขบวนการเขียนข้อมูล

2.4.5 ขบวนการอ่านข้อมูล



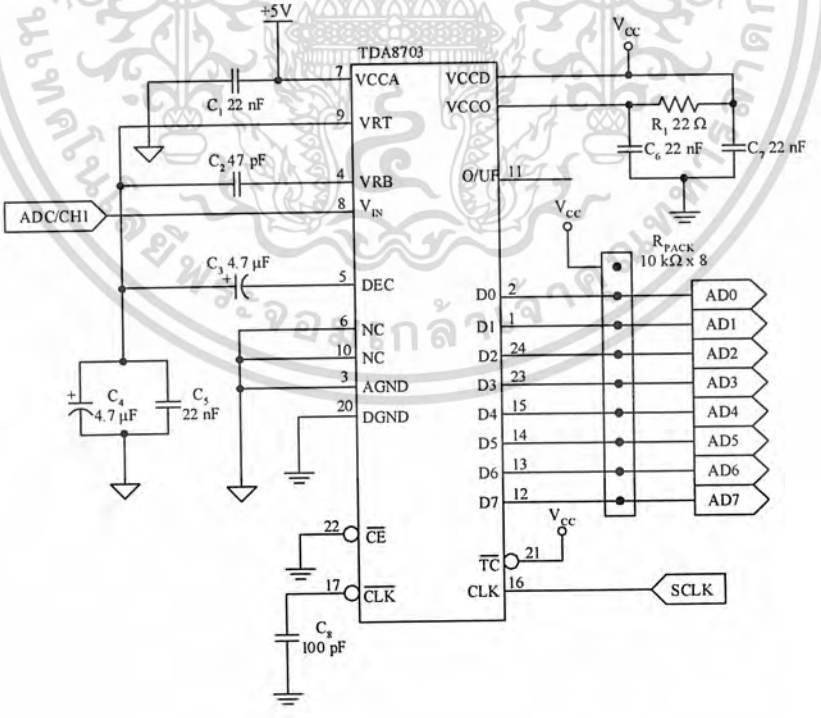
รูปที่ 2.43 ขบวนการอ่านข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

เนื่องจากสัญญาณที่ทำการวัดเข้ามาเป็นสัญญาณแอนะลอก แต่การทำงานของทุกส่วนถูกออกแบบให้ใช้สัญญาณดิจิตอล จึงต้องทำการแปลงสัญญาณที่วัดเข้ามาให้เป็นสัญญาณดิจิตอลโดยใช้ไอซีแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลที่มีขนาด 8 บิตเป็นตัวแปลง

รูปที่ 2.44 เป็นวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล ใช้ไอซีเบอร์ TDA8703 ในการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต โดยมีอัตราการสุ่มข้อมูลสูงสุดถึง 40 เมกะเฮริตซ์ แต่ในการใช้งานจริงใช้เพียง 20 เมกะเฮริตซ์ โดยมีแรงดันอ้างอิงอยู่ที่ 1.55 ถึง 3.26 โวลต์ จัดวงจรให้ทำงานที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา โดยต่อขา 17 กับคาปาซิเตอร์ C8 ลงกราวด์ (Ground : GND) C_1, C_2, C_3, C_4, และ C_5 ต่อคร่อมระหว่างขา VCC กับขา GND เพื่อกรองเอาสัญญาณรบกวนที่คร่อมทับอยู่บน VCC ทิ้งไปโดยต่อให้ใกล้กับขาไอซีที่สุด ขา 9 ของ TDA8703 เป็นขาอินพุตรับสัญญาณแอนะลอก ขา 11 เป็นขาสัญญาณโอเวอร์โฟล (Over Flow) ซึ่งจะเป็นลอจิก “1” ต่อเมื่อสัญญาณอินพุตที่รับเข้ามามีแรงดันต่ำกว่า หรือ สูงกว่าแรงดันอ้างอิง ข้อมูลที่ได้จากการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต (D0-D7) นำไปเก็บที่หน่วยความจำ การสุ่มข้อมูลต่อไปและขาสัญญาณเอาต์พุต D0-D7 ต่อเข้ากับตัวต้านทานพูลอัพ (Pull-Up) ค่า 10 กิโล เพื่อลดสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2.44 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

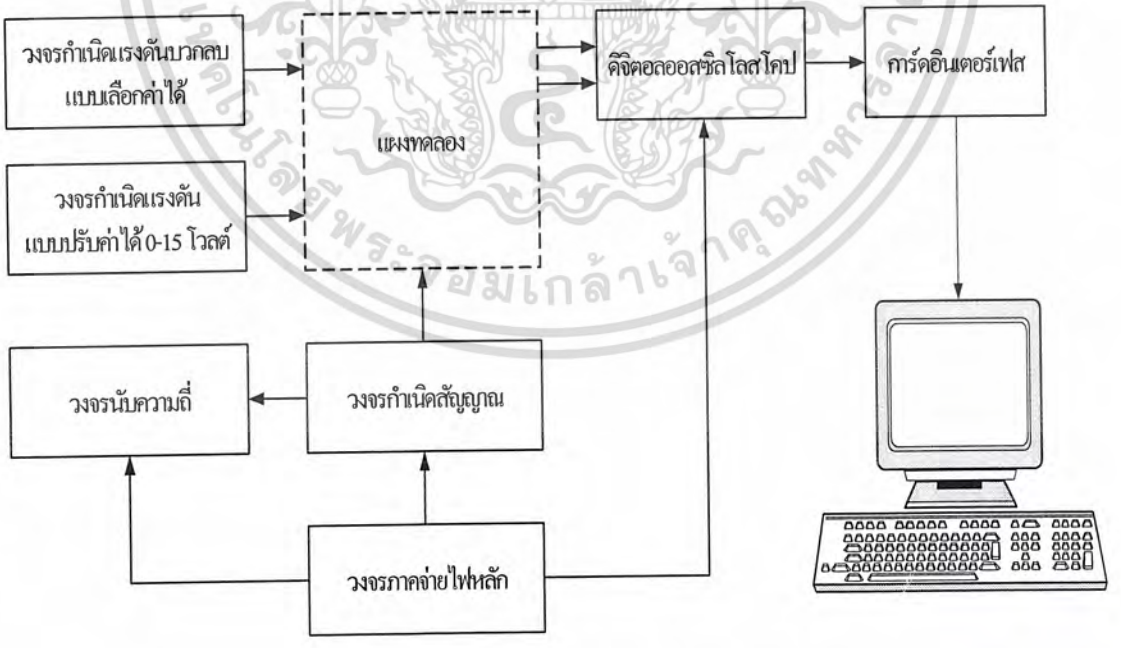
บทที่ 3
การออกแบบ การสร้างและการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

จากหลักการ และทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานของชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ สามารถทำการออกแบบ และสร้างวงจรการทำงานของชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ในแต่ละส่วน โดยมีขั้นตอนเริ่มตั้งแต่การออกแบบ ไปจนถึงการสร้าง และการทำงาน ดังต่อไปนี้

3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

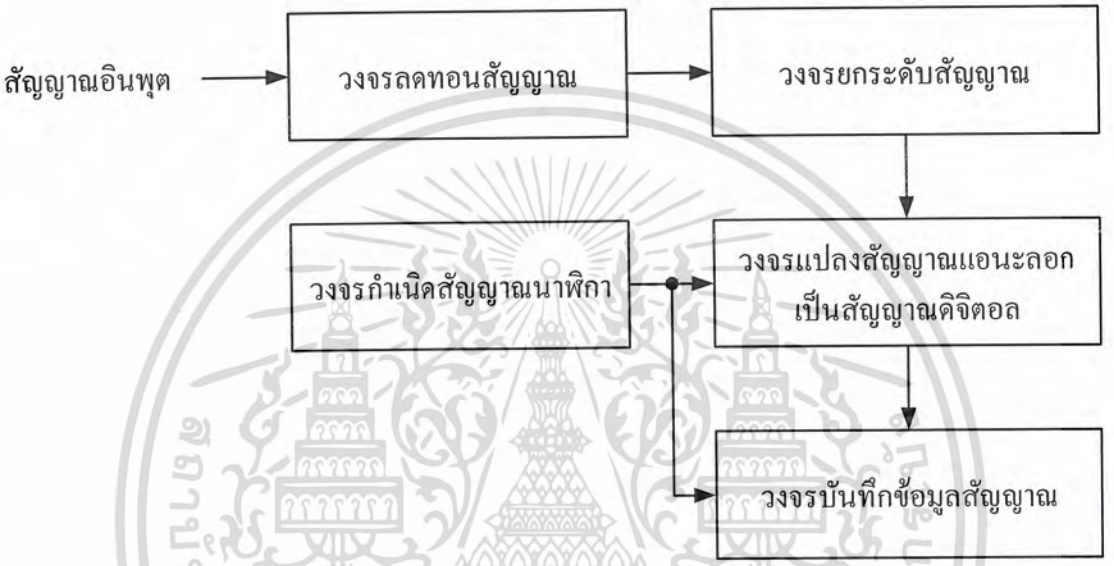
ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยวงจรส่วนต่างๆ คือ วงจรกำเนิดแรงดันบวกลบแบบเลือกค่าได้ วงจรกำเนิดแรงดันแบบปรับค่าได้ 0- 15 โวลต์ วงจรกำเนิดสัญญาณ วงจรนับความถี่ ดิจิตอลออสซิลโลสโคป แผงทดลอง การ์ดอินเตอร์เฟส ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนผังการทำงานในรูปที่ 3.1 จะใช้คอมพิวเตอร์ในการแสดงใบงานประกอบการทดลองและแสดงผลรูปสัญญาณที่วัดได้ โดยจะรับสัญญาณจากวงจรดิจิตอลออสซิลโลสโคปผ่านการ์ดอินเตอร์เฟส และไปประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ ในส่วนของวงจรดิจิตอลออสซิลโลสโคปประกอบด้วยวงจรลดทอนสัญญาณ วงจรยกระดับสัญญาณ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล และวงจรบันทึกข้อมูลสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานในส่วนของดิจิตอลออสซิลโลสโคป

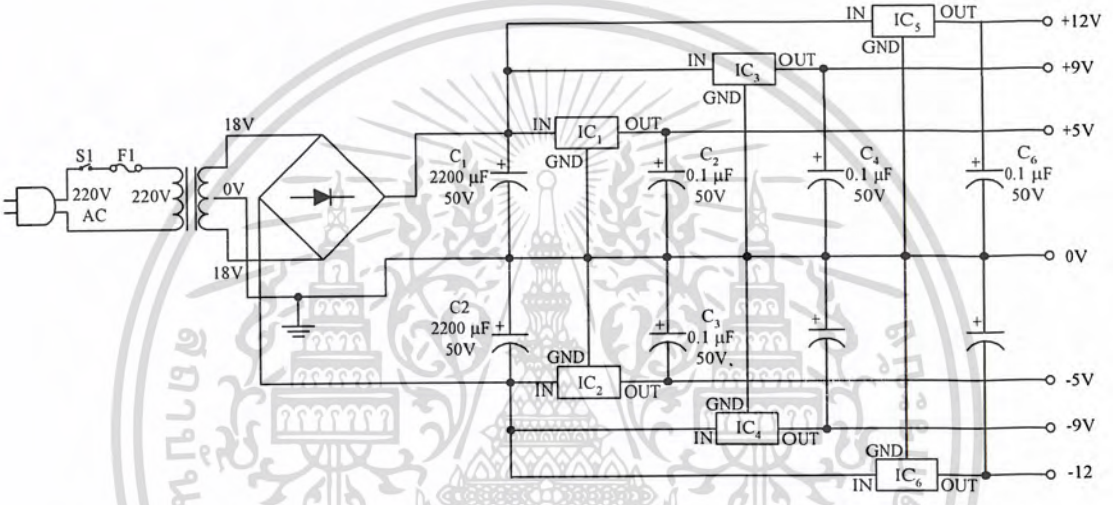
เมื่อต้องการวัดสัญญาณจากแผงทดลอง จะนำสัญญาณดังกล่าวมาป้อนเป็นสัญญาณอินพุตให้กับวงจรลดทอนสัญญาณ เพื่อลดขนาดของสัญญาณลงไม่ให้เกินระดับแรงดันที่สามารถวัดได้ จากนั้นก็จะต่อไปยังวงจรยกระดับสัญญาณเพื่อยกระดับสัญญาณให้อยู่ในช่วงบวก และส่งต่อไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล โดยจะทำการแปลงสัญญาณอินพุตที่รับเข้ามาเป็นค่าข้อมูลขนาด 8 บิต ส่งค่าที่แปลงได้ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำที่อยู่ในวงจรบันทึกข้อมูลสัญญาณ วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลและวงจรบันทึกข้อมูลจะต้องทำงานสัมพันธ์กัน โดยจะใช้สัญญาณนาฬิกาจากวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาเป็นตัวควบคุมการทำงานอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรภาคจ่ายไฟหลัก

3.3.1 การออกแบบและการสร้าง

วงจรภาคจ่ายไฟหลัก ทำหน้าที่กำเนิดแรงดันให้กับวงจรทั้งหมดในชุดทดลอง ได้แก่ วงจรกำเนิดสัญญาณ วงจรนับความถี่ และวงจรดิจิตอลออสซิลโลสโคป โดยแต่ละวงจรจะให้ระดับแรงดันที่แตกต่างกัน แรงดันที่สร้างขึ้นมีขนาด + 5 โวลต์, -5 โวลต์, +9 โวลต์, -9โวลต์, +12 โวลต์, -12 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรภาคจ่ายไฟหลัก

3.3.2 การทำงาน

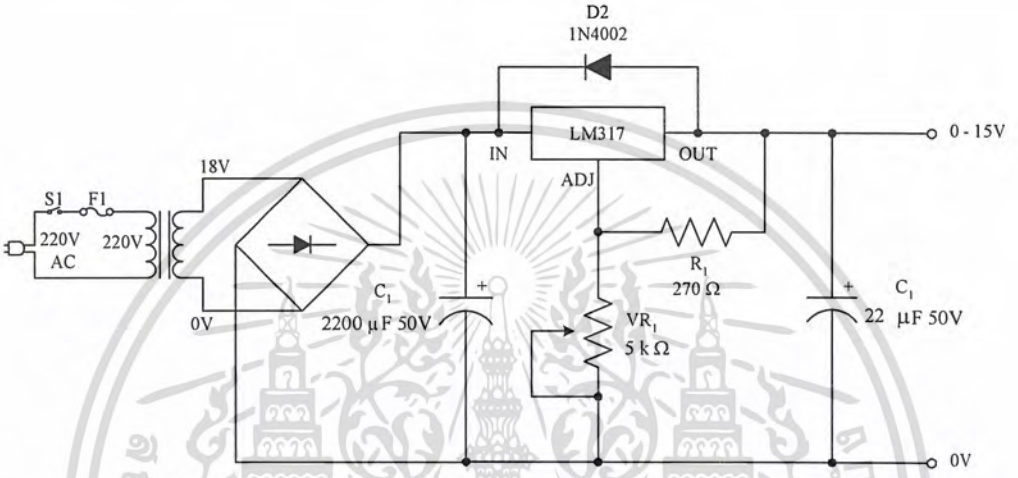
การทำงานของวงจรภาคจ่ายไฟหลัก จากวงจรในรูปที่ 3.3 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์จะต่อผ่านหม้อแปลงเพื่อลดระดับแรงดันให้เหลือ 18 โวลต์ จากนั้นจะนำแรงดันกระแสสลับ 18 โวลต์ไปต่อเข้ากับไดโอดบริดจ์และตัวเก็บประจุ 2,200 ไมโครฟารัด เพื่อแปลงเป็นแรงดันกระแสตรงและกรองแรงดันให้เรียบขึ้น แรงดันในช่วงบวกจะต่อเข้ากับไอซีเร็กกูเลตทางด้านบวกเบอร์ 7805 , 7809 , 7812 และแรงดันช่วงลบจะต่อเข้ากับไอซีเร็กกูเลตทางด้านลบเบอร์ 7905, 7909 และ 7912 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรกำเนิดแรงดันแบบปรับค่าได้ 0 – 15 โวลต์

3.4.1 การออกแบบและการสร้าง

วงจรกำเนิดแรงดันแบบปรับค่าได้ 0 - 15 โวลต์ จะนำไปเป็นแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับแผงการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรกำเนิดแรงดันแบบปรับค่าได้ 0 – 15 โวลต์

3.4.2 การทำงาน

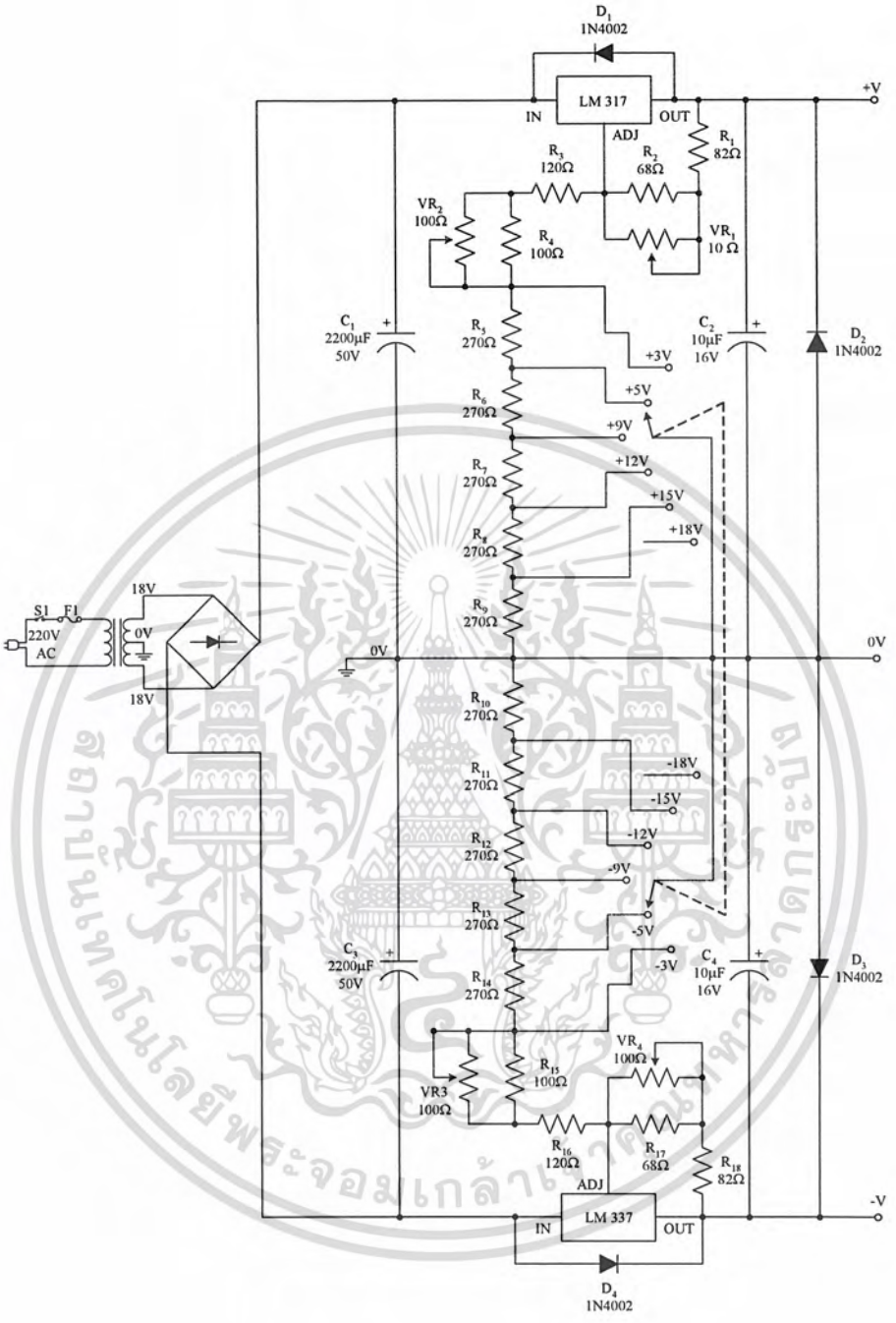
การทำงานของวงจรกำเนิดแรงดันแบบปรับค่าได้ 0 – 15 โวลต์ จากวงจรในรูปที่ 3.4 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์จะต่อผ่านหม้อแปลงเพื่อลดระดับแรงดันให้เหลือ 12 โวลต์ จากนั้นจะนำแรงดันกระแสสลับ 12 โวลต์ไปต่อเข้ากับไดโอดบริดจ์และตัวเก็บประจุ 2,200 ไมโครฟารัด เพื่อแปลงเป็นแรงดันกระแสตรงและกรองแรงดันให้เรียบขึ้น และต่อเข้ากับไอซีเร็กกูเลตเบอร์ LM317 ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟบวกออกมาเป็นแรงดันไฟขนาด 0–15โวลต์ มีตัวความต้านทาน 5 กิโลโอห์มต่ออยู่ที่ขา Adj เพื่อปรับค่าแรงดันตามที่ต้องการ

3.5 วงจรกำเนิดแรงดันบวกลบแบบเลือกค่าได้

3.5.1 การออกแบบและการสร้าง

วงจรกำเนิดแรงดันบวกลบแบบเลือกค่าได้ จะนำไปเป็นแหล่งกำเนิดแรงดันให้กับแผงทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วยแรงดันไฟ +3 โวลต์, -3 โวลต์, +9 โวลต์, -9 โวลต์, +12 โวลต์, -12 โวลต์, +15 โวลต์, -15 โวลต์, +18 โวลต์ และ -18 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรจ่ายแรงดันบวกลบแบบเลือกค่าได้

3.5.2 การทำงาน

การทำงานของวงจรกำเนิดแรงดันบวกลบแบบเลือกค่าได้ จะทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับแผงทดลอง จากวงจรในรูปที่ 3.5 แรงดันกระแสสลับ 220 โวลต์จะถูกลดระดับแรงดันให้เหลือ 18 โวลต์โดยผ่านหม้อแปลง แรงดันกระแสสลับ 18 โวลต์จะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า

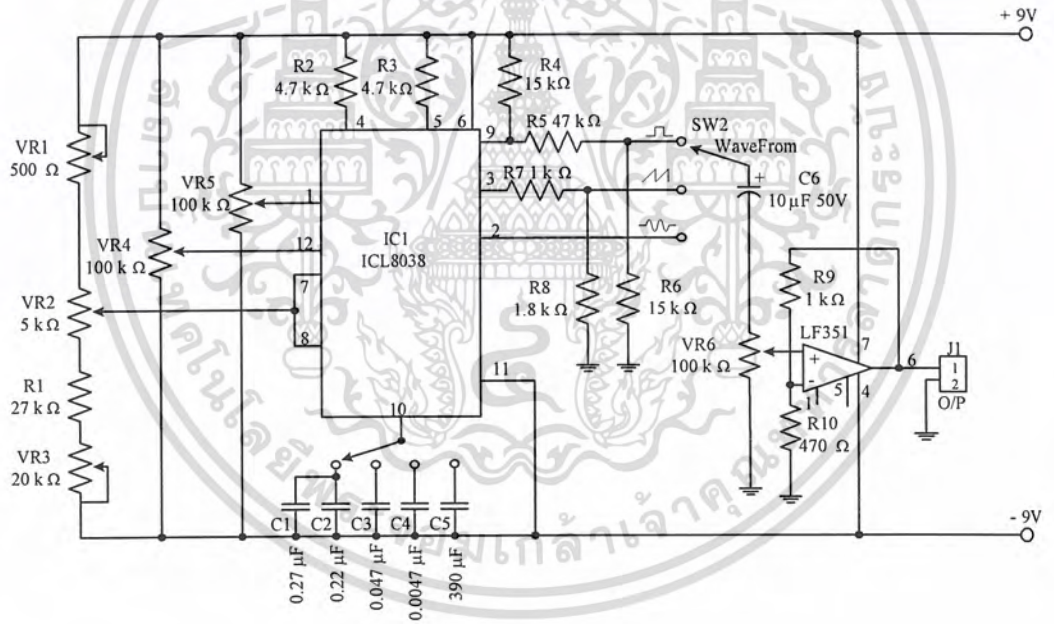
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสตรงแบบเต็มคลื่นโดยการต่อเข้าที่ไดโอดบริดจ์ แรงดันทางด้านบวกจะต่อเข้ากับไอซีเร็กกูเลตเบอร์ LM317 และในช่วงลบต่อกับไอซีเบอร์ LM337 ในส่วนของการเลือกค่าจะต่อตัวความต้านทาน 270 โอห์มจำนวน 5 ตัวอนุกรมกันไว้ที่ขา Adj และใช้ Selecter เป็นตัวเลือกค่าของแรงดันที่ต้องการ

3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณ

3.6.1 การออกแบบและการสร้าง

วงจรกำเนิดสัญญาณจะออกแบบให้สามารถกำเนิดสัญญาณได้ 3 รูปแบบ คือ สัญญาณไซน์ สัญญาณสี่เหลี่ยม และสัญญาณรูปสามเหลี่ยม มีความถี่ 10 - 100 กิโลเฮิรตซ์ มีแอมปลิจูดขนาด 10 Vp-p วงจรแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณ

3.6.2 การทำงาน

วงจรกำเนิดสัญญาณใช้ไอซีเบอร์ ICL8038 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณ โดยมี VR_2 = 5 กิโลโอห์ม ต่อเข้าที่ขา 7 และ 8 ของ ICL8038 ทำหน้าที่ปรับระดับแรงดันของสัญญาณ และ VR_4 = 100 กิโลโอห์ม ต่อเข้าที่ขา 12 ของไอซี ไว้สำหรับปรับลักษณะของรูปคลื่นสัญญาณ และ VR_5 = 100 กิโลโอห์ม ต่อเข้าขา 1 ของไอซี ไว้ทำหน้าที่ปรับลักษณะสัญญาณ โดยที่ขา 10 ของ ICL8038 ทำ

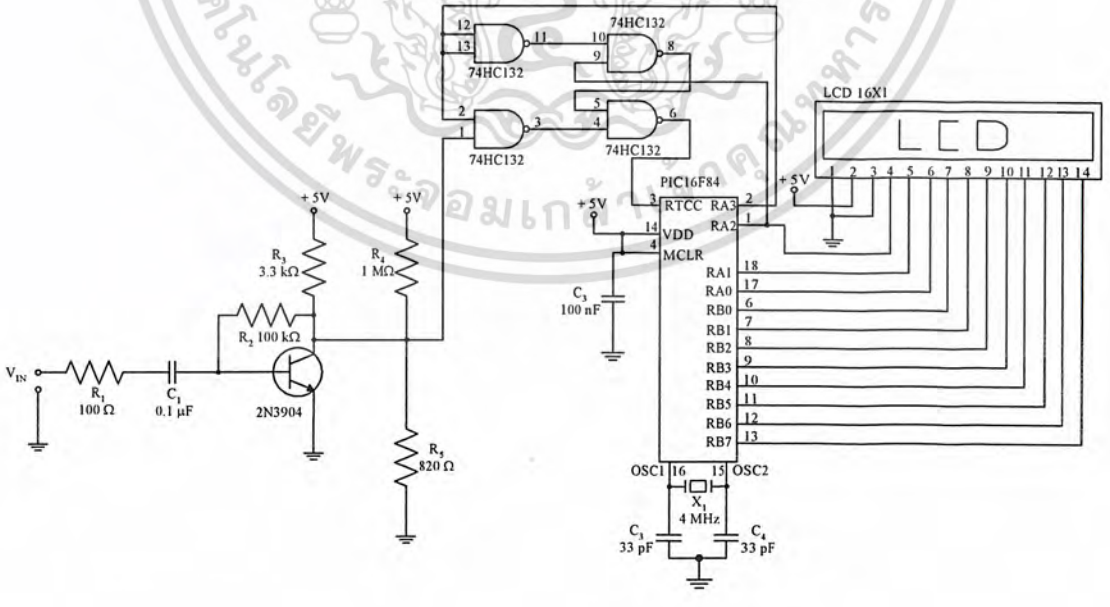
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่เลือกย่านความถี่ ซึ่งมีทั้งหมด 4 ย่านความถี่ คือ ที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ จะมีคาปาซิเตอร์ 2 ตัว ค่า 0.27 ไมโครฟารัด และ 0.22 ไมโครฟารัด ต่ออนุกรมกันอยู่ และที่ย่าน 1 กิโลเฮิรตซ์ จะต่อเข้ากับคาปาซิเตอร์ ค่า 0.047 μF และที่ย่าน 10 กิโลเฮิรตซ์ จะต่อเข้ากับคาปาซิเตอร์ ค่า 0.0047 ไมโครฟารัด และที่ย่าน 100 กิโลเฮิรตซ์ จะต่อเข้ากับคาปาซิเตอร์ ค่า 390 พิกโกฟารัด โดยที่สัญญาณพัลส์จะออกจากขา 9 ของ ICL8038 ผ่านตัวความต้านทาน 47 กิโลโอห์ม และขา 3 ของ ICL8038 จะเป็นสัญญาณรูปสามเหลี่ยม และที่ขา 2 ของ ICL8038 จะเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ โดยมีออปแอมป์เบอร์ LF351 ต่อเข้ากับ VR_6 = 100 กิโลโอห์ม ทำหน้าที่ปรับความถี่ของสัญญาณ และออกจาก VR_6 เข้าคาปาซิเตอร์ ค่า 10 ไมโครฟารัด 50 โวลต์ ผ่านเข้าซีเล็กเตอร์ ไว้สำหรับเลือกรูปสัญญาณ ถ้าต้องการสัญญาณพัลส์ต่อเข้าที่จุด A สัญญาณสามเหลี่ยมต่อเข้าที่จุด B สัญญาณไซน์ต่อเข้าที่จุด C และเอาต์พุตจะออกมาที่ขา 6 ของออปแอมป์เบอร์ LF351

3.7 วงจรนับความถี่

3.7.1 การออกแบบและการสร้าง

วงจรสมบูรณ์ของเครื่องนับความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนประกอบหลักๆ คือ ส่วนของภาคอินพุตที่มีวงจรขยายสัญญาณเป็นส่วนทำงานหลัก และส่วนควบคุมการทำงานและแสดงผล ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรนับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 การทำงาน

วงจรนับความถี่จะใช้ IC_1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 เป็นตัวควบคุมการทำงาน โดยในวงจรขา RA4/TOCLKI ของ IC_1 ทำหน้าที่รับสัญญาณจากภายนอกเพื่อนับความถี่ โดยใช้ปรีสเกลเลอร์ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการหารค่าความถี่อีกครั้งหนึ่ง ทำให้สามารถใช้งาน IC_1 นับความถี่ได้สูงถึง 1 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งทำงานโดยใช้คริสตอล 4 เมกะเฮิรตซ์

สำหรับค่าของเวลาที่ใช้ในการเปิดเกตเพื่ออ่านค่าความถี่แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ 0.1 วินาที และ 1 วินาที โดย IC_1 จะเริ่มนับสัญญาณ เมื่อปล่อยสัญญาณเปิดเกตออกมาทางขา R_{A3} เป็นสัญญาณลอจิก "1" ซึ่งสัญญาณยังใช้ในการอีนาเบิล $IC_{2/1}$ ในขณะเดียวกันจะถูกกลับสถานะด้วย $IC_{2/4}$ เพื่อดิสเอเบิล $IC_{2/3}$ และเอาต์พุตของ $IC_{2/1}$ จะถูกส่งผ่านไปยัง $IC_{2/2}$ และป้อนเข้าสู่ IC_1 ทางขา R_{A4}/TOCKI ซึ่งใน IC_1 กำหนดให้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณเพื่อนำมานับความถี่ และกำหนดค่าปรีสเกลเลอร์ภายในสำหรับหารค่าสัญญาณนาฬิกาเอาไว้ที่ 256 หลังจากนั้น IC_1 จะใช้รีจิสเตอร์ 3 ตัวในการเก็บค่าความถี่ที่อ่านได้ โดยรีจิสเตอร์แต่ละตัวมีขนาด 8 บิตเมื่อใช้เวลาเปิดเกต 0.1 วินาที ค่าที่สามารถอ่านได้สูงสุด คือ 16,777,215 เฮิรตซ์ ซึ่งมากพอสำหรับการเก็บค่าของความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์

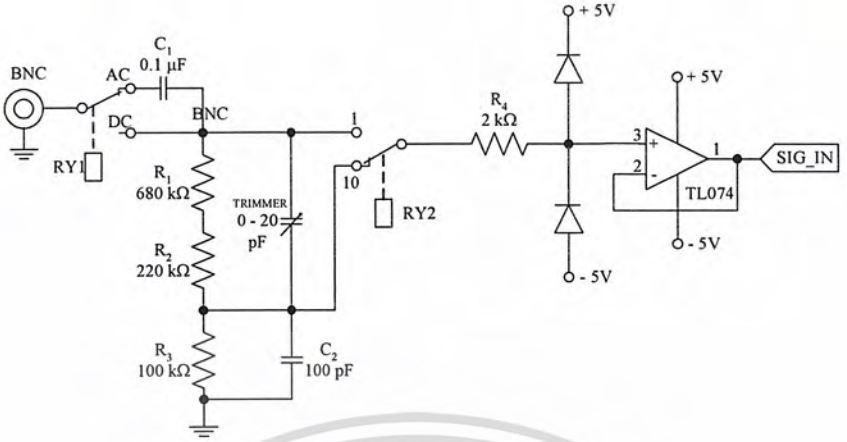
รอบการทำงานของโปรแกรมควบคุมภายใน IC_1 จะเป็นไปอย่างเที่ยงตรงเนื่องจากมีการกำหนดช่วงเวลาเปิดเกตที่แน่นอน (ที่คาบเวลา 1 วินาทีและ 0.1 วินาที) และเมื่อครบเวลาแล้วจะทำการปิดเกตทันที ทำให้สัญญาณจากภายนอกไม่ถูกส่งไปยัง IC_1 อีก หลังจากที่นับเวลาจนครบแล้ว IC_1 จะอ่านค่าที่เก็บอยู่ในปรีสเกลเลอร์ โดยการป้อนพัลส์ออกไปยังขา R_{A2} เพื่อให้เกิดพัลส์ขึ้นที่ขา R_{A4}/TOCKI ทำให้อ่านค่าในปรีสเกลเลอร์เพิ่มขึ้น จนกระทั่งปรีสเกลเลอร์เกิดโอเวอร์โฟลว์ จากนั้นนำค่าในปรีสเกลเลอร์ที่นับได้ไปรวมกับค่าของรีจิสเตอร์ไทเมอร์ที่นับได้ในตอนแรก ก็จะได้ค่าของการนับทั้งหมดออกมา ขั้นตอนต่อไป คือ การนำค่าของการนับในรีจิสเตอร์แปลงแปลงค่าความถี่แล้วนำไปแสดงผลที่ DSP1 ซึ่งเป็นจอแสดงผลแบบโมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด โดย DSP1 สามารถรับข้อมูลเป็นรหัสแอสกี้เพื่อนำไปแสดงผลเป็นตัวอักษรและตัวเลขได้ทันทีก่อนจะทำการเขียนข้อมูลสำหรับโปรแกรมควบคุมที่บรรจุอยู่ใน IC_1

3.8 วงจรลดทอนสัญญาณ

3.8.1 การออกแบบและการสร้าง

สัญญาณอินพุตที่วัดได้อาจมีขนาดเกินแรงดันที่อ้างอิง จึงต้องปรับให้มีขนาดที่เหมาะสมด้วยวงจรลดทอนสัญญาณ และขยายสัญญาณก่อนส่งไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรลดทอนสัญญาณ

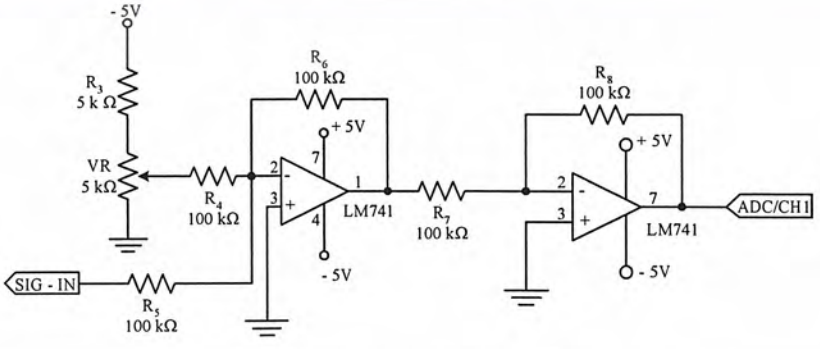
3.8.2 การทำงาน

จากรูปที่ 3.8 เป็นวงจรลดทอนสัญญาณที่เข้ามาทางอินพุต ซึ่งอาจมีขนาดแรงดันไฟฟ้าเกินกำหนดเพื่อให้มีขนาดลดลง สวิตซ์ S_1 ใช้เลือกวัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง หรือสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ สวิตซ์ S_2 ใช้ในการเลือกขนาดการลดทอนสัญญาณ 10 เท่า ด้วยการต่อตัวความต้านทาน R_1, R_2 และ R_3 แบบแบ่งแรงดัน

3.9 วงจรยกระดับแรงดัน

3.9.1 การออกแบบและการสร้าง

เนื่องจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล จะทำการแปลงสัญญาณได้ก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณช่วงบวก จึงต้องมีวงจรยกระดับแรงดันก่อนเข้าวงจรแอนะลอกเป็นดิจิตอล ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรยกระดับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

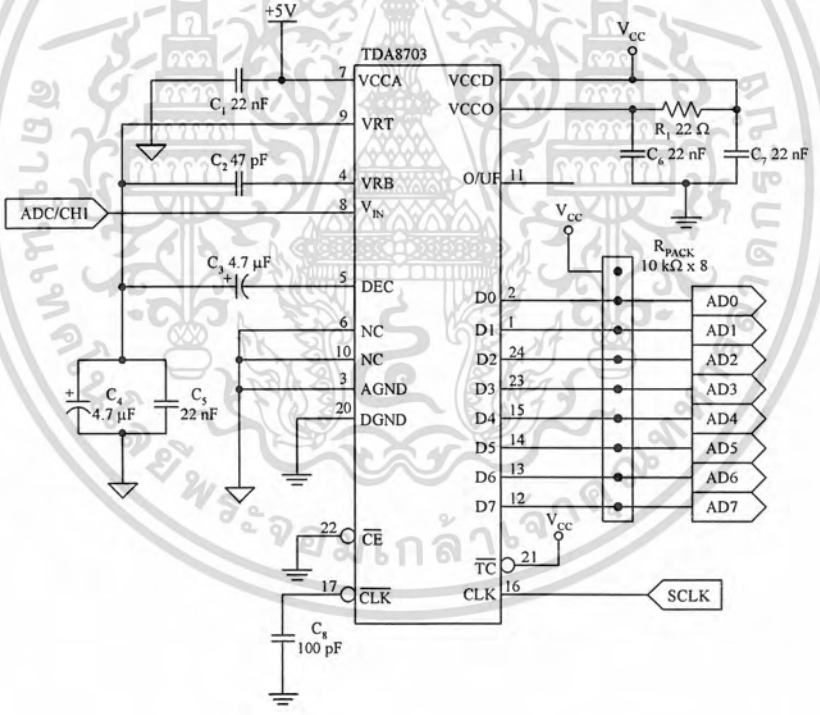
3.9.2 การทำงาน

การทำงานของวงจรยกระดับสัญญาณ จะอาศัยหลักการของวงจรรวมสัญญาณ ซึ่งสัญญาณอินพุตที่เข้ามาจะมี 2 สัญญาณ คือ สัญญาณแรงดันไฟตรง และสัญญาณที่ต้องการยกระดับ โดยผ่านทาง R_3 และ R_4 ตามลำดับ โดสัญญาณที่ยกระดับขึ้นไปสามารถปรับได้โดย V_{R1}

3.10 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

3.10.1 การออกแบบและการสร้าง

เนื่องจากสัญญาณที่ทำการวัดเข้ามาเป็นสัญญาณแอนะลอก แต่การทำงานของวงจรทุกส่วนถูกออกแบบให้ใช้สัญญาณดิจิตอล จึงต้องทำการแปลงสัญญาณที่วัดเข้ามาให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซีแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลที่มีขนาด 8 บิตเป็นตัวแปลง



รูปที่ 3.10 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

3.10.2 การทำงาน

เป็นวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล ใช้ไอซีเบอร์ TDA8703 ในการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต โดยมีอัตราการสุ่มข้อมูลสูงสุดถึง 40 เมกะเฮิรตซ์แต่ใน

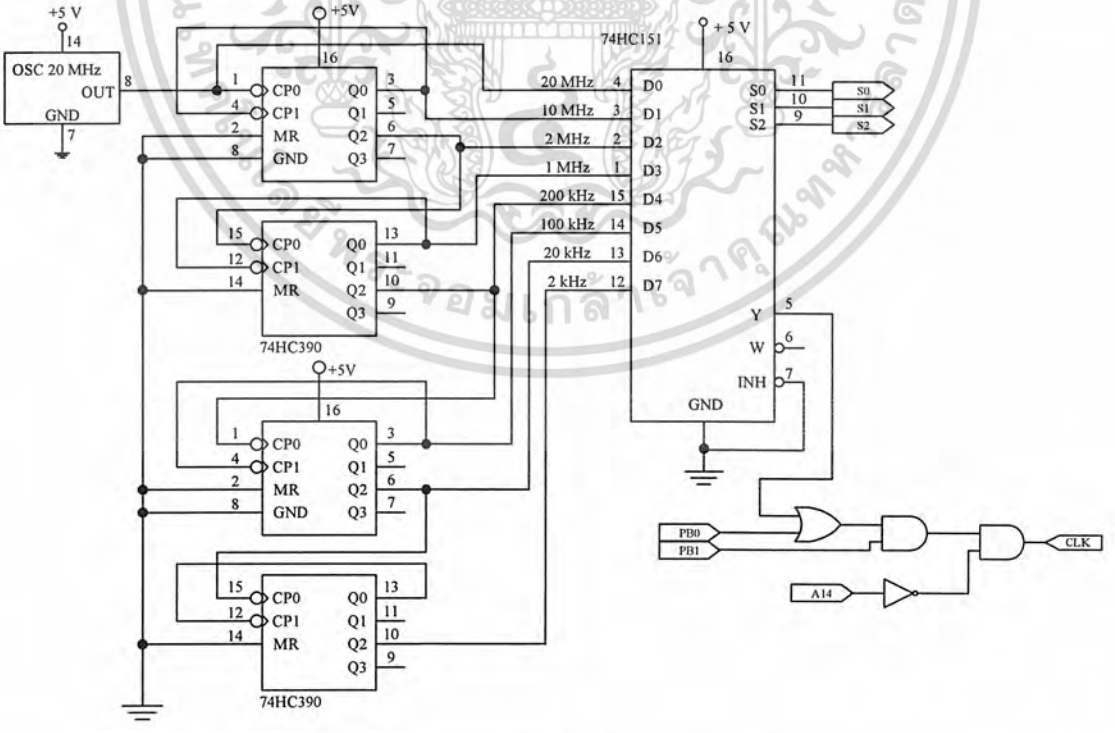
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานจริงใช้เพียง 20 เมกะเฮิรตซ์ โดยมีแรงดันอ้างอิงอยู่ที่ 1.55 ถึง 3.26 โวลต์ จัดวงจรให้วงจรให้ทำงานที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา โดยต่อขา 17 กับคาปาซิเตอร์ C_8 ลงกราวด์ (Ground: GND) C_1, C_2, C_3, C_4 และ C_5 ต่อคร่อมระหว่างขา V_{CC} กับขา GND เพื่อกรองสัญญาณรบกวนที่คร่อมทับอยู่บน V_{CC} ทิ้งไปโดยต่อให้ใกล้กับขาไอซีที่สุด ขา 9 ของ TDA8703 เป็นขาอินพุตรับสัญญาณแอนะลอก ขา 11 เป็นสัญญาณโอเวอร์โฟล (Over Flow) ซึ่งจะเป็นลอจิก "1" ต่อเมื่อสัญญาณสัญญาณอินพุตที่รับเข้ามามีแรงดันต่ำกว่า หรือ สูงกว่าแรงดันอ้างอิง ข้อมูลที่ได้จากการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต (D0-D7) นำไปเก็บที่หน่วยความจำ

3.11 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

3.11.1 การออกแบบและการสร้าง

สัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการสุ่ม (Sampling) ที่จะป้อนให้กับตัวแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลนั้น จะต้องมีความเที่ยงตรงสูง จึงเลือกใช้คริสตอลโมดูลความถี่ 20 เมกะเฮิรตซ์ เป็นตัวสร้างความถี่ในการสุ่ม ให้แก่ไอซีตัวแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล และต้องการให้ออสซิลโลสโคปวัดรูปสัญญาณได้ตั้งแต่ความถี่ต่ำๆ ที่มีค่าเพียงไม่กี่เฮิรตซ์ ไปจนถึงสัญญาณที่มีความถี่สูงขึ้น



รูปที่ 3.11 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11.2 การทำงาน

จากรูปที่ 3.11 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่สามารถเลือกความถี่ได้ 8 ความถี่ ใช้คริสตอลโมดูล 20 เมกะเฮิรตซ์เป็นตัวกำเนิดสัญญาณป้อนให้กับไอซี 74HC390 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวหารความถี่ 2, 5 และ 10 ตามลำดับ โดยเอาต์พุตของไอซี 74HC390 จะนำไปต่อเข้าที่ไอซีมัลติเพล็กซ์เบอร์ 74HC151 เพื่อให้สามารถเลือกความถี่ใช้งานได้ครั้งละ 1 ความถี่ โดยจะมีสัญญาณนาฬิกาที่ความถี่ต่างๆ ให้เลือกใช้ทั้งหมด 8 ความถี่ สามารถเลือกความถี่ได้โดยการป้อนค่าเข้าที่ขา S_0 , S_1 และ S_2 ดังแสดงในตารางที่ 3.1 เอาต์พุตของสัญญาณนาฬิกาจะส่งออกทางขา 5 สัญญาณนาฬิกาที่ได้จะนำมาออร์กับสัญญาณควบคุม PB0 เพื่อเลือกใช้สัญญาณนาฬิกา จากวงจรหรือโปรแกรมที่มาจากขา PB1 และมีการควบคุมอีกครั้งด้วยสัญญาณ A14

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณนาฬิกาที่เลือกออกมา และสัญญาณควบคุม

S2	S1	S0	ความถี่สัญญาณนาฬิกา
0	0	0	20 MHz
0	0	1	10 MHz
0	1	0	2 MHz
0	1	1	1 MHz
1	0	0	200 kHz
1	0	1	100 kHz
1	1	0	20 kHz
1	1	1	2 kHz

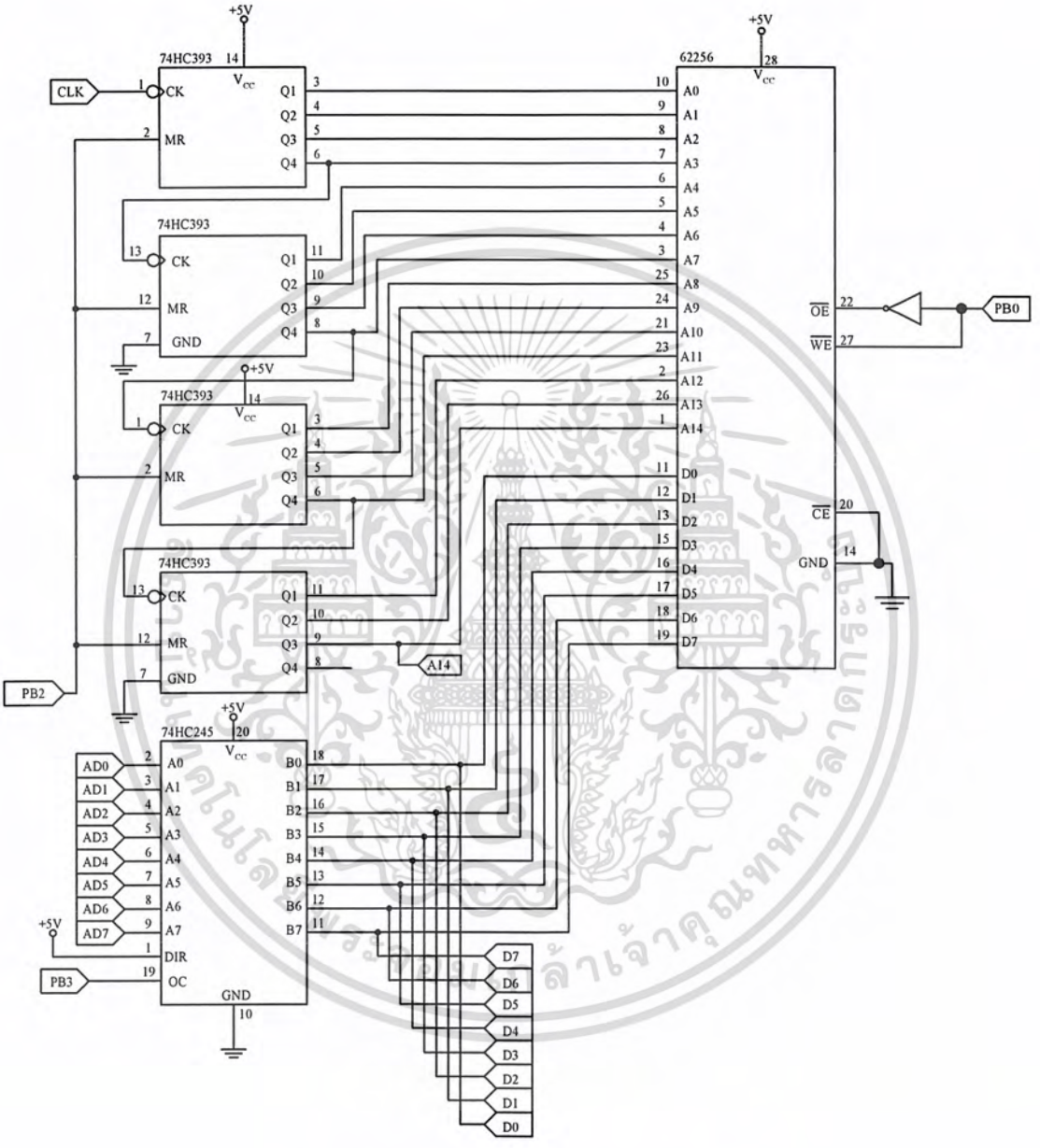
3.12 วงจรบันทึกข้อมูลสัญญาณ

3.12.1 การออกแบบและการสร้าง

วงจรบันทึกข้อมูลสัญญาณ จะใช้เก็บค่าข้อมูลของสัญญาณอินพุตที่ถูกแปลงแล้วจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยจะเก็บค่าข้อมูลขนาด 8 บิตตามจำนวนที่ได้จากการสุ่มสัญญาณที่เลือกจากความถี่ในวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา โดยออกแบบให้สามารถบันทึกข้อมูลได้จำนวน 32 กิโลไบต์ ออกแบบไว้จำนวน 2 ชุด ใช้บันทึกข้อมูล 1 ชุด ต่อ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องสัญญาณ ข้อมูลที่เก็บอยู่จะถูกส่งต่อไปยังการ์ดอินเตอร์เฟสเพื่อนำข้อมูลไปประมวลผลต่อด้วยคอมพิวเตอร์ วงจรบันทึกข้อมูลสัญญาณแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 วงจรบันทึกข้อมูลสัญญาณ

3.12.2 การทำงาน

การทำงานของของวงจรบันทึกข้อมูลสัญญาณ สัญญาณดิจิตอลจะถูกต่อเข้าที่ไอซีบัฟเฟอร์ 74HC245 กำหนดให้ส่งข้อมูลจากด้าน A ไปด้าน B ใช้ขา OC ในการเลือกให้มีการส่ง

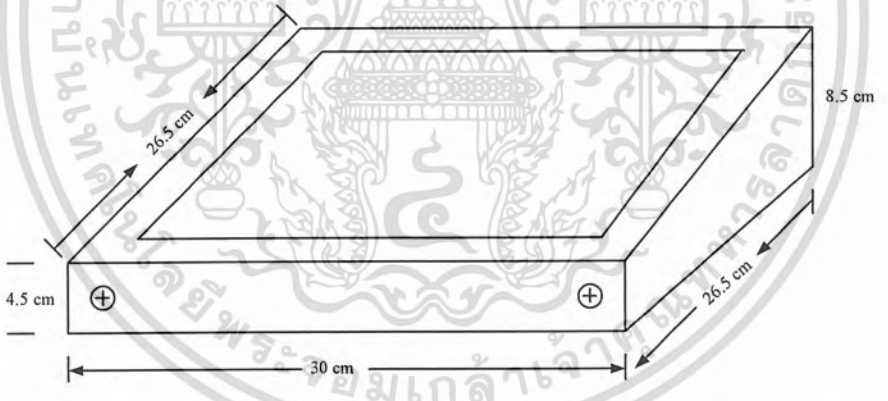
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลหรือไม่ ถ้า OC เป็นลอจิก “0” จะมีการส่งข้อมูลจาก A ไป B ใช้เป็นสถานการณ์เขียนข้อมูลลงหน่วยความจำ แต่ถ้า OC เป็นลอจิก “1” เอาต์พุตอยู่ในสภาวะอิมพีแดนซ์สูง ซึ่งจะใช้เป็นสถานะนี้ในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำออกไปที่การ์ดอินเตอร์เฟส การเลือกตำแหน่งหน่วยความจำจะให้ไอซี 74HC393 ซึ่งเป็นวงจรนับเลขฐานสองขนาด 4 บิต ภายในไอซีมีวงจรนับอยู่ 2 ชุด จึงใช้ไอซี 74HC393 จำนวน 2 ตัว ต่ออันดับกันเพื่อจะได้กำหนดตำแหน่งได้ 16 บิต โดยใช้ 15 บิตในการกำหนดตำแหน่งหน่วยความจำขนาด 32 กิโลไบต์ ส่วนบิตสุดท้ายใช้ในการควบคุมการทำงานให้มีการเขียนหรืออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ

3.13 การออกแบบกล่องและการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ

3.13.1 กล่องชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ออกแบบโดยใช้กล่องที่มีความลาดเอียงเล็กน้อยเพื่อความสะดวกในการทดลอง มีขนาดความกว้าง 26.5 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ความสูงทางด้านหน้า 4.5 เซนติเมตร ความสูงทางด้านหลัง 8.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.13

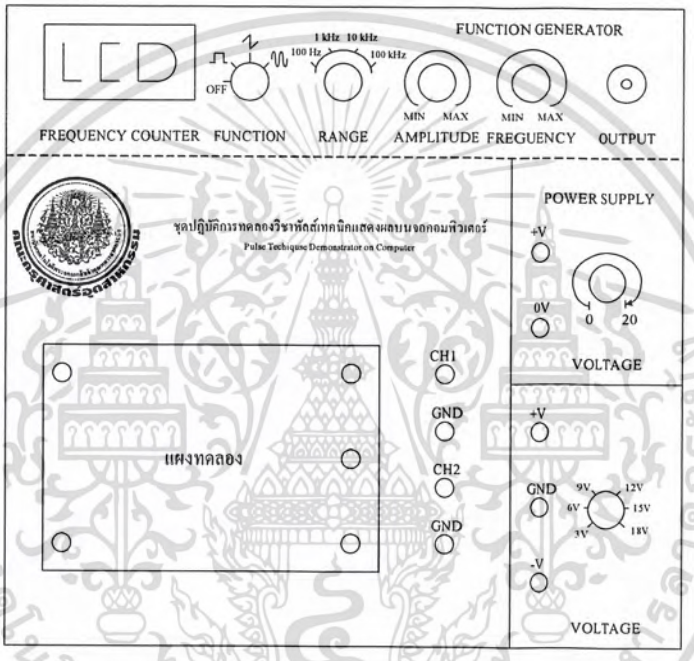


รูปที่ 3.13 ขนาดกล่องของชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

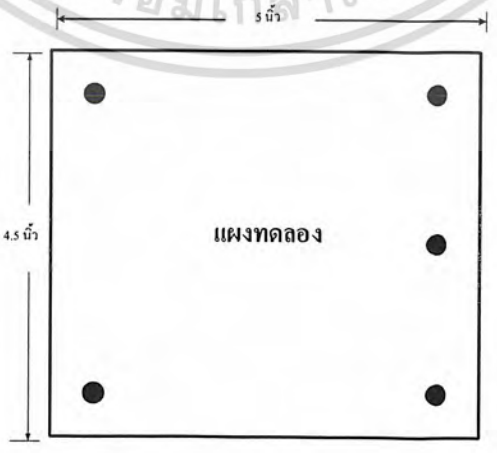
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13.2 หน้าปัทม์ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

การออกแบบในส่วนหน้าปัทม์ออกแบบให้ใช้งานง่าย โดยส่วนด้านบนจะเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณ และวงจรนับความถี่ ทางด้านกลางเป็นส่วนของการวางแผงทดลองออกแบบให้สามารถถอดเปลี่ยนแผงทดลองได้ โดยกำหนดจุดป้อนสัญญาณอินพุตให้ไว้ทางด้านซ้าย ทางด้านขวาจะเป็นส่วนของวงจรกำเนิดแรงดันบวกลบแบบเลือกค่าได้ และวงจรกำเนิดแรงดันแบบปรับค่าได้ 0-15 โวลต์ ลักษณะของหน้าปัทม์แสดงดังรูปที่ 3.14 และขนาดของแผงทดลองแสดงดังรูปที่ 3.15



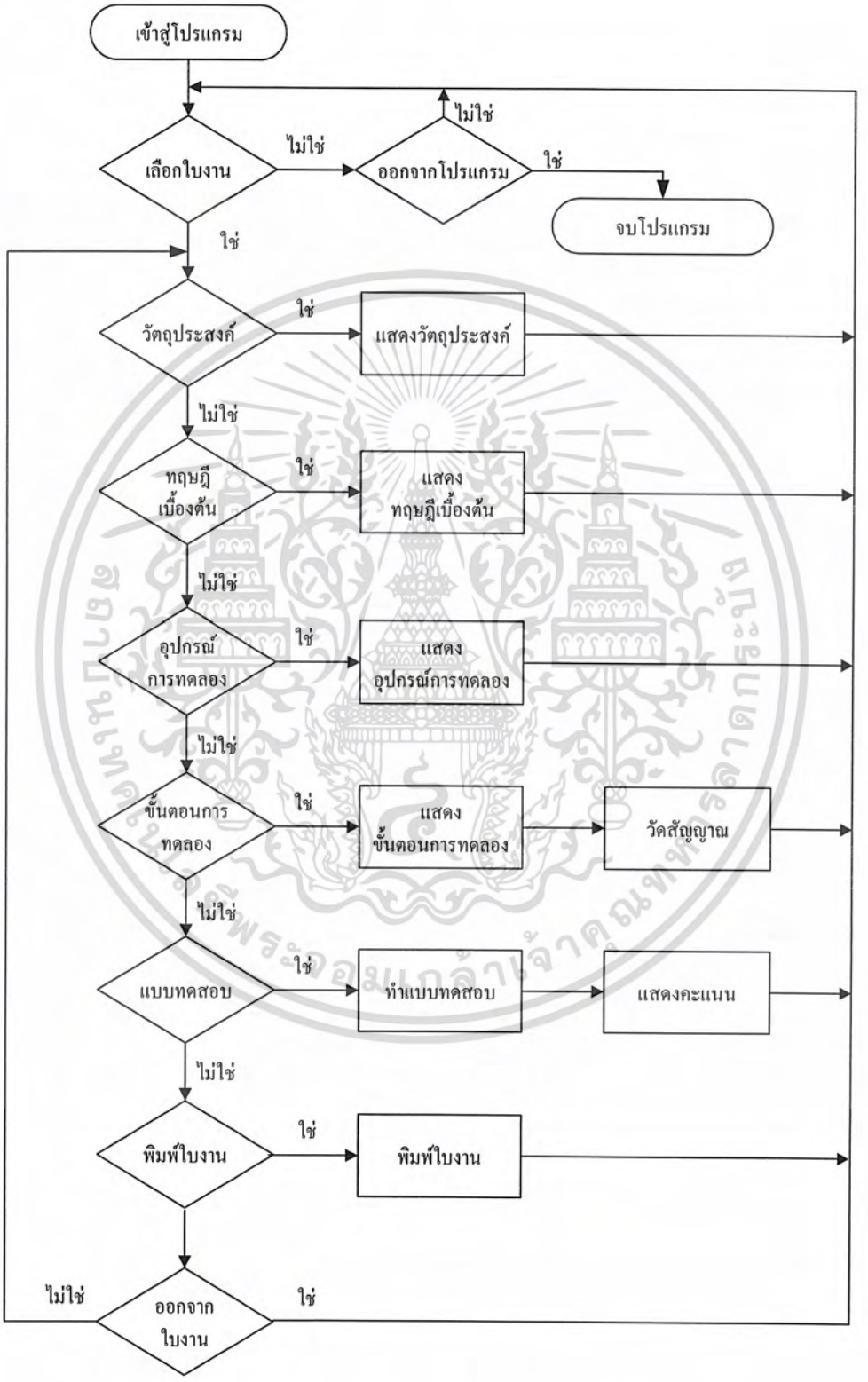
รูปที่ 3.14 หน้าปัทม์ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.15 ขนาดของแผงทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.14 การออกแบบโปรแกรม



รูปที่ 3.16 ผังการทำงานของโปรแกรมประกอบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.16 แสดงผังงานของโปรแกรมชุดปฏิบัติการทดลองฟิสิกส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ เริ่มจากการเข้าสู่โปรแกรม จะเข้าสู่หน้าจอให้เลือกใบงานการทดลองซึ่งจะมีทั้งหมด 11 ใบงาน ถ้าไม่เลือกก็สามารถออกจากโปรแกรมได้ทันที ในกรณีที่เลือกใบงานใดใบงานหนึ่งจะเข้าสู่หน้าจอใบงานซึ่งจะแสดงหัวข้อของใบงานขึ้นมาและมีปุ่มให้เลือก 6 ปุ่ม คือ วัตถุประสงค์ ทฤษฎีเบื้องต้น อุปกรณ์การทดลอง ขั้นตอนการทดลอง แบบทดสอบ พิมพ์ใบงาน และปุ่มกลับเมนูหลักอีก 1 ปุ่ม ในกรณีที่เลือกวัตถุประสงค์จะแสดงวัตถุประสงค์การทดลองขึ้นมา ในกรณีถ้าเลือกทฤษฎีเบื้องต้นจะแสดงทฤษฎีขึ้นมาที่หน้าจอ เมื่อมีหลายหน้าจะแสดงปุ่มต่อไปให้เลือก ในกรณีที่มีหน้าเดียวจะไม่ขึ้นปุ่มต่อไปให้ ในกรณีถ้าเลือกอุปกรณ์การทดลองจะแสดงอุปกรณ์ที่ประกอบการทดลองในใบงานนั้นๆ ขึ้นมาให้ทราบ ในกรณีเมื่อเลือกขั้นตอนการทดลองก็จะแสดงลำดับการทดลองตั้งแต่ขั้นที่ 1 เรียงลำดับไปถึงขั้นตอนสุดท้ายมีวงจรแสดงให้ต่อตามและมีการแสดงผลสัญญาณที่วัดได้ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ในกรณีที่เลือกแบบทดสอบจะแสดงคำถามแบบปรนัย 4 ตัวเลือก ขึ้นมาให้ทำจำนวน 5 ข้อ เมื่อทำการทดลองเสร็จต้องการออกจากใบงานให้เลือกที่ปุ่มกลับเมนูหลัก และเลือกออกจากโปรแกรมอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ที่จัดทำขึ้น ต้องใช้อุปกรณ์ประกอบการทดลองต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์, การ์ดการทดลอง, มัลติมิเตอร์ และอุปกรณ์ต่อร่วมอื่นๆ ที่จำเป็น โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนของชุดปฏิบัติการทดลอง, ส่วนของโปรแกรมที่ใช้การทดลอง และส่วนของการอินเตอร์เฟส

4.1การทดลองวงจรภาคจ่ายไฟหลัก

4.1.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบวงจรตามรูปที่ 3.3

2) ป้อนแรงดันไฟ 220 โวลต์ เข้าหม้อแปลง

3) ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันไฟที่ขา Output ของ IC_1, IC_2, IC_3, IC_4, IC_5, และ IC_6 เทียบกับกราวด์

4.1.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลของแรงดันที่วัดได้

ชนิดของแรงดัน	แรงดันที่วัด (โวลต์)	ผลแรงดันที่วัดได้ (โวลต์)
จ่ายไฟหลัก	+5	5.03
	-5	-5.01
	+9	+8.91
	-9	-9.1
	+12	12.15
	-12	-12.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองวงจรกำเนิดแรงดันบวกลบแบบเลือกค่าได้

4.2.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบวงจรตามรูปที่ 3.5

2) ป้อนแรงดันไฟ 220 โวลต์ เข้าที่หม้อแปลง

3) ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟด้านบวกที่ขาเอาต์พุตของ IC LM317 เทียบกราวด์

4) ปรับซีเล็กเตอร์แล้ววัดแรงดันตามตารางที่ 4.2

5) ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟด้านลบที่ขาเอาต์พุตของ IC LM 337 เทียบกราวด์

6) ปรับซีเล็กเตอร์แล้ววัดค่าแรงดันไฟตามตารางที่ 4.2

4.2.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ผลของแรงดันที่วัดได้

ชนิดของแรงดัน	แรงดัน (โวลต์)	แรงดันที่วัดได้ (โวลต์)	แรงดัน (โวลต์)	แรงดันที่วัดได้ (โวลต์)
บวกลบแบบเลือกค่าได้	3	3.05	-3	-3.06
	6	6.03	-6	-6.05
	9	9.06	-9	-9.06
	12	12.08	-12	-12.08
	15	15.10	-15	-15.10
	18	18.09	-18	-18.09

4.3 การทดลองวงจรกำเนิดแรงดันแบบปรับค่าได้ 0 -15 โวลต์

4.3.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบวงจรตามรูปที่ 3.4

2) ป้อนแรงดันไฟ 220 โวลต์ เข้าที่หม้อแปลง

3) ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันไฟที่ขาเอาต์พุตของ IC LM317 เทียบกับกราวด์

4) ปรับ VR1 5 kΩ แล้วทำการวัดค่าแรงดันไฟตามตารางที่ 4.3

4.3.2 ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลของแรงดันที่วัดได้

ชนิดของแรงดัน	แรงดันที่วัด (โวลต์)	ผลแรงดันที่วัดได้ (โวลต์)
แรงดันปรับค่าได้ 0-15 โวลต์	0	1.25
	15	14.6

4.4 การทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณ

4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบวงจรตามรูปที่ 3.6

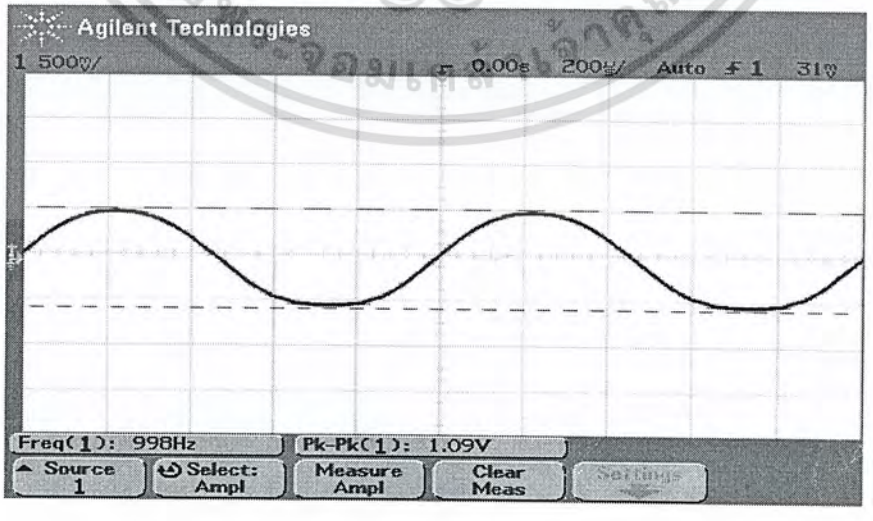
2) ทำการป้อนแรงดันไฟเข้าวงจรโดยแรงดันที่ป้อนมีค่าเท่ากับ +9 โวลต์ เข้าที่ขา 7 ของไอซี LF351 และ แรงดันไฟลบ – 9 โวลต์ เข้าที่ขา 4 ของไอซี LF351

3) ทำการปรับซีเล็กเตอร์ SW_2 มาที่ขา 2 ของ ไอซี L8038 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเลือกย่านความถี่มาที่ C_2 แล้วปรับ VR_2 5 kΩ ให้ได้ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ และใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณที่ขาเอาต์พุต 6 ของไอซี LF351 เทียบกราวด์

4) ทำการปรับซีเล็กเตอร์ SW_2 มาที่ขา 9 ของไอซี L8038 โดยที่ไม่ต้องปรับค่าของความถี่และแรงดัน โดยใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ขาเอาต์พุตขา 6 ของไอซี LF351 เทียบกราวด์และบันทึกค่า

4.4.2 ผลการทดลอง

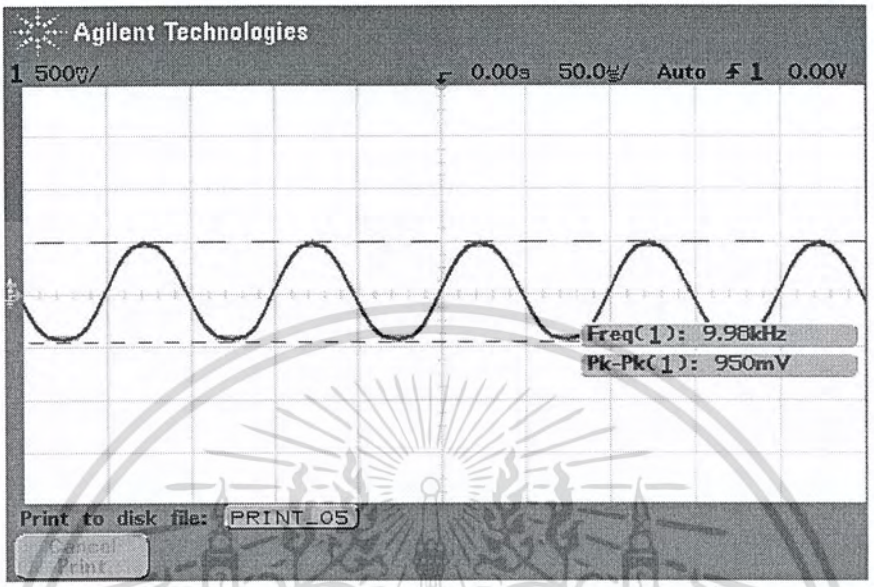
สัญญาณไซน์ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p



รูปที่ 4.1 สัญญาณไซน์ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p

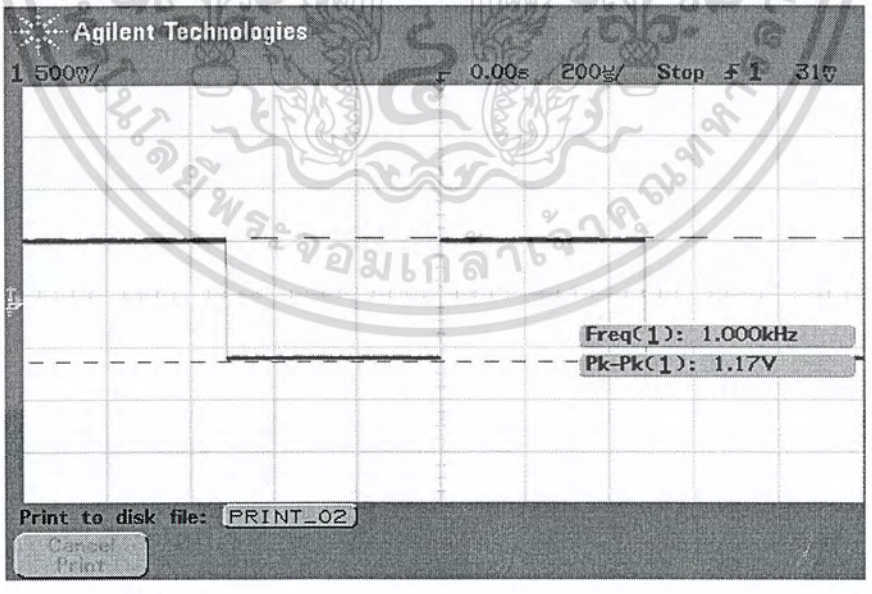
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณไซน์ที่ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p



รูปที่ 4.2 สัญญาณไซน์ที่ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p

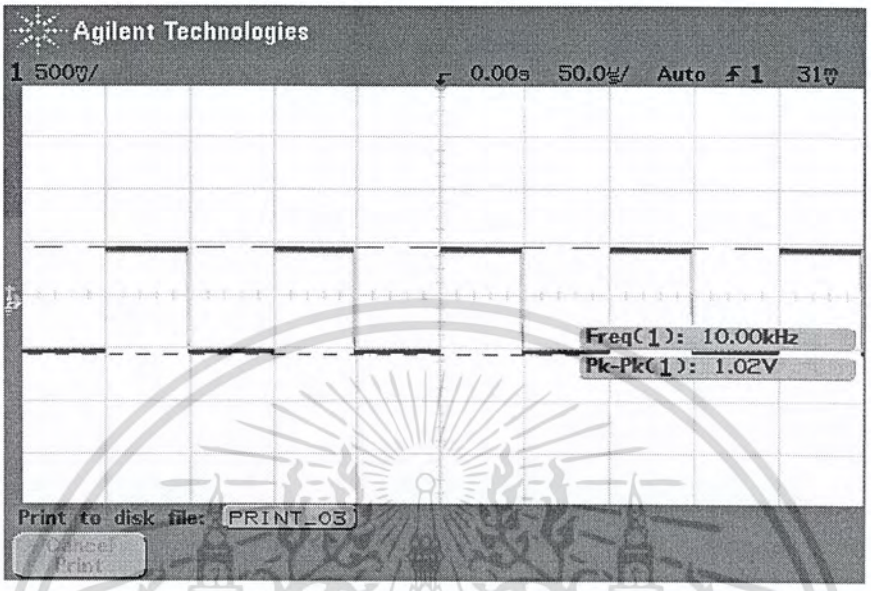
สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p



รูปที่ 4.3 สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p

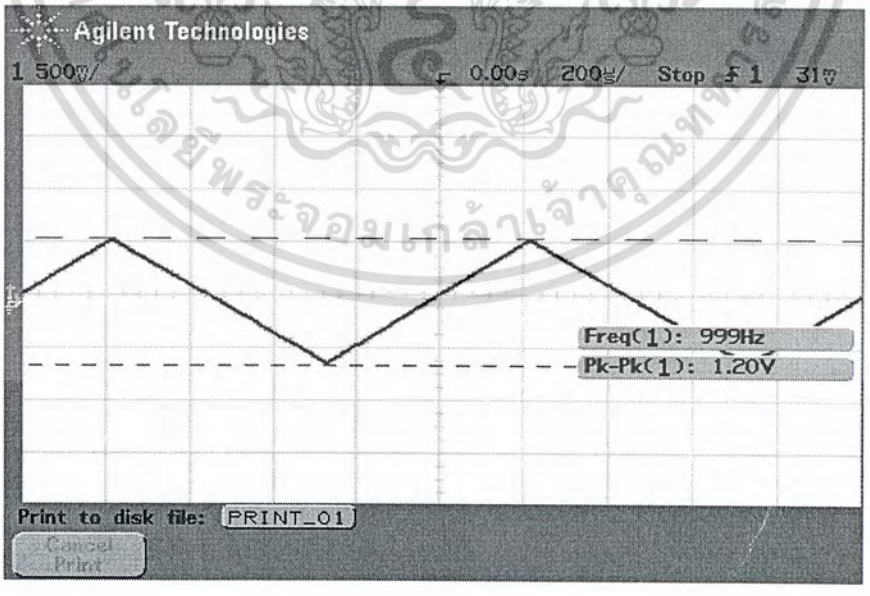
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p



รูปที่ 4.4 สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p

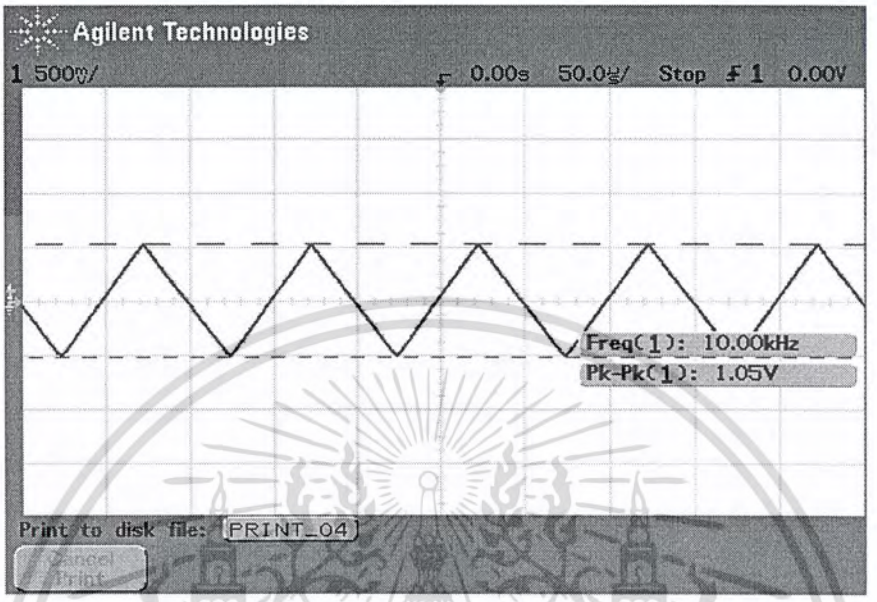
สัญญาณสามเหลี่ยมที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p



รูปที่ 4.5 สัญญาณสามเหลี่ยมที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณสามเหลี่ยมที่ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p



รูปที่ 4.6 สัญญาณสามเหลี่ยมที่ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p

4.5 การทดลองวงจรนับความถี่

4.5.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบวงจรตามรูปที่ 3.7

2) ป้อนแรงดันไฟ 5 โวลต์ให้กับวงจร

3) ทำการป้อนความถี่จากวงจรกำเนิดความถี่เข้าที่ V_{IN} และกราวด์ของวงจรตามตารางที่ 4.4

4) ทำการอ่านค่าบนหน้าจอแอลซีดี แล้วทำการบันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่ 4.4

4.5.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวงจรนับความถี่

สัญญาณที่ป้อน	ความถี่ที่ป้อน	ความถี่ที่อ่านได้
ไซน์	1 กิโลเฮิรตซ์	1.036 กิโลเฮิรตซ์
	5 กิโลเฮิรตซ์	5.062 กิโลเฮิรตซ์
	10 กิโลเฮิรตซ์	10.011 กิโลเฮิรตซ์
	50 กิโลเฮิรตซ์	50.254 กิโลเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ผลการทดลองวงจรนับความถี่

สี่เหลี่ยม	1 กิโลเฮิรตซ์	1.036 กิโลเฮิรตซ์
	5 กิโลเฮิรตซ์	5.020 กิโลเฮิรตซ์
	10 กิโลเฮิรตซ์	10.016 กิโลเฮิรตซ์
	50 กิโลเฮิรตซ์	50.124 กิโลเฮิรตซ์
สามเหลี่ยม	1 กิโลเฮิรตซ์	1.025 กิโลเฮิรตซ์
	5 กิโลเฮิรตซ์	5.060 กิโลเฮิรตซ์
	10 กิโลเฮิรตซ์	10.014 กิโลเฮิรตซ์
	50 กิโลเฮิรตซ์	50.258 กิโลเฮิรตซ์

4.6 การทดลองวงจรดิจิตอลออสซิลโลสโคป

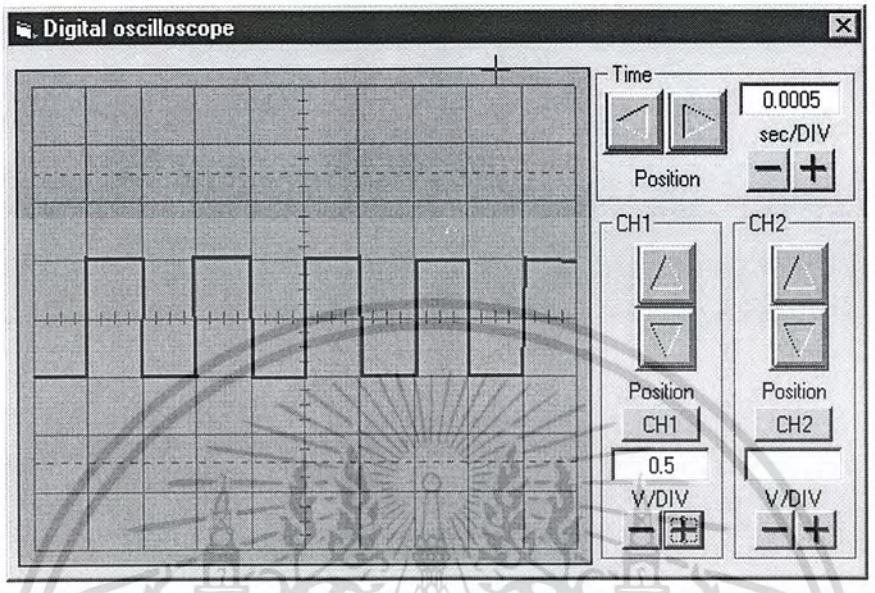
4.6.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบวงจรตามรูปที่ 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 และ 3.12 เข้าด้วยกัน
2) ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมขนาด 1 Vp-p ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ขา Sig-in
3) ตั้งแรงดันของออสซิลโลสโคปไว้ที่ 0.5 V/Div ตั้งค่าเวลาเท่ากับ 0.5 มิลลิวินาที
4) ทำการวัดสัญญาณเทียบกับออสซิลโลสโคป Agilent รุ่น 54621A
5) ป้อนสัญญาณไซน์ขนาด 1 Vp-p ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ขา Sig-in
6) ตั้งแรงดันของออสซิลโลสโคปไว้ที่ 0.5 V/Div ตั้งค่าเวลาเท่ากับ 0.5 มิลลิวินาที
7) ทำการวัดสัญญาณเทียบกับออสซิลโลสโคป Agilent รุ่น 54621A
8) ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมขนาด 1 Vp-p ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ขา Sig-in
9) ตั้งแรงดันของออสซิลโลสโคปไว้ที่ 0.5 V/Div ตั้งค่าเวลาเท่ากับ 0.5 มิลลิวินาที
10) ทำการวัดสัญญาณเทียบกับออสซิลโลสโคป Agilent รุ่น 54621A

4.6.2 ผลการทดลอง

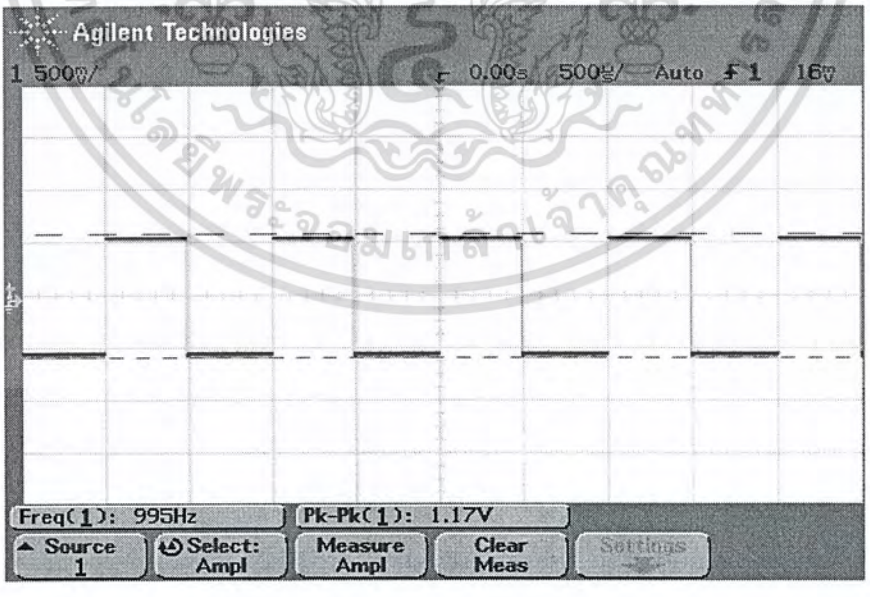
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณสี่เหลี่ยมขนาด 1 Vp-p ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์



รูปที่ 4.7 สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้ในการทดลองโปรแกรม

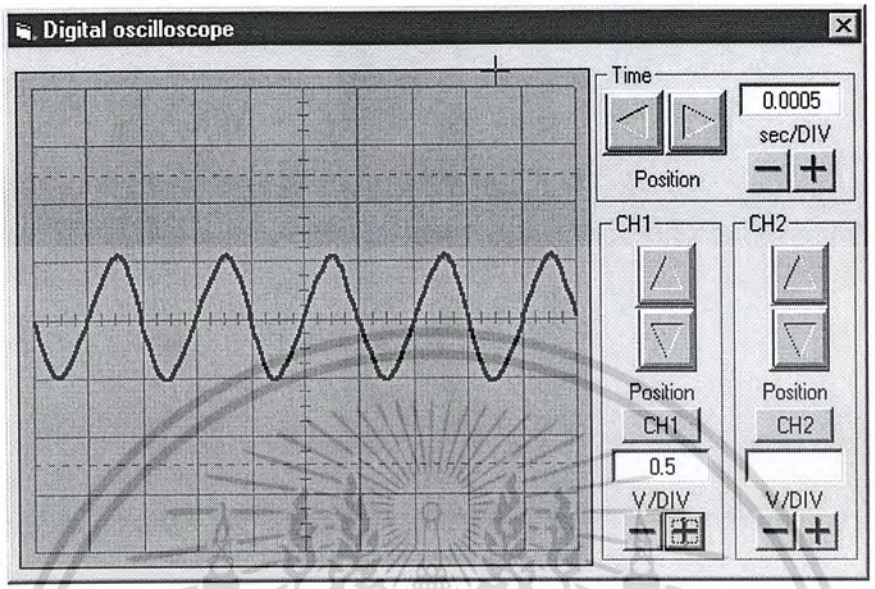
การวัดสัญญาณเทียบกับออสซิลโลสโคปภายนอก



รูปที่ 4.8 สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากการวัดเทียบออสซิลโลสโคป

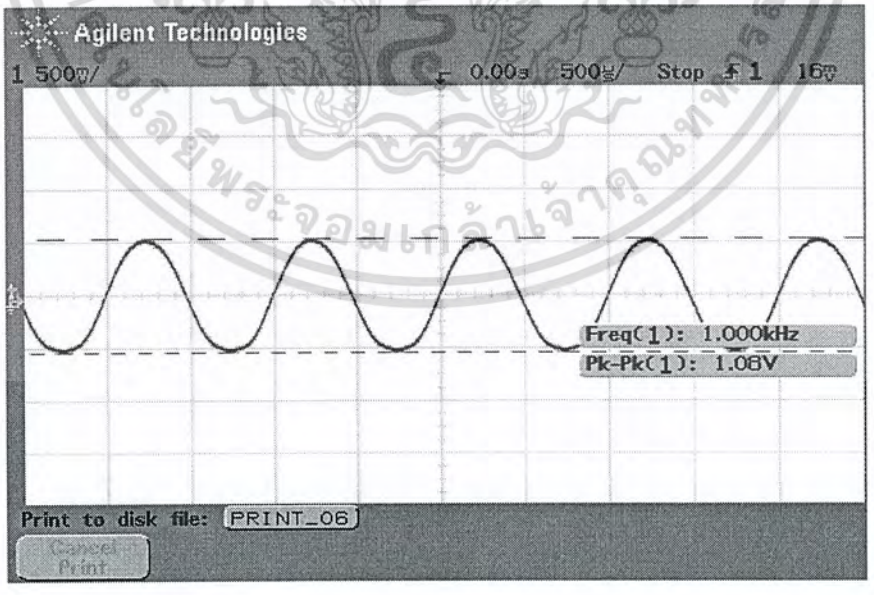
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณไซน์ขนาด 1 Vp-p ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์



รูปที่ 4.9 สัญญาณไซน์ที่ได้จากการทดลองโปรแกรม

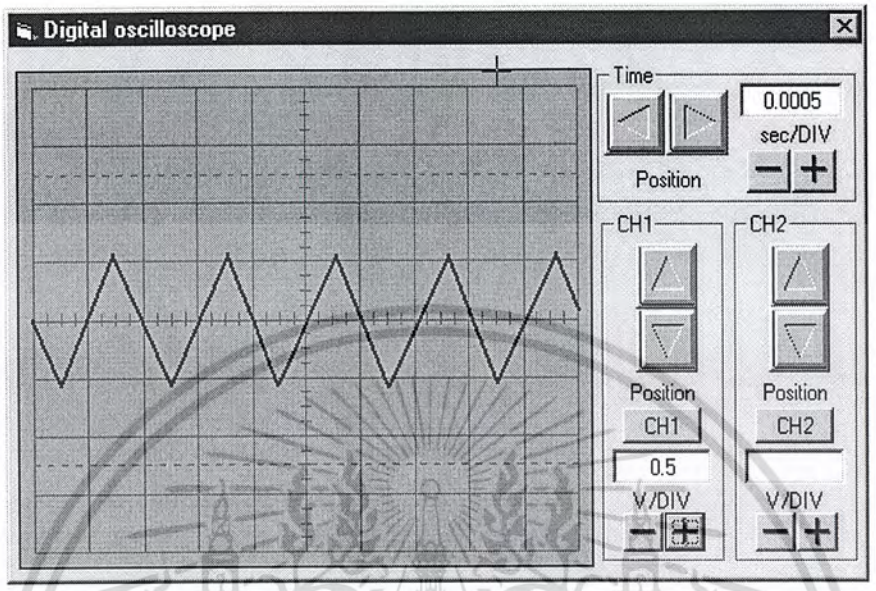
การวัดสัญญาณเทียบกับออสซิลโลสโคปภายนอก



รูปที่ 4.10 สัญญาณไซน์ที่ได้จากการวัดเทียบออสซิลโลสโคป

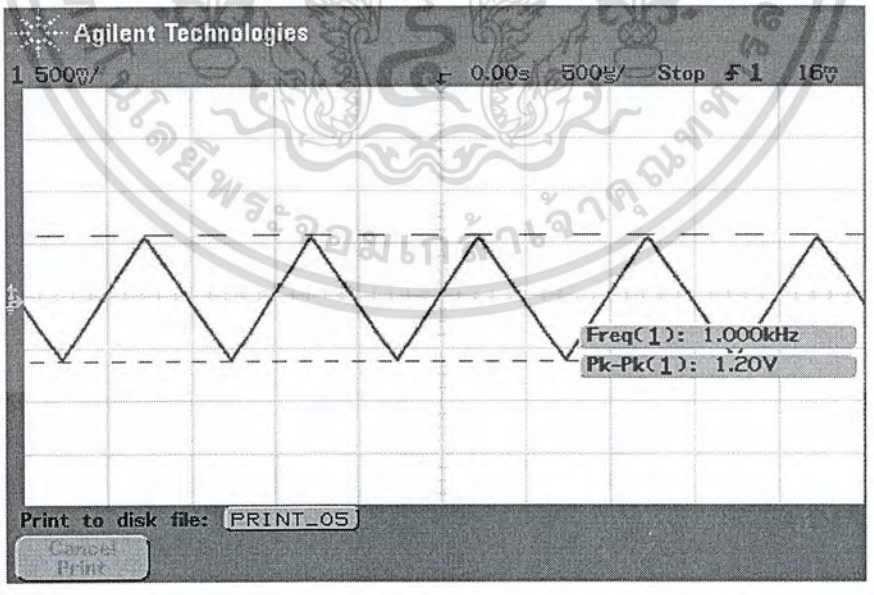
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณสามเหลี่ยมความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p



รูปที่ 4.11 สัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากการทดลองโปรแกรม

การวัดสัญญาณเทียบกับออสซิลโลสโคปภายนอก



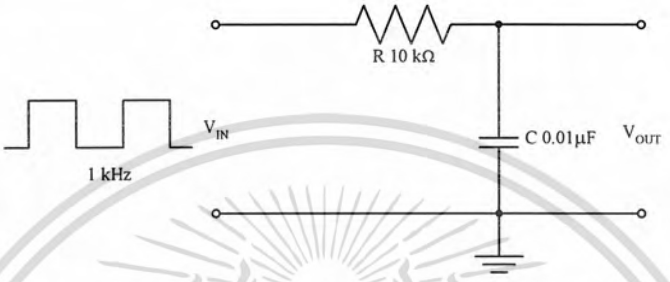
รูปที่ 4.12 สัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากการวัดเทียบออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดลองและผลการทดลองของแผงวงจรชุดปฏิบัติงาน

4.7.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อวงจร RC Time Constant ใช้ตัวความต้านทาน 10 กิโลโอห์มและ ตัวเก็บประจุ 0.01 ไมโครฟารัด ดังรูปที่ 4.13



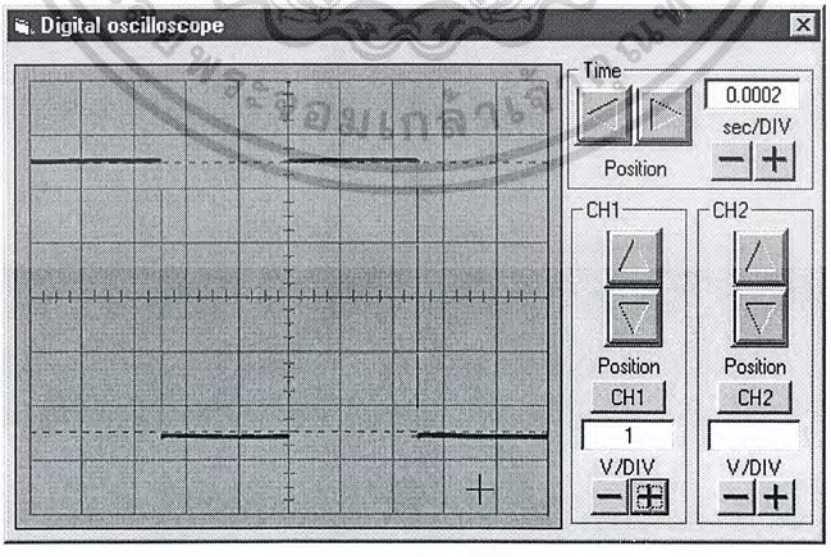
รูปที่ 4.13 วงจร RC Time Constant

2) วัดรูปคลื่นสัญญาณที่จุด V_{IN} และ V_{OUT} บันทึกรูปสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 4.14 และ 4.15

3) วัดสัญญาณจากชุดปฏิบัติการทดลองกับออสซิลโลสโคปภายนอก ดังรูปที่ 4.16 และ รูปที่ 4.17

4.7.2 ผลการทดลอง

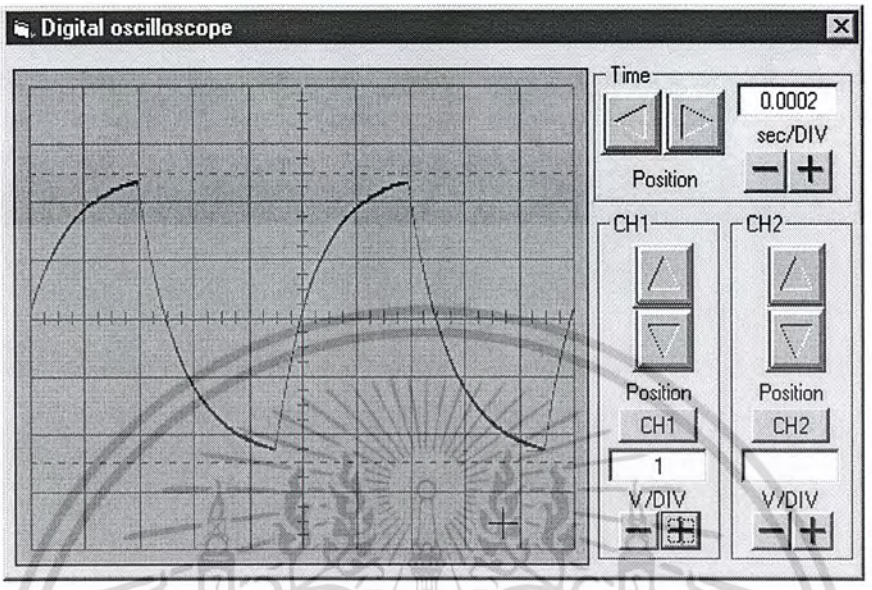
รูปคลื่นสัญญาณที่จุด V_{IN}



รูปที่ 4.14 สัญญาณ V_{IN} ที่วัดเทียบจากโปรแกรม

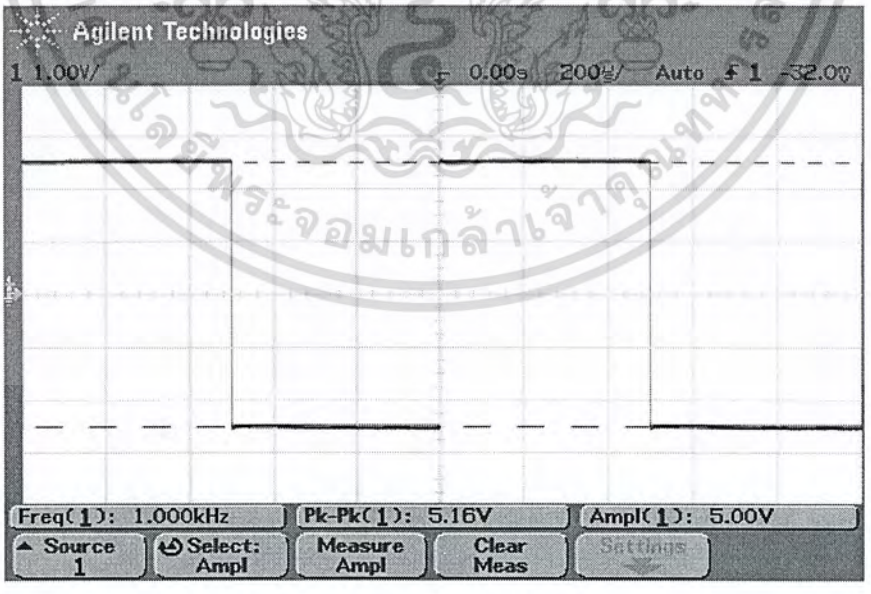
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นสัญญาณที่จุด V_{OUT}



รูปที่ 4.15 สัญญาณ V_{OUT} ที่วัดเทียบจากโปรแกรม

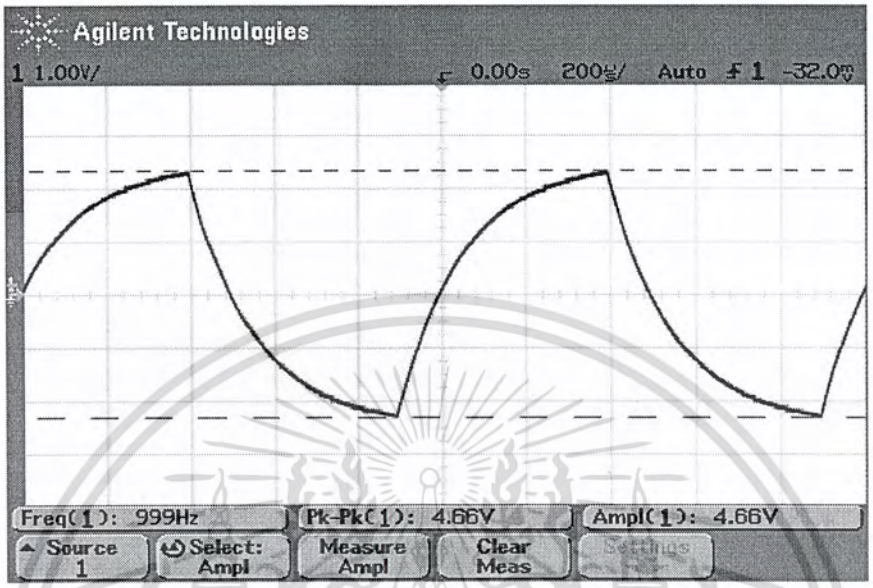
วัดสัญญาณจากชุดปฏิบัติการทดลองกับออสซิลโลสโคปภายนอก



รูปที่ 4.16 สัญญาณ V_{IN} ที่วัดได้ เมื่อเทียบกับออสซิลโลสโคปภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดสัญญาณจากชุดปฏิบัติการทดลองกับออสซิลโลสโคปภายนอก



รูปที่ 4.17 สัญญาณ V_{OUT} ที่วัดได้ เมื่อเทียบกับออสซิลโลสโคป

4.8 การทดลองหาความคลาดเคลื่อนของการวัดสัญญาณของดิจิตอลออสซิลโลสโคป

4.8.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1) ป้อนสัญญาณไซน์, สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม ความถี่ 500 เฮิรตซ์ และ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 1 Vp-p และ 5 Vp-p โดยทำการวัดสัญญาณต่างๆ จำนวน 10 ครั้ง โดยใช้ดิจิตอลออสซิลโลสโคปที่สร้างขึ้น วัดเทียบกับดิจิตอลออสซิลโลสโคป Agilent รุ่น 54621A ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบโดยใช้ดิจิตอลออสซิลโลสโคปAGILENT รุ่น 54621A วัดเทียบกับดิจิตอลออสซิลโลสโคปที่จัดทำขึ้น

รูปคลื่นสัญญาณ	ความถี่	ขนาด	ดิจิตอลออสซิลโลสโคป รุ่น Agilent 54621A		ดิจิตอลออสซิลโลสโคปที่ จัดทำขึ้น	
			ความถี่	ขนาด	ความถี่	ขนาด
รูปคลื่นไซน์	500Hz	1 Vp-p	500 Hz	1 Vp-p	500 Hz	1.05 Vp-p
	1 kHz	5 Vp-p	1 kHz	5 Vp-p	1 kHz	5.05 Vp-p
รูปคลื่นสี่เหลี่ยม	500Hz	1 Vp-p	500 Hz	1 Vp-p	500 Hz	1.03 Vp-p
	1 kHz	5 Vp-p	1 kHz	5 Vp-p	1 kHz	5.10 Vp-p
รูปคลื่น สามเหลี่ยม	500Hz	1 Vp-p	500 Hz	1 Vp-p	500 Hz	1.05 Vp-p
	1 kHz	5 Vp-p	1 kHz	5 Vp-p	1 kHz	5.05 Vp-p

ค่าความคลาดเคลื่อนของดิจิตอลออสซิลโลสโคปที่สร้างขึ้น เมื่อเทียบกับออสซิลโลสโคปของ Agilent รุ่น 54621A มีค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดดังนี้

รูปคลื่นไซน์

1Vp-p มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 5 %

5 Vp-p มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1 %

ที่รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

1Vp-p มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3 %

5 Vp-p มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 2 %

ที่รูปคลื่นสามเหลี่ยม

1Vp-p มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 5 %

5 Vp-p มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุป

ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ที่สร้างขึ้นสามารถครอบคลุมใบงานการทดลองของวิชาพัลส์เทคนิคในระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง จำนวน 11 ใบงานสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางการ์ดอินเตอร์เฟสเพื่อนำสัญญาณ ที่ได้จากชุดทดลองไปแสดงเป็นรูปคลื่นสัญญาณต่างๆ ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ สามารถประกอบ ถอด และซ่อมแซมได้ง่าย

การทำงานของชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ เริ่มจากการนำชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์มาต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ แล้วนำแผงทดลองมาต่อเข้ากับชุดปฏิบัติการทดลองจากนั้นประกอบวงจรตามแผงทดลองแล้วป้อนสัญญาณ ที่ออกมาจากวงจรกำเนิดความถี่ และป้อนแรงดันไฟตามที่ใบงานการทดลองกำหนด จากนั้นจะได้รูปสัญญาณที่ต้องการที่ออกมาเป็นสัญญาณแอนะลอก ต้องนำไปผ่านวงจวงจรลดทอนสัญญาณ จากนั้นนำไปเข้าวงจรยกระดับสัญญาณ และผ่านไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล เพื่อแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล จากนั้นสัญญาณดิจิตอลที่ได้มาจะผ่านไปยังวงจรบันทึกข้อมูลสัญญาณ เพื่อทำการเก็บข้อมูลที่ได้ก่อนส่งเข้าการ์ดอินเตอร์เฟส เพื่อที่จะทำหน้าที่แสดงรูปคลื่นสัญญาณออกที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

การออกแบบชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ที่จัดทำขึ้นจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

ส่วนที่ 1 ส่วนการทดลองของชุดปฏิบัติการทดลองวิชาพัลส์เทคนิค

ส่วนที่ 2 การทดลองการ์ดปฏิบัติการทดลอง

ส่วนที่ 3 การทดลองของดิจิตอลออสซิลโลสโคปที่จัดทำขึ้นเทียบกับออสซิลโลสโคปจากภายนอก

จากการทดลองชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ จะทำการต่อชุดปฏิบัติการทดลองเข้ากับคอมพิวเตอร์แล้วทำการป้อนสัญญาณต่างๆ ตามใบงานที่กำหนด จากนั้นใช้ดิจิตอลออสซิลโลสโคปวัดค่ารูปสัญญาณตามจุดต่าง ๆ สัญญาณที่ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับออสซิลโลสโคปจากภายนอกปรากฏว่ามีความคลาดเคลื่อนประมาณ 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลคอมพิวเตอร์ได้จัดทำขึ้น ยังมีข้อบกพร่องบางประการในการทำงาน ทางคณะผู้จัดทำจึงได้รวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการพัฒนาโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ปัญหา การทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณ เนื่องจากไอซีที่ใช้ในวงจรมีการทนแรงดันไฟตามที่กำหนดไว้ถ้าจ่ายแรงดันไฟเกินกำหนดทำให้ ไอซีเสียหาย

แนวทางการแก้ไข ก่อนที่จะจ่ายแรงดันไฟควรทำการวัดแรงดันไฟที่จะป้อนให้กับวงจรว่ามีขนาดแรงดันไฟตามที่กำหนดหรือไม่

2. ปัญหา วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล เบอร์ TDA8703 รับสัญญาณ 0 - 5 V และรับสัญญาณอินพุตได้ไม่เกิน 3.5 โวลต์ เมื่อป้อนแรงดันอินพุตเกินทำให้ไอซีเสียหายได้ง่าย

แนวทางการแก้ไข การป้อนแรงดันอินพุตต้องวัดสัญญาณด้วยออสซิลโลสโคปก่อนเพื่อตรวจสอบขนาดของสัญญาณไม่ให้เกินค่าที่ไอซีรับได้

3. ปัญหา รูปคลื่นของวงจรกำเนิดสัญญาณมีความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่ความถี่สูง

แนวทางแก้ไข เปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุให้มีค่าความผิดพลาดน้อยๆ ใช้แบบเปบเปอร์หรือวีมาร์และใช้ตัวความต้านทานที่มีค่าผิดพลาดน้อยๆ

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. ตัวเครื่อง ควรจะมีขนาดเล็กกะทัดรัด เพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้าย
2. กล่องใส่อุปกรณ์ควรจะมีน้ำหนักเบากว่านี้เพื่อสะดวกในการย้าย
3. พัฒนาวงจรกำเนิดสัญญาณให้สามารถกำเนิดสัญญาณที่ความถี่สูงๆ ได้ และมีเสถียรภาพ
4. พัฒนาในส่วนการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กัมพล ทองเรือง. **ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลส์**. กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์. 2539

นภัทร วัจนเทพินทร์. **คู่มือการทดลองการออกแบบวงจรพัลส์**. กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์. 2540

นภัทร วัจนเทพินทร์. **ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลส์**. พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ : กายบุ๊กส์.2544

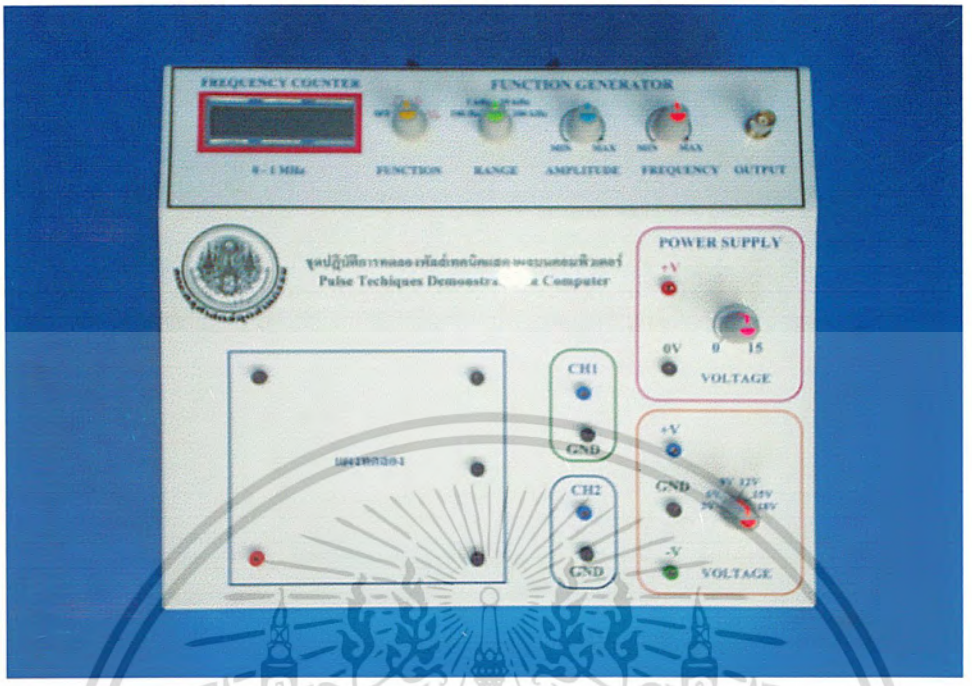
สมเกียรติ ศุภเดช และ มนัส สังวรศิลป์. **ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลส์**. กรุงเทพฯ : อิเล็กทรอนิกส์ เวิลด์. 2526

อภิชาต ภู่พลับ. **เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic**. นนทบุรี: อินโฟเพรส. 2546

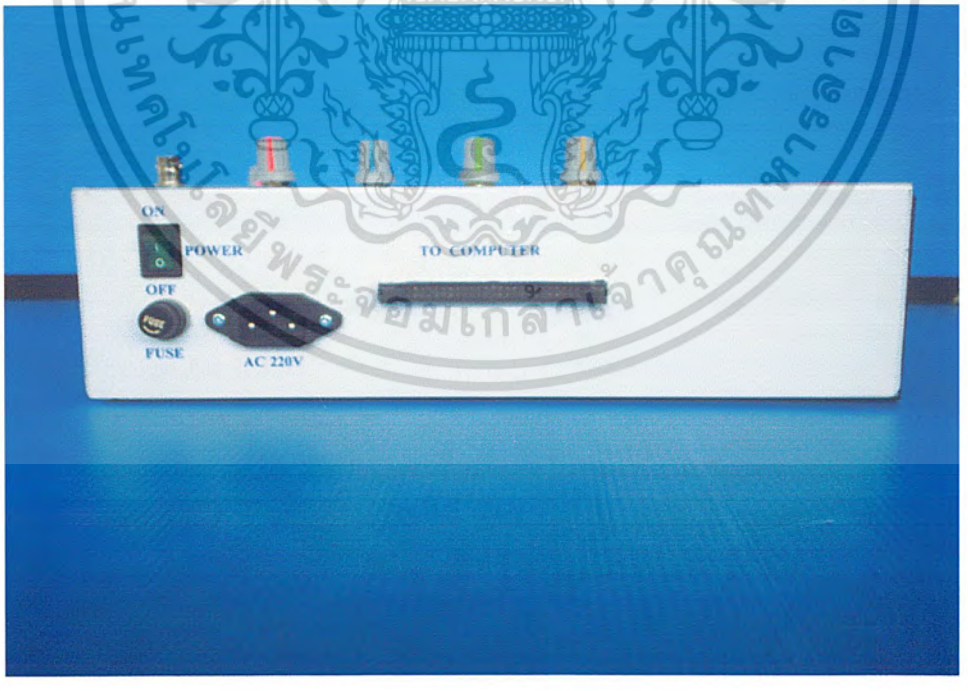
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

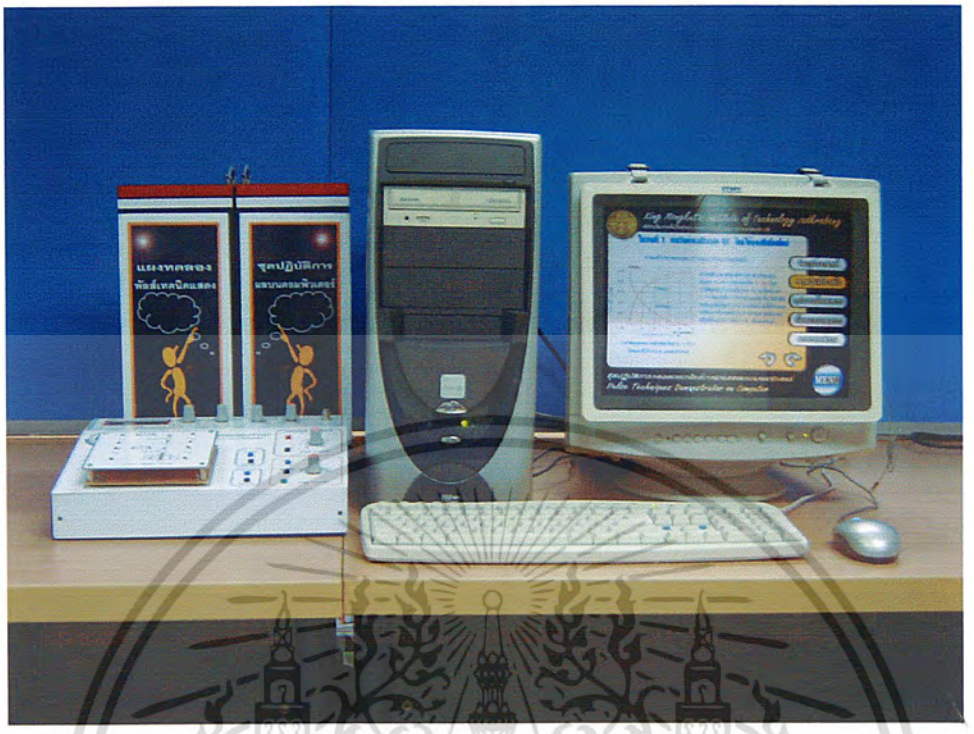


รูปที่ ก.1 รูปหน้ากล่อง



รูปที่ ก.2 รูปหลังกล่อง

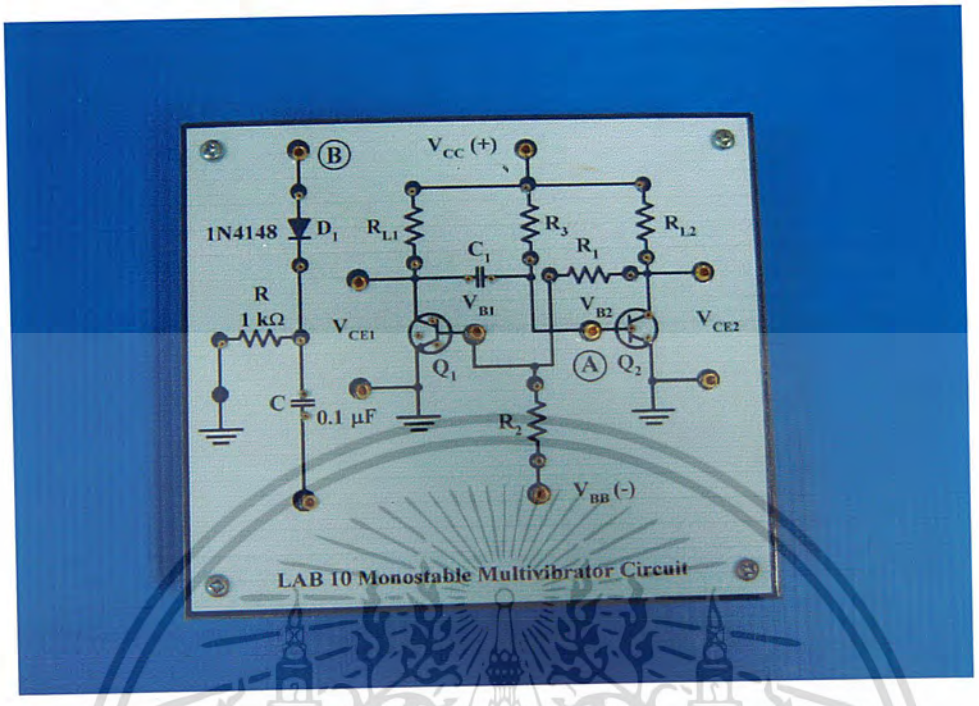
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



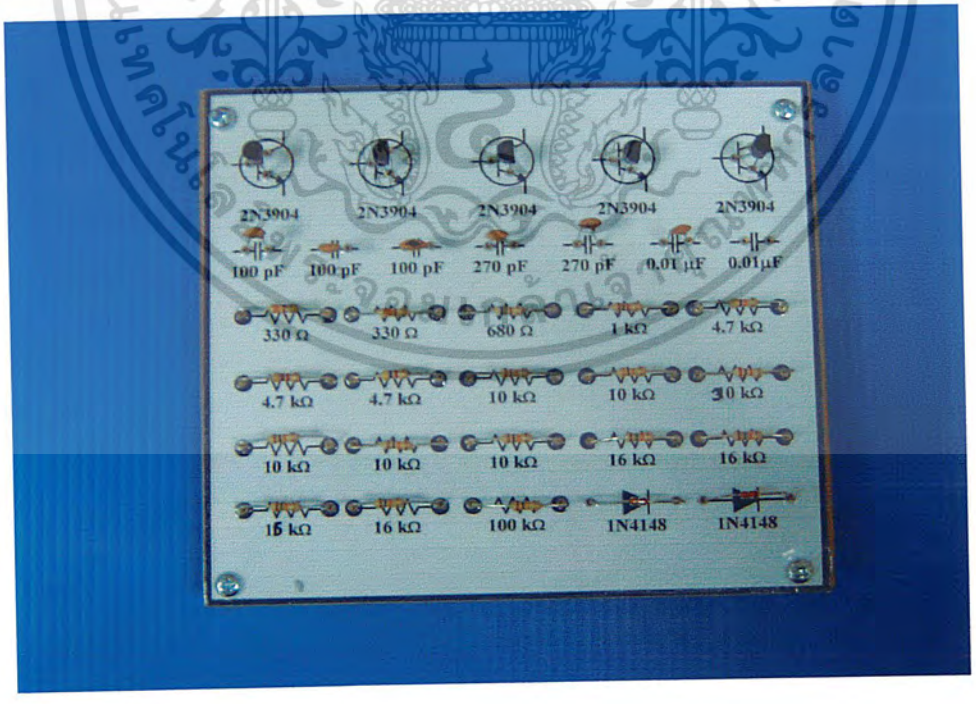
รูปที่ ก.3 ส่วนประกอบทั้งหมดของชุดปฏิบัติการทดลอง

รูปที่ ก.4 กล่องใส่แผงทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

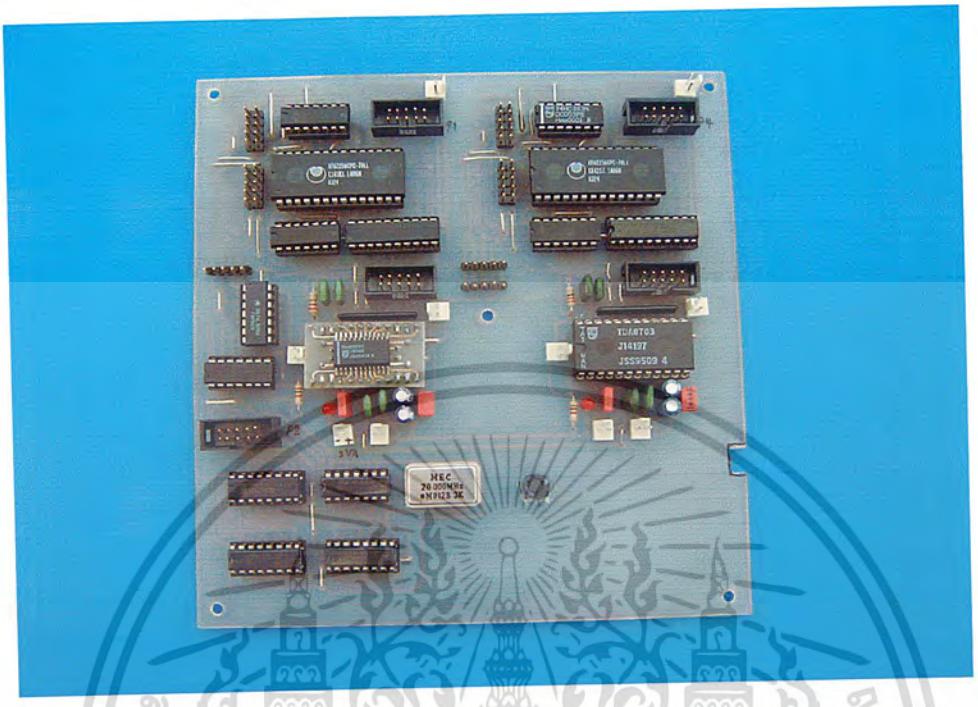


รูปที่ ก.5 แผงทดลองชุดปฏิบัติการพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

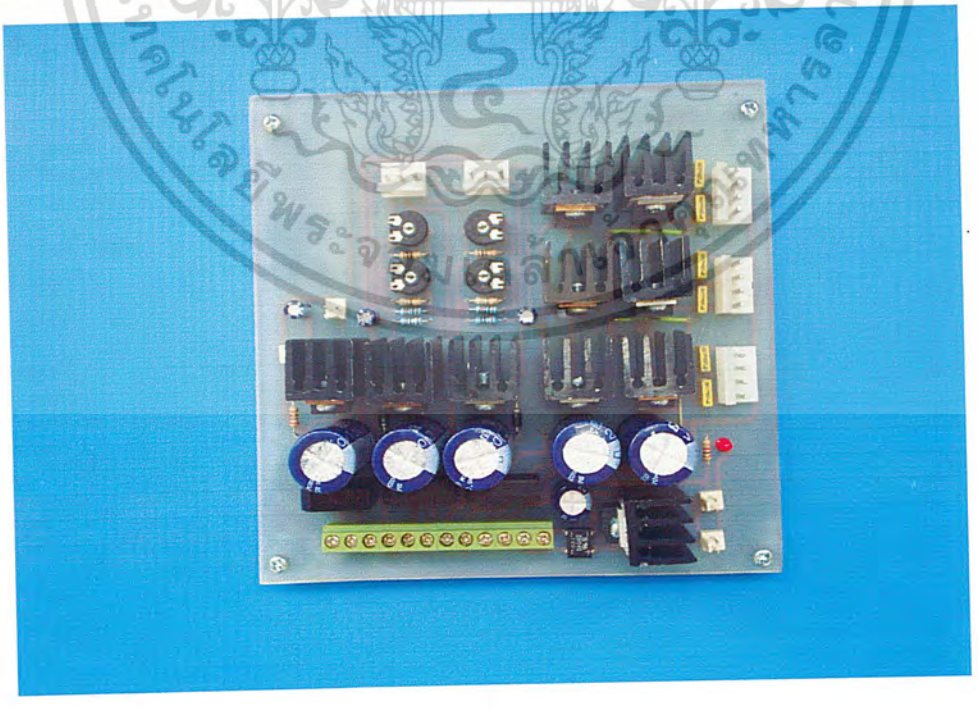


รูปที่ ก. 6 แผงใส่อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

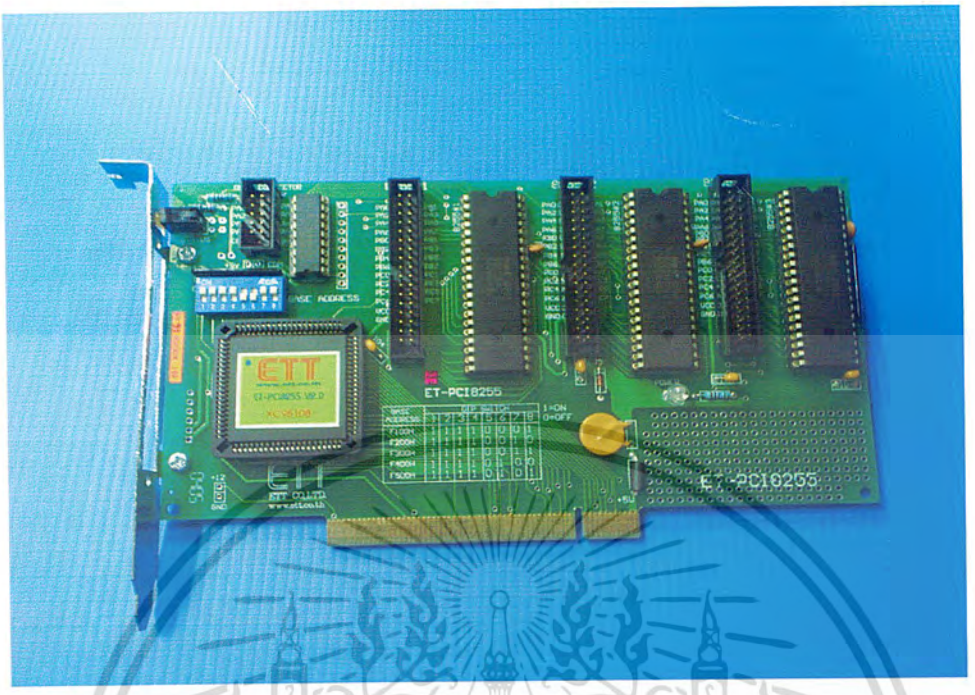


รูปที่ ก.7 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

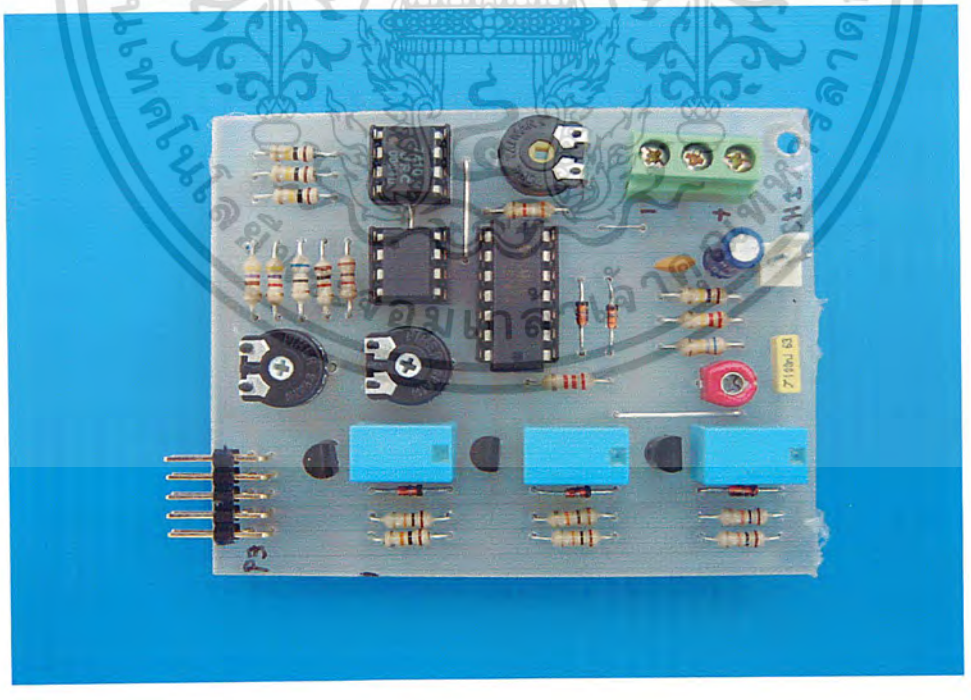


รูปที่ ก.8 วงจรกำเนิดแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

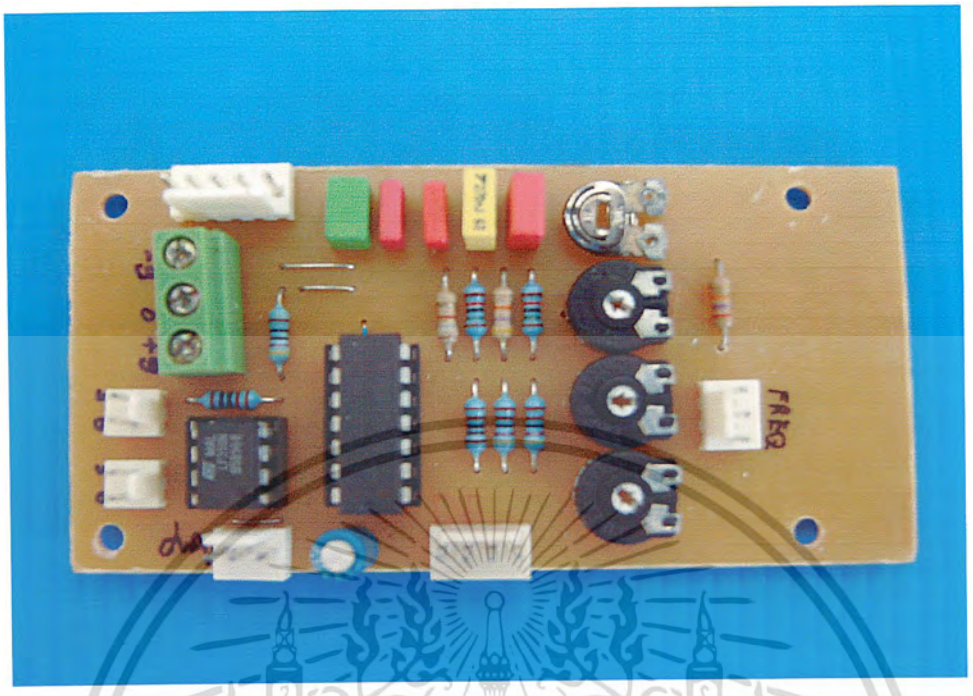


รูปที่ ก.9 การ์ดอินเตอร์เฟส

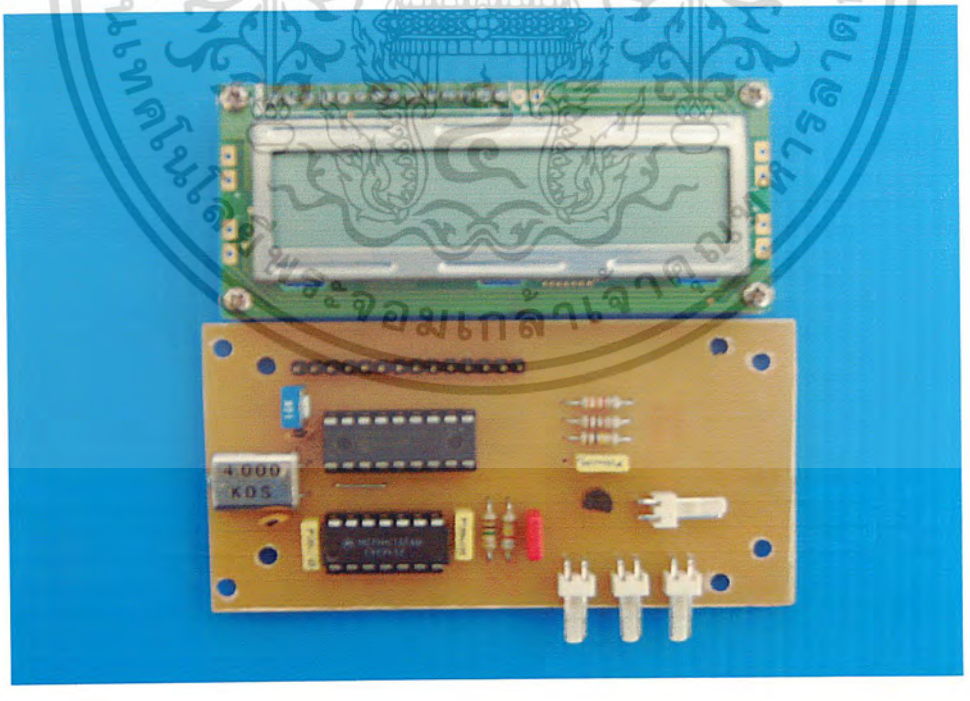


รูปที่ ก.10 วงจรลดทอนและยกระดับสัญญาณอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.11 วงจรกำเนิดสัญญาณ



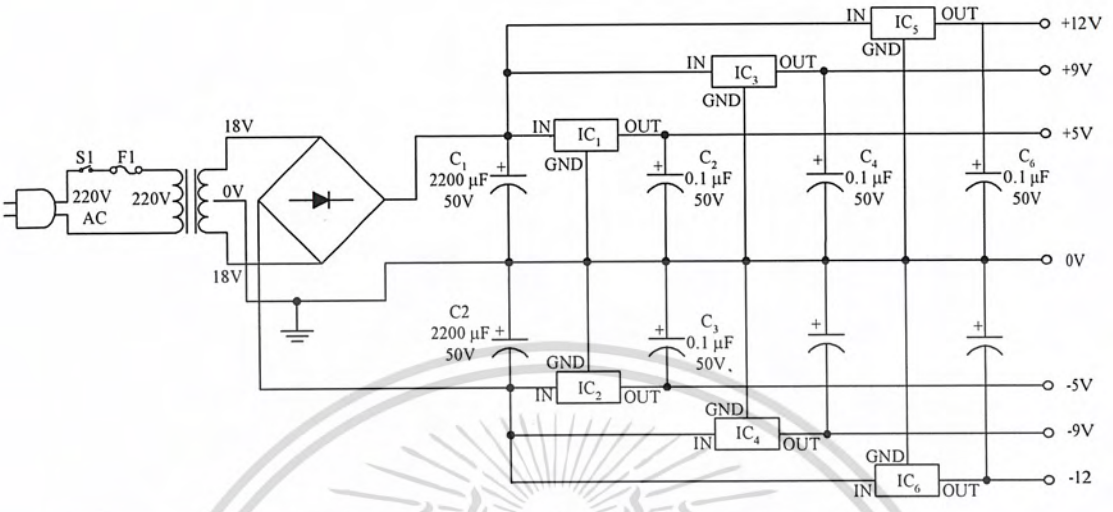
รูปที่ ก.12 วงจรนับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

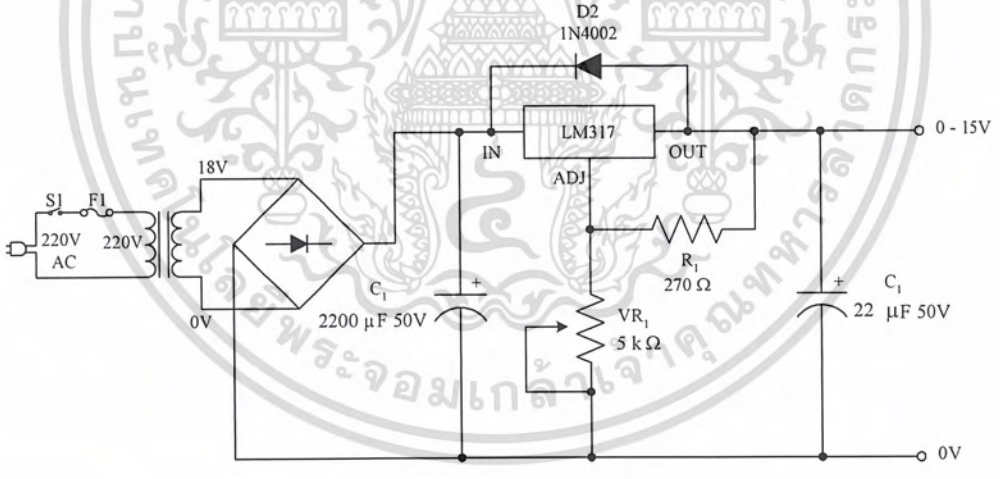
ภาคผนวก ข

วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

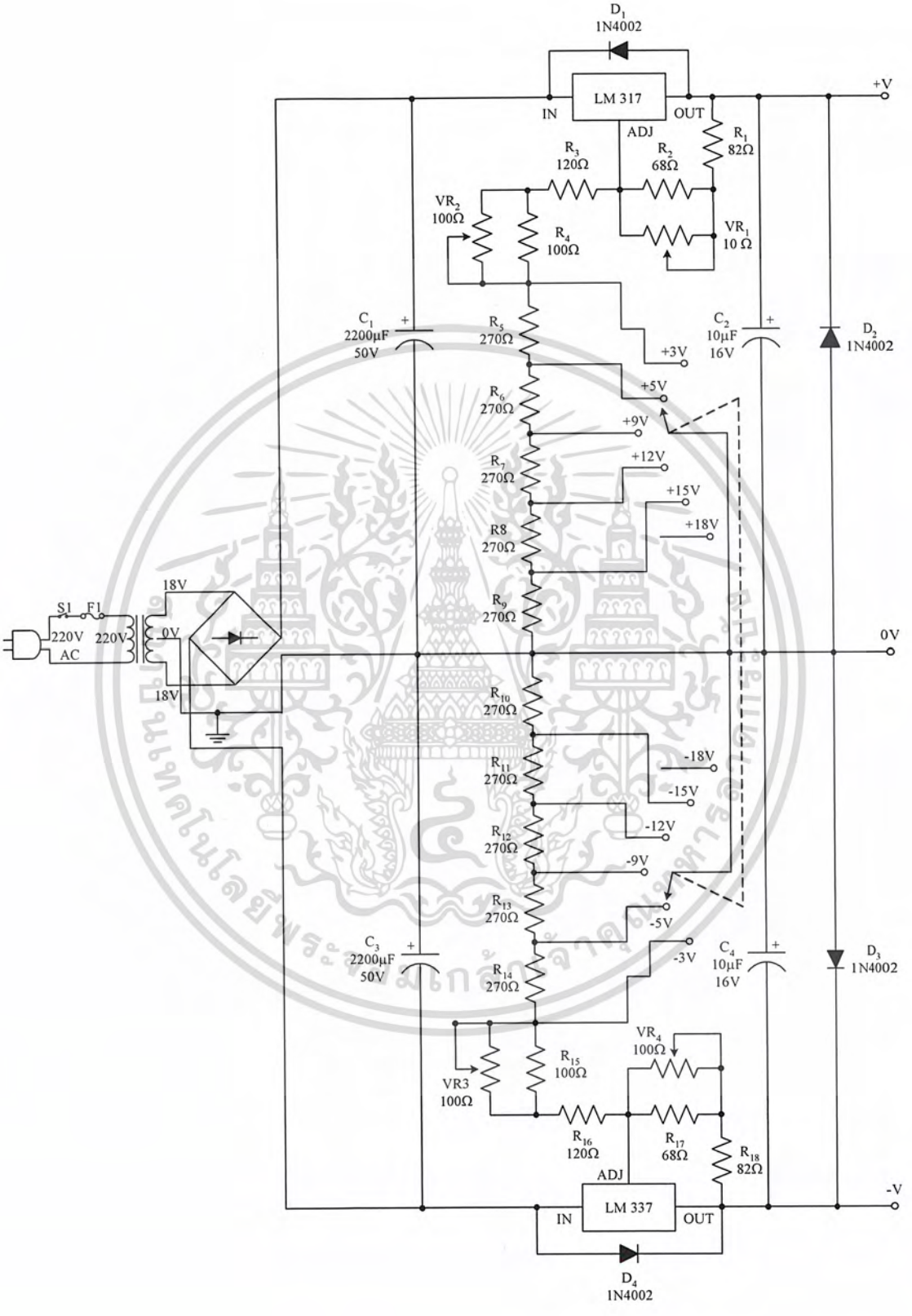


รูปที่ ข.1 ส่วนควบคุมระดับแรงดันไฟแบบค่าคงที่



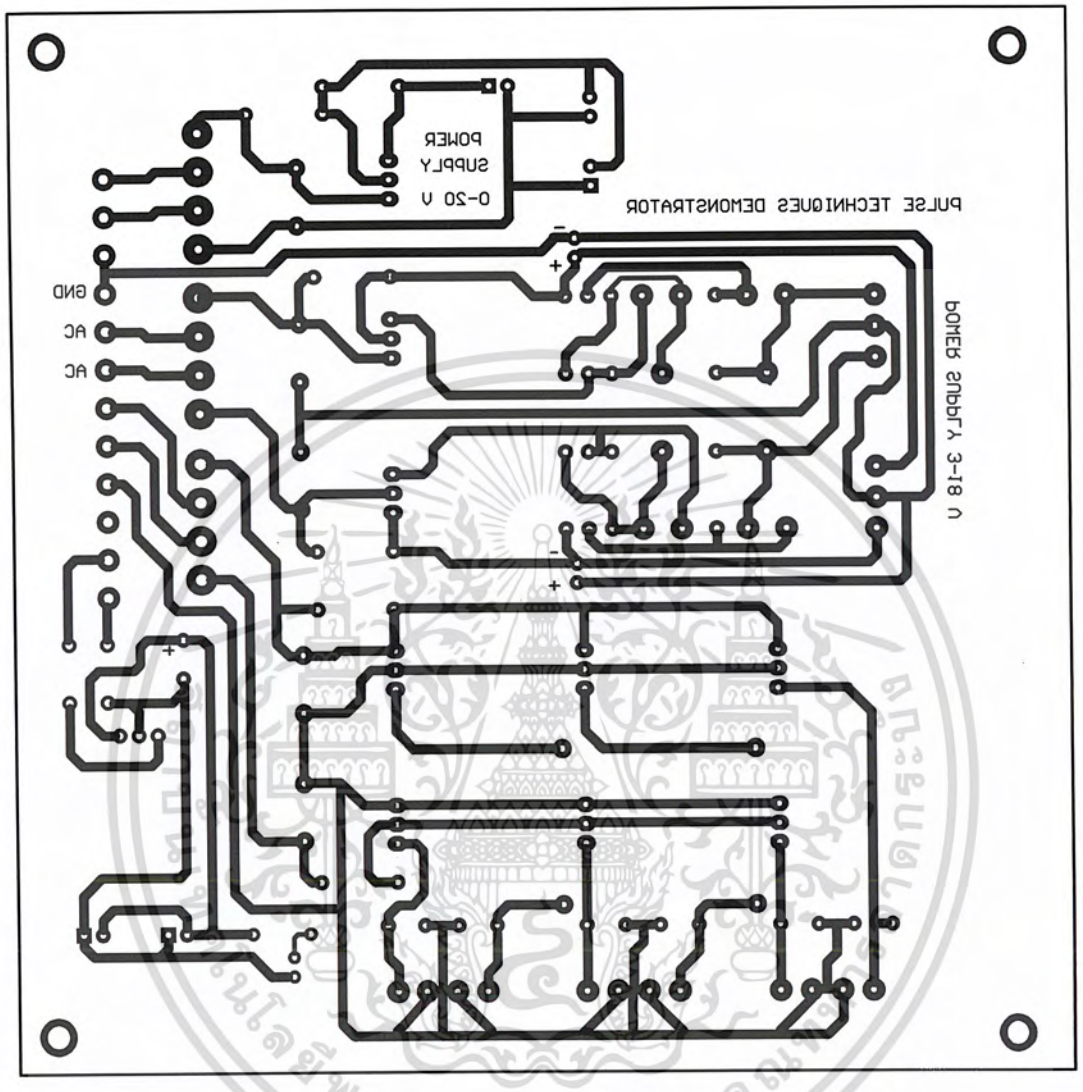
รูปที่ ข.2 ส่วนควบคุมระดับแรงดันไฟแบบปรับค่าได้ 0 - 15 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



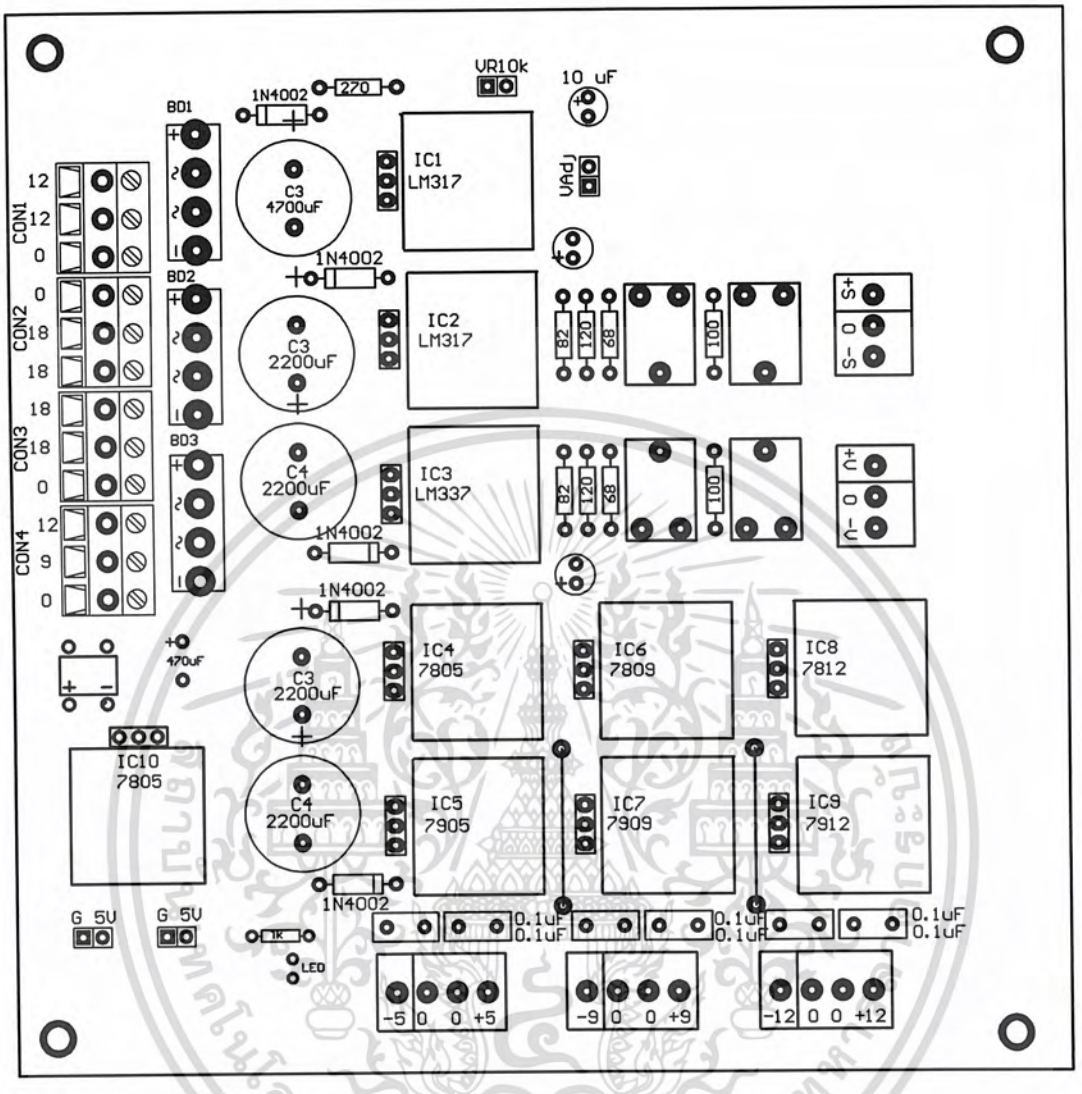
รูปที่ ข.3 ส่วนควบคุมระดับแรงดันไฟแบบบวกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



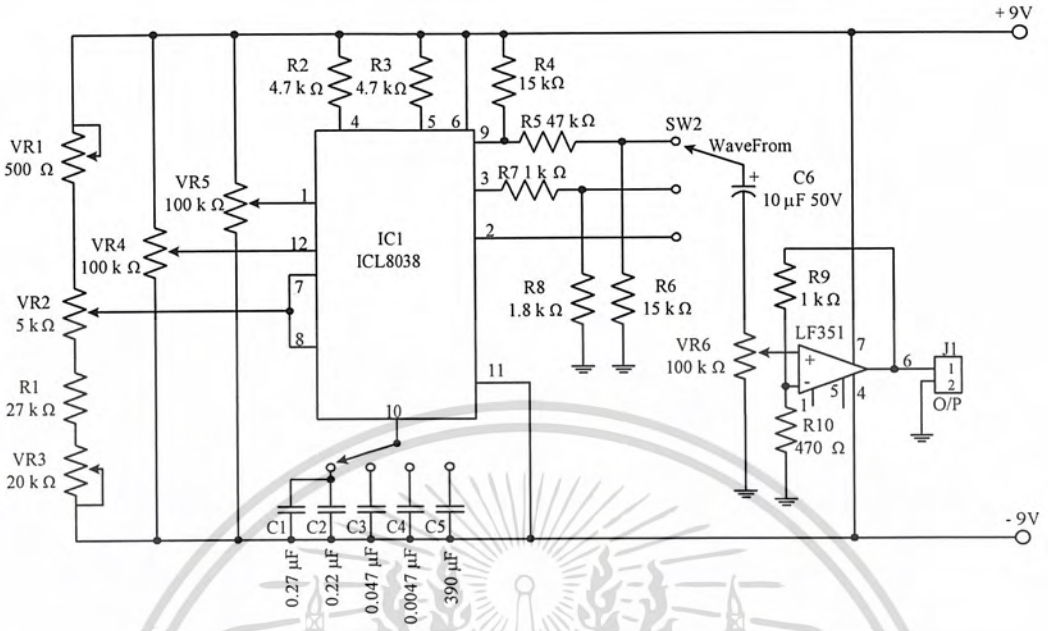
รูปที่ ข.4 ลายทองแดงส่วนควบคุมระดับแรงดันไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

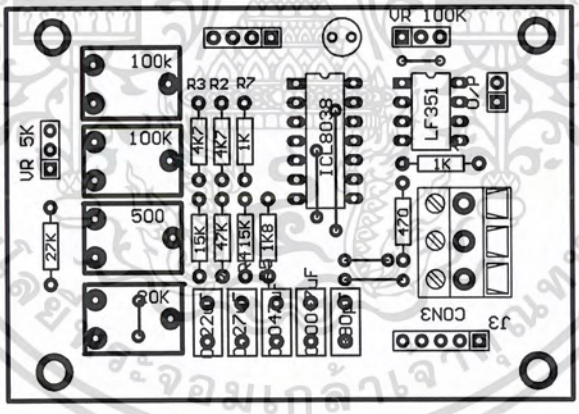


รูปที่ ข.5 การวางอุปกรณ์ของส่วนควบคุมระดับแรงดันไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

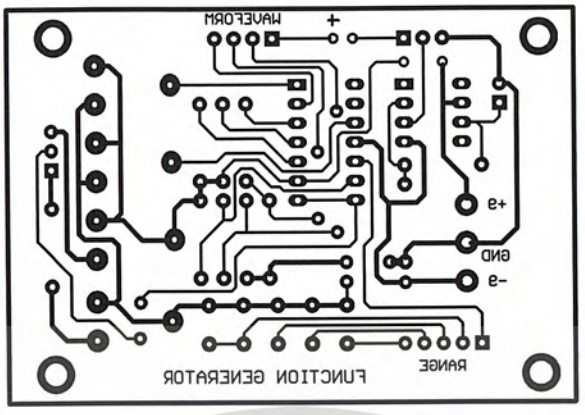


รูปที่ ข.6 วงจรกำเนิดสัญญาณ

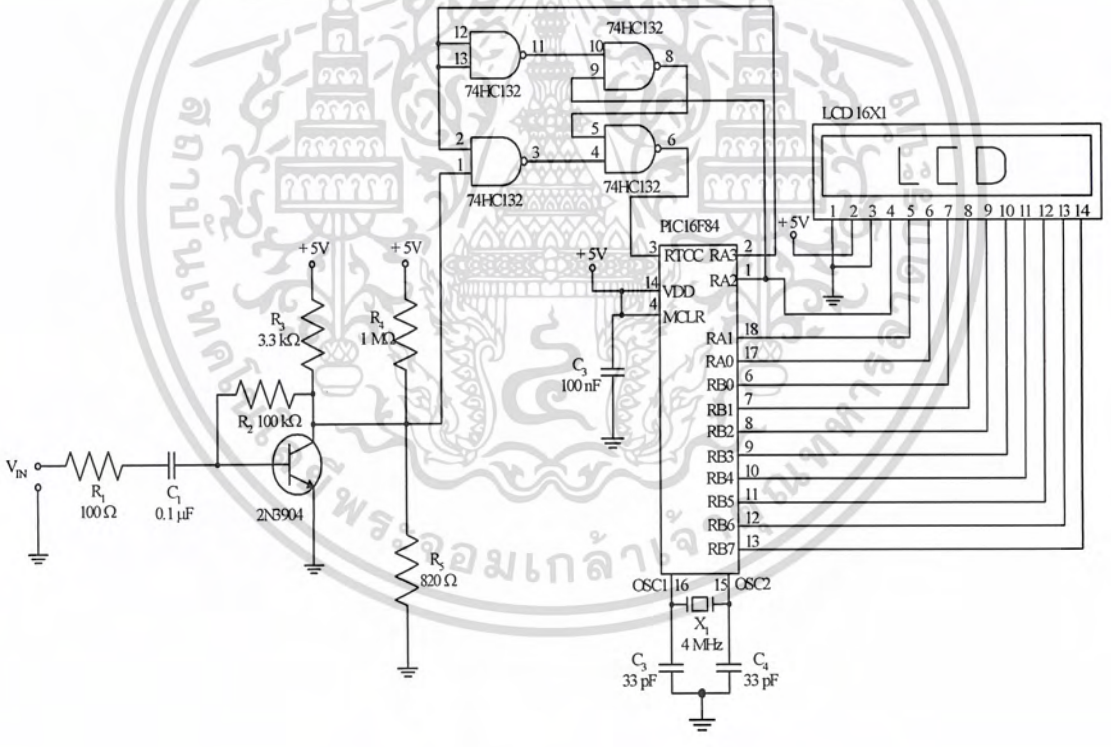


รูปที่ ข.7 การวางอุปกรณ์วงจรกำเนิดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

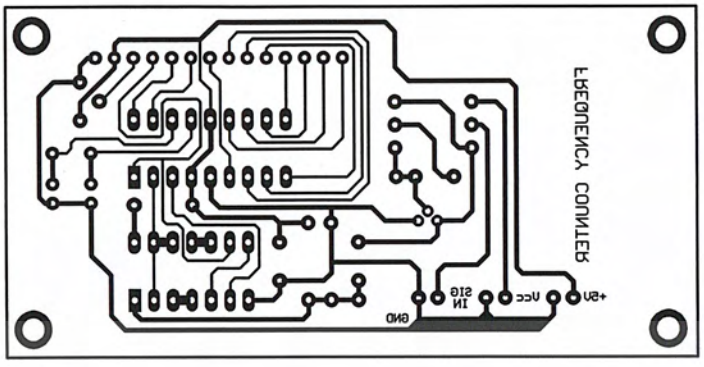


รูปที่ ข.8 ลายทองแดงของวงจรกำเนิดสัญญาณ

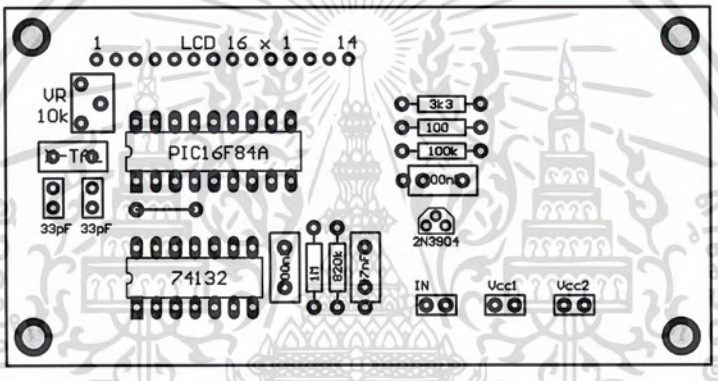


รูปที่ ข.9 รูปวงจรนับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

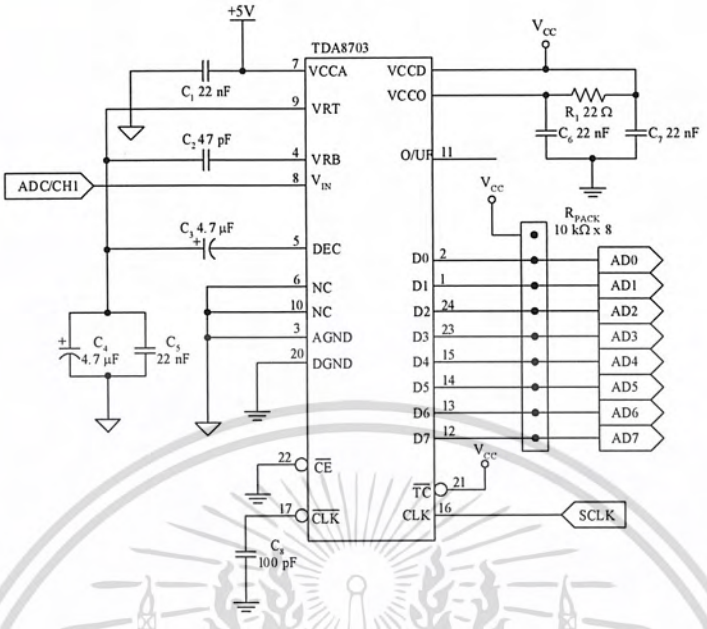


รูปที่ ข.10 ลายทองแดงของวงจรนับความถี่

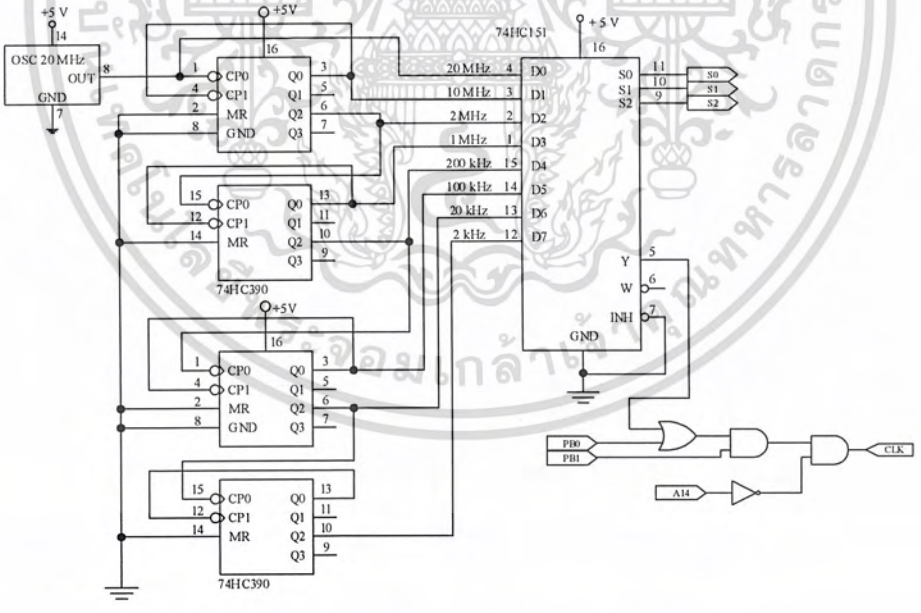


รูปที่ ข.11 การวางอุปกรณ์ของวงจรนับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

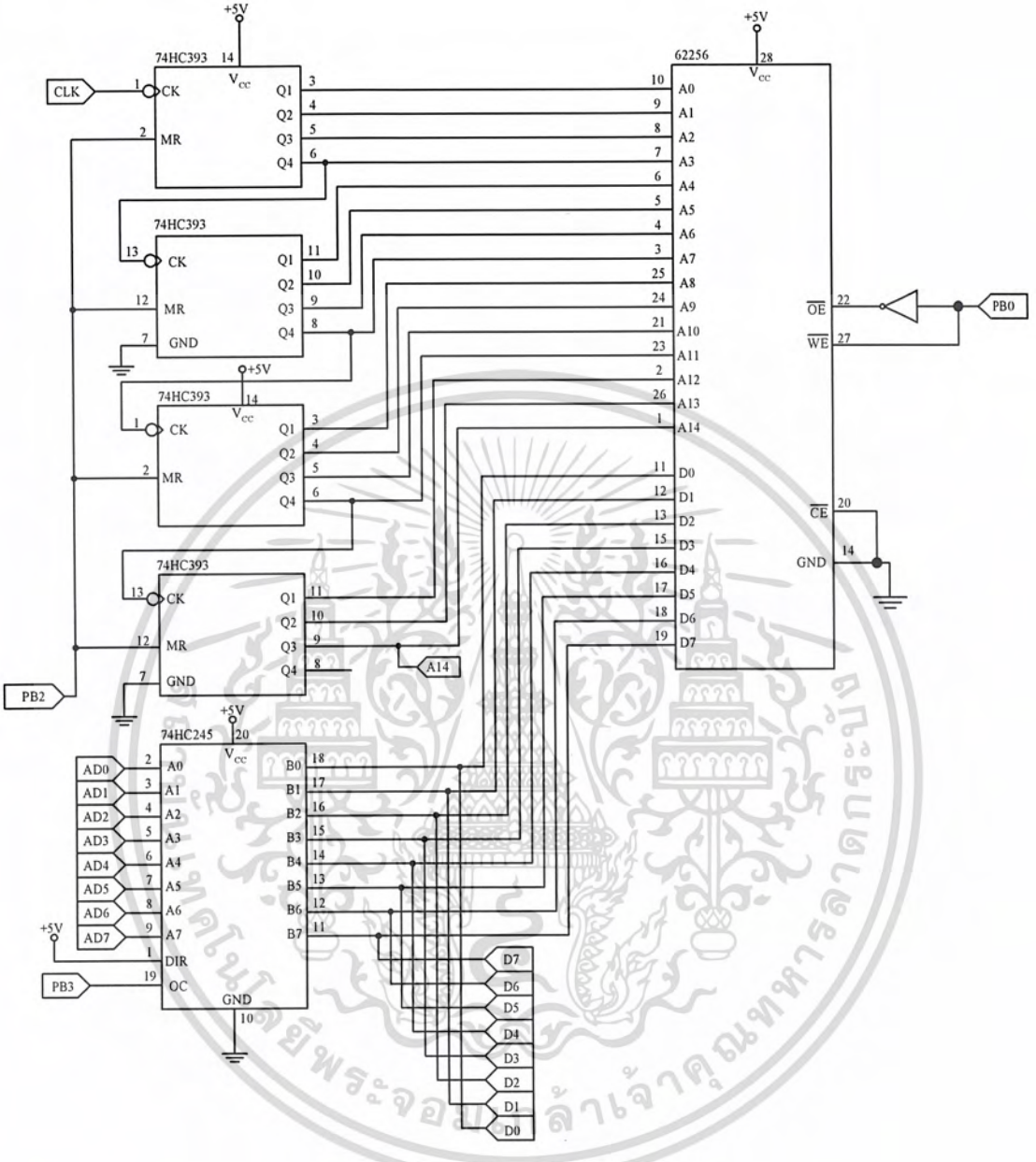


รูปที่ ข.12 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล และวงจรยกระดับสัญญาณ



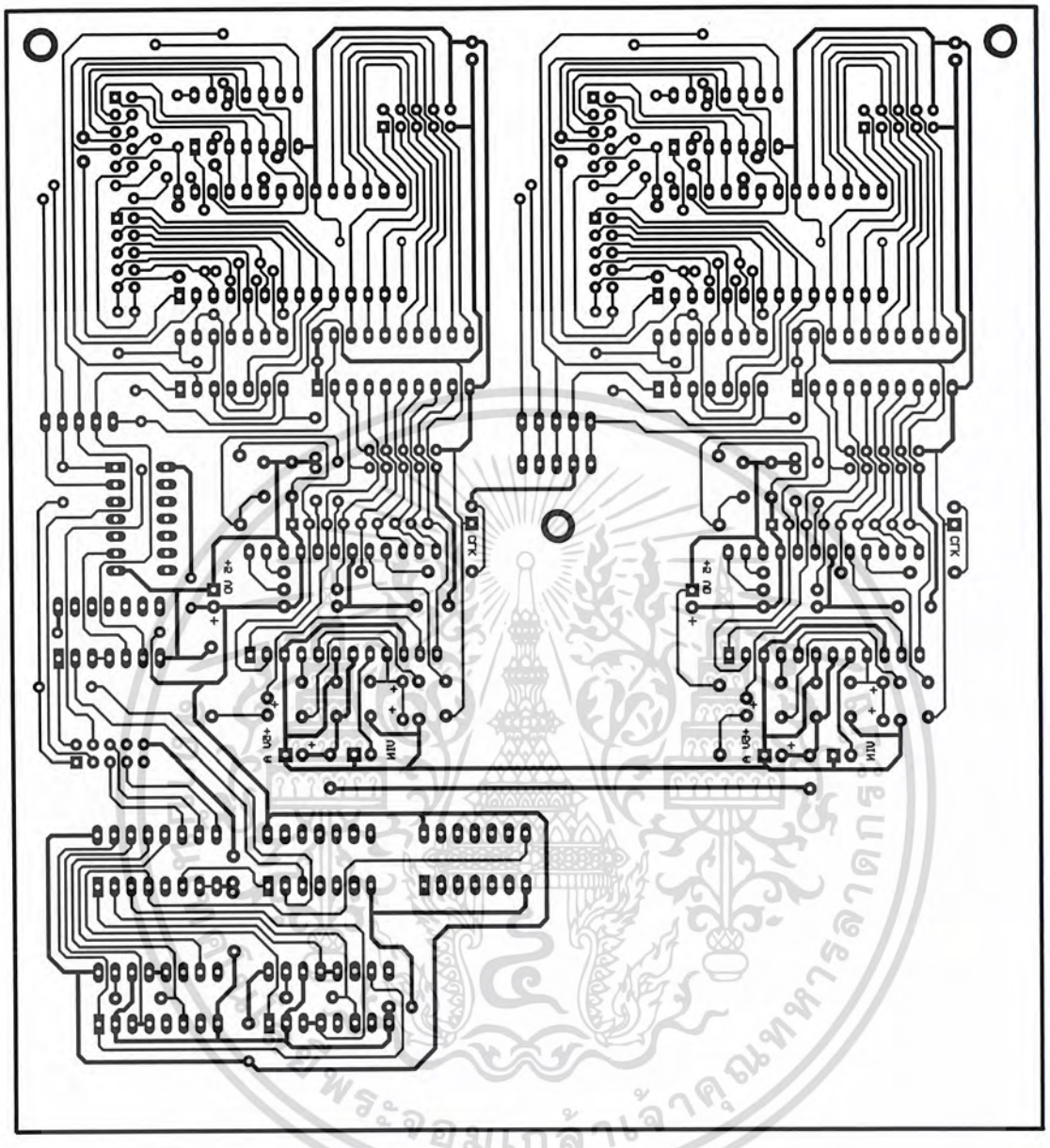
รูปที่ ข.13 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



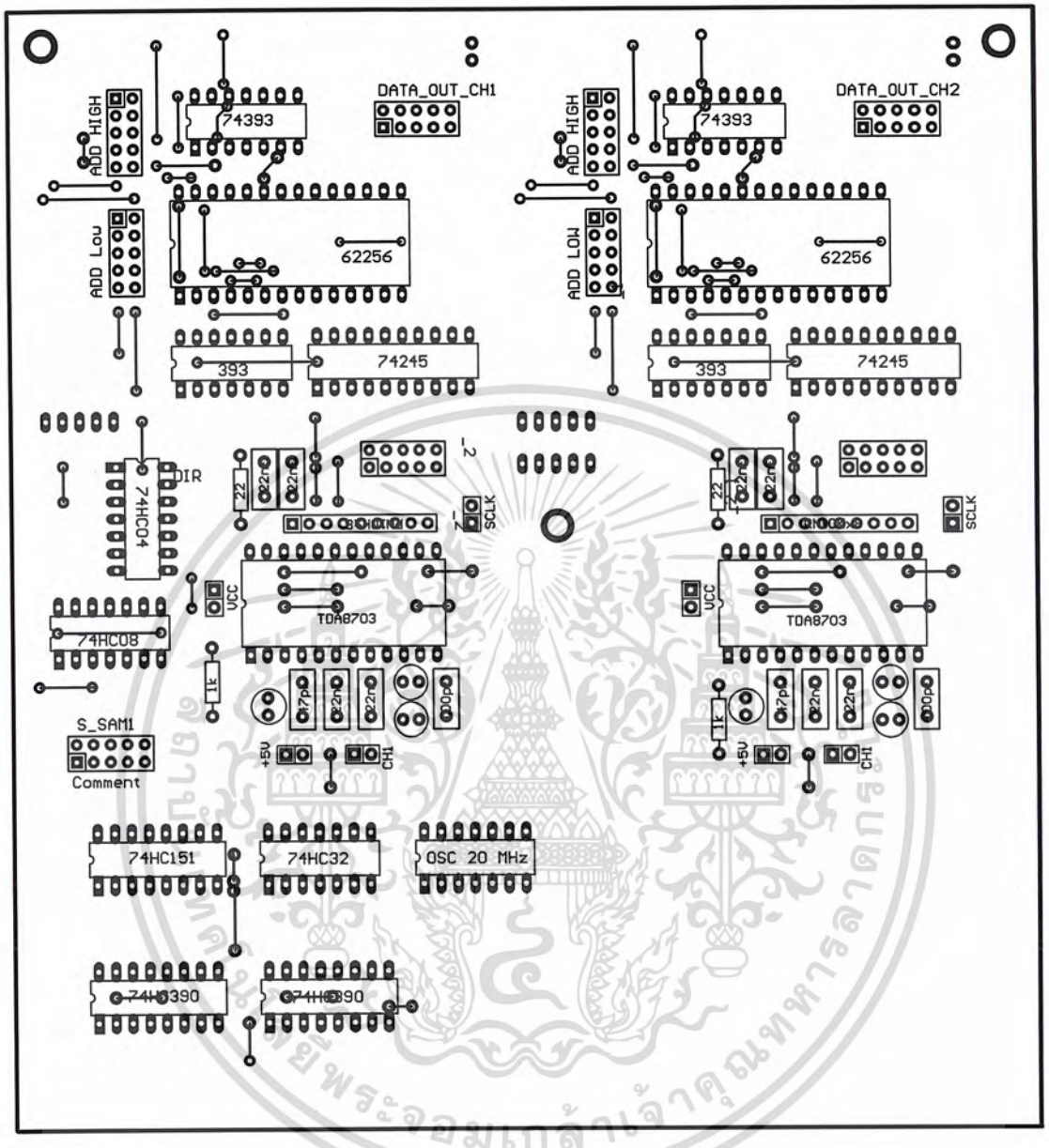
รูปที่ ข.14 วงจรบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



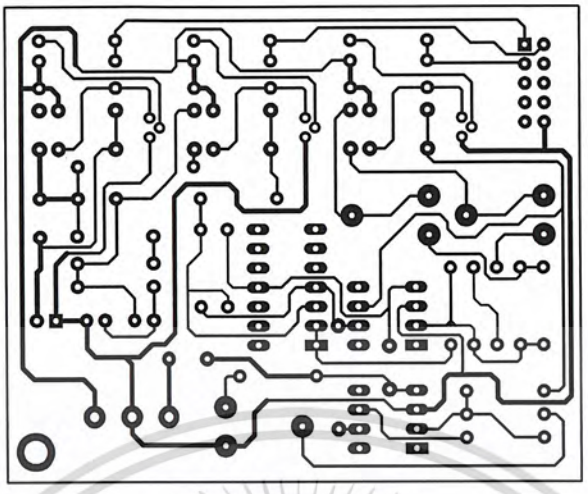
รูปที่ ข.15 ลายทองแดงดิจิตอลออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

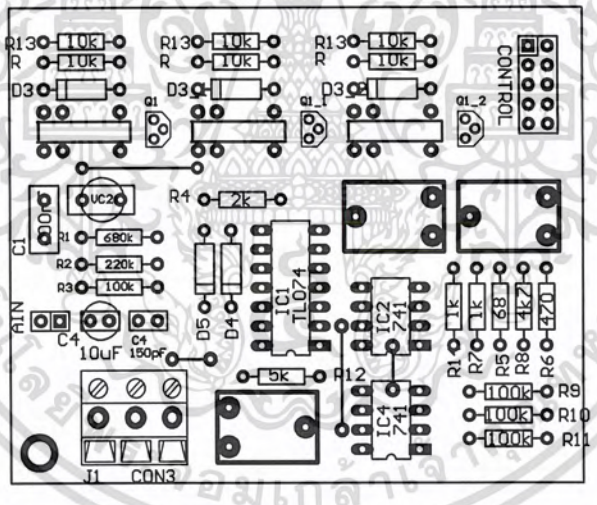


รูปที่ ข.16 การวางอุปกรณ์ของดิจิตอลออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.17 ลายทองแดงวงจรยกระดับแรงดันและวงจรลดทอนสัญญาณ



รูปที่ ข.18 การวางอุปกรณ์ของวงจรยกระดับแรงดันและวงจรลดทอนสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค. 1 รายการอุปกรณ์วงจร RC – Time Constant

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ตัวเก็บประจุ		
C_1	0.01 μF	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R_1	10 kΩ 1/4 W 5%	1 ตัว

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์วงจรอาร์ซี – ดิฟเฟอร์เร็นติเอเตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ตัวเก็บประจุ		
C_1	0.1 μF	3 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R_1 Medium Time Constant	47 kΩ 1/4 W 5%	1 ตัว
R_2 Long Time Constant	4.7 kΩ 1/4 W 5%	1 ตัว
R_3 Short Time Constant	470 kΩ 1/4 W 5%	1 ตัว

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์วงจรอาร์ซี-อินทริเกรเตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ตัวเก็บประจุ		
C	0.1 μF	3 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R_1 Medium Time Constant	10 kΩ 1/4 W 5%	1 ตัว
R_2 Long Time Constant	100 kΩ 1/4 W 5%	1 ตัว
R_3 Short Time Constant	1 kΩ 1/4 W 5%	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณ

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D	1N4148	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R	100 kΩ	1 ตัว

ตารางที่ ค.5 รายการอุปกรณ์วงจรยกระดับสัญญาณ

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D	1N4148	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C	0.47 μF	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R	100 kΩ	1 ตัว

ตารางที่ ค.6 รายการอุปกรณ์วงจรทรานซิสเตอร์สวิตซ์และอินเวอร์เตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
กำหนดให้ Q	2N2222A	1 ตัว
ที่คำนวณ Q	2N3904	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
กำหนดให้ C	470 pF	1 ตัว
ที่คำนวณ C	200 pF	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ วงจรทรานซิสเตอร์สวิตซ์และอินเวอร์เตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ตัวความต้านทาน		
กำหนดให้ R_1	10 kΩ	1 ตัว
R_2	1 MΩ	1 ตัว
R_L	1 kΩ	1 ตัว
ที่คำนวณ R_1	36 kΩ	1 ตัว
R_2	820 kΩ	1 ตัว
R_L	1 kΩ	1 ตัว

ตารางที่ ค.7 รายการอุปกรณ์วงจรจุดชนวนชมิตต์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
Q_1, Q_2	2N2222A	2 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R_1	4.7 kΩ	1 ตัว
R_2	5.6 kΩ	1 ตัว
R_{L1}	3.9 kΩ	1 ตัว
R_{L2}	2 kΩ	1 ตัว
R_B	2 kΩ	1 ตัว
R_E	1 kΩ	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 รายการอุปกรณ์วงจรไบสเตเบิล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
ค่ากำหนดให้ Q	2N2222A	1 ตัว
ค่าที่คำนวณ Q	2N2222A	1 ตัว
ค่ากำหนดให้ LED	สีแดง	2 ตัว
ค่าที่คำนวณ LED	สีแดง	2 ตัว
ตัวความต้านทาน		
กำหนดให้ R_1, R_3	10 kΩ	2 ตัว
R_2, R_4	100 kΩ	2 ตัว
R_{L1}, R_{L2}	3.3 kΩ	2 ตัว
ที่คำนวณ R_1, R_3	6.8 kΩ	2 ตัว
R_2, R_4	82 kΩ	2 ตัว
R_L, R_{L2}	300 Ω	2 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
S_1,S_2	สวิตซ์สองทาง	2 ตัว

ตารางที่ ค.9 รายการอุปกรณ์วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
กำหนดให้ Q	2N2222A	1 ตัว
ที่คำนวณ Q	2N2222A	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
กำหนดให้ C_1, C_2	0.01 μF	2 ตัว
ที่คำนวณ C_1, C_2	330 pF	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 (ต่อ) รายการอุปกรณ์วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ตัวความต้านทาน		
กำหนดให้ R_1, R_2	100 kΩ	2 ตัว
R_{L1}, R_{L2}	4.7 kΩ	2 ตัว
ที่คำนวณ R_1, R_2	43 kΩ	2 ตัว
R_{L1},R_{L2}	470 kΩ	2 ตัว

ตารางที่ ค.10 รายการอุปกรณ์วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
กำหนดให้ Q_1, Q_2	2N2222A	2 ตัว
ที่คำนวณ Q_1, Q_2	2N3904	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
กำหนดให้ C	0.1 μF	1 ตัว
C_1	0.01 μF	1 ตัว
ที่คำนวณ C	0.1 μF	1 ตัว
C_1	100 pF	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
กำหนดให้ R_1, R_2	10 kΩ	2 ตัว
R_3	4.7 kΩ	1 ตัว
R_{L1}, R_{L2}	1 kΩ	2 ตัว
ที่คำนวณ R_1	10 kΩ	1 ตัว
R_2	120 kΩ	1 ตัว
R_{L1},R_{L2}	620 Ω	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 รายการอุปกรณ์วงจรการใช้งานไอซี 555 เป็นอะสเตเบิล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC	555	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C_1	0.01 μF 50V	2 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R_A,R_B	10 kΩ	2 ตัว

ตารางที่ ค.12 รายการอุปกรณ์วงจรยกระดับแรงดัน

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC	TL074	1 ตัว
IC_1, IC_2	LM 741	2 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D_1, D_2	1N4148	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C_1	100 nF 50 V	1 ตัว
C_2	100 pF 16 V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R_1	1 MΩ	1 ตัว
R_2	10 kΩ	1 ตัว
R_3	7 kΩ	1 ตัว
R_4, R_5, R_6, R_7, R_8	100 kΩ	5 ตัว
VR	5 kΩ	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 รายการอุปกรณ์วงจรนับความถี่

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC_1	PIC16F84A	1 ตัว
IC_2	74HC132	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
Q	2N3904	1 ตัว
LCD	DSP1 MODULE 16X1	
ตัวเก็บประจุ		
C_1	47 pF	1 ตัว
C_2, C_3	100 nF	2 ตัว
C_4, C_5	33 pF	2 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R_1	100 Ω	1 ตัว
R_2	100 kΩ	1 ตัว
R_3	3.3 kΩ	1 ตัว
R_4	1 MΩ	1 ตัว
R_5	820 kΩ	1 ตัว
V_R	10 kΩ	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
JP1, JP2	Socket 2 pin	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.14 รายการอุปกรณ์วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC	TDA8703	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C_1, C_5, C_6, C_7	22 nF	4 ตัว
C_2	47 pF	1 ตัว
C_3, C_4	4.7 µF	2 ตัว
C_7	100 pF	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R	22 Ω	1 ตัว
RN	Rpaek 10 kΩ	1 ตัว

ตารางที่ ค.15 รายการอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบค่าคงที่

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC_1	LM 317	1 ตัว
IC_2	LM 337	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
$D_1 - D_6$	1N4002	6 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C_1, C_3	2200 µF 50 V	2 ตัว
C_2, C_4	10 µF 16 V	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.15 (ต่อ) รายการอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบค่าคงที่

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ตัวความต้านทาน		
R_1, R_{18}	82 Ω 1/4 W 5%	2 ตัว
R_2, R_{17}	68 Ω 1/4 W 5%	2 ตัว
R_3, R_{16}	120 Ω 1/4 W 5%	2 ตัว
R_4, R_{15}	100 Ω 1/4 W 5%	2 ตัว
R_5, R_{14}	270 Ω 1/4 W 5%	2 ตัว
$V_{R1} - V_{R4}$	100 Ω	4 ตัว

ตารางที่ ค.16 รายการอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบปรับค่าได้

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC	LM 317	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D_1, D_2	1N4002	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C_1	2200 μF 50V	1 ตัว
C_2	22 μF 50V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R_1	270 Ω 1/4 W 5%	1 ตัว
V_{R1}	5 kΩ 1/4 W 5%	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.17 รายการอุปกรณ์วงจรกำเนิดความถี่

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC_1	ICL8038	1 ตัว
IC_2	LF351	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C_1	0.27 μF	1 ตัว
C_2	0.22 μF	1 ตัว
C_3	0.047 μF	1 ตัว
C_4	0.0047 μF	1 ตัว
C_5	390 μF	1 ตัว
C_6	10 μF	1 ตัว

ตารางที่ ค.18 รายการอุปกรณ์วงจรบันทึกข้อมูล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC_1	74HC393	2 ตัว
IC_2	74HC245	2 ตัว
IC_3	62256	1 ตัว

ตารางที่ ค.19 รายการอุปกรณ์วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC_1	74HC390	2 ตัว
IC_2	74HC151	1 ตัว
IC_3	74HC04	1 ตัว
IC_4	74HC32	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.19 (ต่อ) รายการอุปกรณ์วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC_5	74HC08	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R	1 kΩ	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
คริสตอลโมดูล	MEC 20.00 MHz	1 ตัว

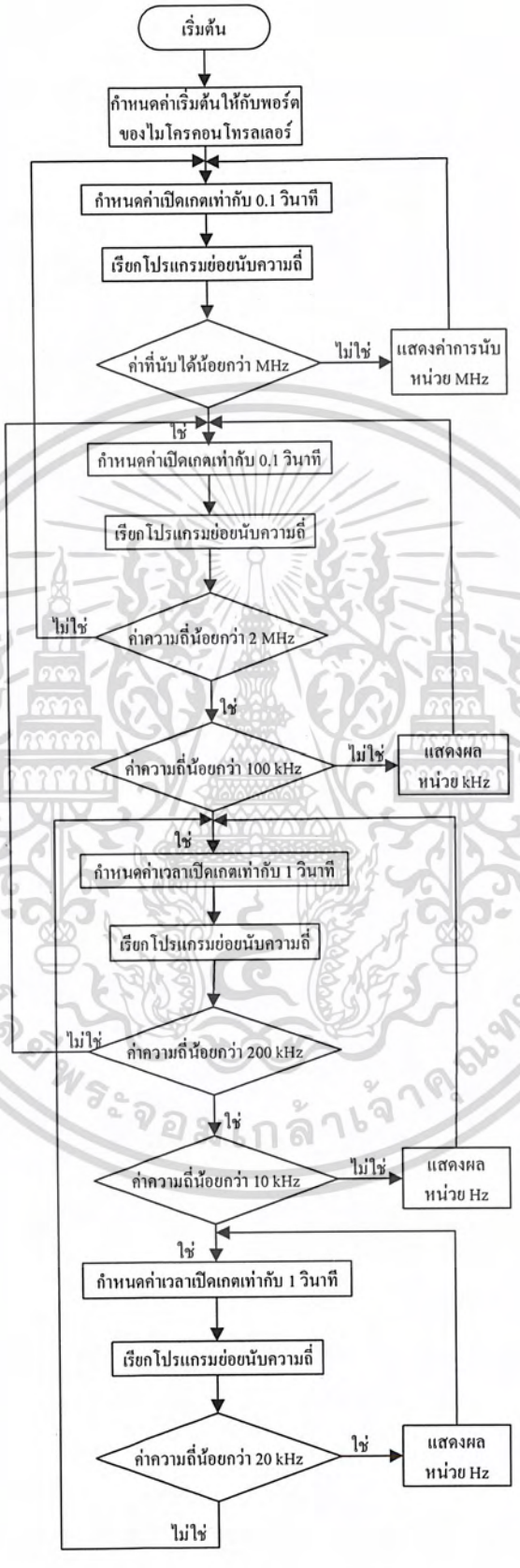
ตารางที่ ค.20 รายการอุปกรณ์วงจรลดทอนสัญญาณ

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC	TL 074	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C_1	0.1 µF 50V	1 ตัว
C_2	250 µF 50V	1 ตัว
C_3	100 pF	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R_1	680 kΩ 1/4 W 5%	1 ตัว
R_2	220 kΩ 1/4 W 5%	1 ตัว
R_3	100 kΩ 1/4 W 5%	1 ตัว
R_4	2 kΩ 1/4 W 5%	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
RY1, RY2		2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

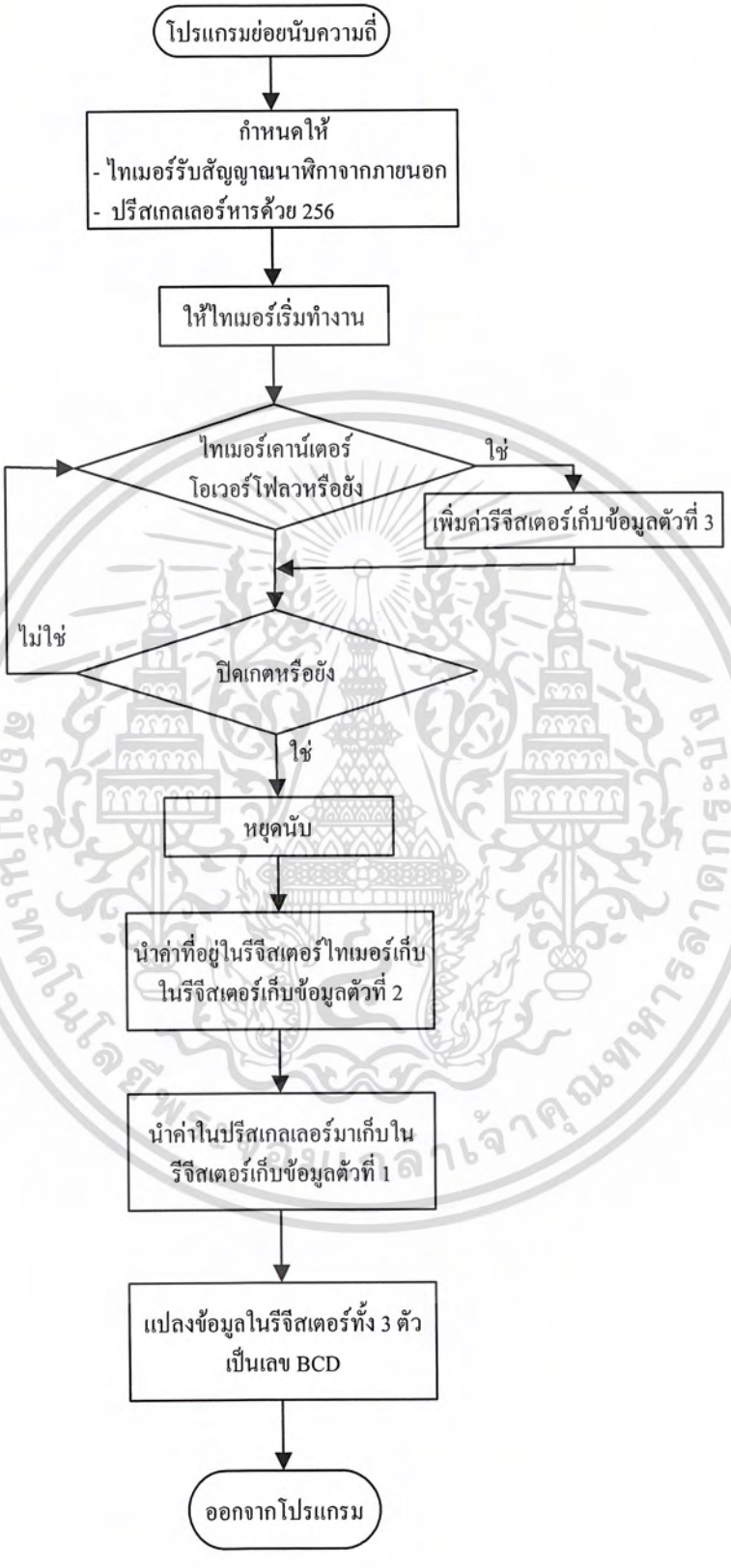
ภาคผนวก ง
แผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 ผังการทำงานของโปรแกรมวงจรนับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรมวงจรนับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมการทำงานของวงจรนับความถี่

```
;*****************************************************************
;                          FREQUENCY COUNTER
;*****************************************************************
;watchdog disabled
;     list  P=16F84A
;=================================================================
;       Configuration Bits
;=================================================================
_CP_ON          EQU     H'000F'
_CP_OFF         EQU     H'3FFF'
_PWRTE_ON       EQU     H'3FF7'
_PWRTE_OFF      EQU     H'3FFF'
_WDT_ON         EQU     H'3FFF'
_WDT_OFF        EQU     H'3FFB'
_LP_OSC         EQU     H'3FFC'
_XT_OSC         EQU     H'3FFD'
_HS_OSC         EQU     H'3FFE'
_RC_OSC         EQU     H'3FFF'
;-----------------------------------------------------------------

ind             equ   0h
rtcc            equ   1h
pc              equ   2h
status          equ   3h
fsr             equ   4h
port_a          equ   5h
port_b          equ   6h
rp0             equ 5h
c               equ   0h
dc              equ   1h
z               equ   2h
pd              equ   3h
to              equ   4h
MSB             equ   7h
LSB             equ   0h

cnt             equ   2h
rs              equ   2h
rw              equ   1h
e               equ   0h
o               equ   7h
;
count1          equ   2ch
count2          equ   2dh
in_reg          equ   2eh
addcnt          equ   2fh
gate            equ   0Ch
cnt1            equ   0Dh
cnt2            equ   0Eh
cnt3            equ   0Fh
calc1           equ   10h
calc2           equ   11h
calc3           equ   12h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
sum1        equ   13h
sum2        equ   14h
sum3        equ   15h
rtcc2       equ   16h
;-----------------------------------------------
;we have to set the configuration bits
;     __config a & b & c
;       _rc_osc, _xt_osc, _hs_osc, _lp_osc oscillator type
;       _wdt_on, _wdt_off watchdog timer
;       _cp_on, _cp_off code protect
;       _pwrte_on, _pwrte_off power up timer enable

      __CONFIG    _XT_OSC & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _CP_OFF

;-----------------------------------------------
      org   0
      goto  start


int_del     movlw 0x05        ;delay 5.000 ms (4 MHz clock)
      movwf count1
d1    movlw 0xA5
      movwf count2
d2    decfsz      count2      ,f
      goto  d2
      decfsz      count1      ,f
      goto  d1
      retlw 0x00

lcd_out     movwf port_b            ;load data into port_b
      bsf   status,rp0
      movlw b'00000000' ;define port_b as output
      movwf port_b
      bcf   status,rp0

      bsf   port_a,rs   ;rs = data
      bcf   port_a,rw   ;r/w = write
      bsf   port_a,e    ;toggle enable
      bcf   port_a,e


      bsf   status,rp0
      movlw b'11111111' ;define port_b as input
      movwf port_b
      bcf   status,rp0

      bcf   port_a,rs   ;rs = instruction
      bsf   port_a,rw   ;r/w = read
      bsf   port_a,e    ;enable high
      movf  port_b,w    ;get address counter
      movwf addcnt
      bsf   addcnt,7
      bcf   port_a,e    ;enable low
out1  bsf   port_a,e    ;enable high
      btfss port_b,7    ;test busy flag
      goto  out2
      bcf   port_a,e    ;enable low
      goto  out1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
out2  bcf   port_a,e     ;enable low
      goto  shift

      bsf   status,rp0
      movlw b'00000000' ;define port_b as output
      movwf port_b
      bcf   status,rp0

      bcf   port_a,rs    ;rs = instruction
      bcf   port_a,rw    ;r/w = write
      bsf   port_a,e     ;toggle enable
      bcf   port_a,e

      bsf   status,rp0
      movlw b'11111111' ;define port_b as input
      movwf port_b
      bcf   status,rp0

      bsf   port_a,rw    ;r/w = read
inst1 bsf   port_a,e     ;enable high
      btfss port_b,7     ;test busy flag
      goto  inst2
      bcf   port_a,e     ;enable low
      goto  inst1
inst2 bcf   port_a,e     ;enable low
      retlw 0x00
;
;-----------------------------------
; LCD 16x1

shift btfss addcnt,0          ;shift to opposite side of display?
      retlw 0x00
      btfss addcnt,1
      retlw 0x00
      btfss addcnt,2
      retlw 0x00

      movlw 0xc0
      movf  addcnt,w
      movlw 0xc0
      goto  inst
;-----------------------------------
sub   bcf   status,o     ;clear overflow bit
      movf  calc1,w           ;subtract calc1 from cnt1
      subwf cnt1  ,f
      btfsc status,c
      goto  sb1
      movlw 0x01         ;borrow from cnt2 if overflow
      subwf cnt2  ,f
      btfsc status,c
      goto  sb1
      subwf cnt3  ,f          ;borrow from cnt3 if cnt2 overflow
      btfss status,c
      bsf   status,o     ;set overflow bit if result is negative
sb1   movf  calc2,w           ;subtract calc2 from cnt2
      subwf cnt2  ,f
      btfsc status,c
      goto  sb2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      movlw 0x01          ;borrow from cnt3 if cnt2 overflow
      subwf cnt3  ,f
      btfss status,c
      bsf   status,o      ;set overflow bit if result is negative
sb2   movf  calc3,w             ;subtract calc3 from cnt3
      subwf cnt3  ,f
      btfss status,c
      bsf   status,o      ;set overflow bit if result is negative
      retlw 0x00
;-----------------------------------
add   movf  calc1,w             ;add calc1 to cnt1
      addwf cnt1  ,f
      btfss status,c
      goto  ad1
      incfsz      cnt2  ,f          ;add to cnt2 if cnt1 overflow
      goto  ad1
      incf  cnt3  ,f          ;add to cnt3 if cnt2 overflow
ad1   movf  calc2,w           ;add calc2 to cnt2
      addwf cnt2  ,f
      btfsc status,c
      incf  cnt3  ,f          ;add to cnt3 if cnt2 overflow
      movf  calc3,w           ;add calc3 to cnt3
      addwf cnt3  ,f
      retlw 0x00
;-----------------------------------
cnvt  movlw 0x07          ;7 digits in display
      movwf count1
      movlw 0x19          ;set fsr for MSB in display
      movwf fsr
      movlw 0x2F          ;one less that ASCII "0"
cnvt0 movwf ind
      incf  fsr   ,f
      decfsz      count1      ,f
      goto  cnvt0
      movlw 0x0F          ;load "1,000,000" in calc1-3
      movwf calc3
      movlw 0x42
      movwf calc2
      movlw 0x40
      movwf calc1
cnvt1 call  sub           ;subtract number from count
      incf  19    ,f          ;increment 1,000,000's register
      movlw 0x3A
      xorwf 19,w
      btfsc status,z
      goto  overflow
      btfss status,o      ;check if overflow
      goto  cnvt1
      call  add           ;add back last number
      movlw 0x01          ;load "100,000" in calc1-3
      movwf calc3
      movlw 0x86
      movwf calc2
      movlw 0xA0
      movwf calc1
cnvt2 call  sub           ;subtract number from count
      incf  1A    ,f          ;increment 100,000's register
      btfss status,o      ;check if overflow
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      goto  cnvt2
      call  add          ;add back last number
      clrf  calc3        ;load "10,000" in calc1-3
      movlw 0x27
      movwf calc2
      movlw 0x10
      movwf calc1
cnvt3 call  sub          ;subtract number from count
      incf  1B    ,f           ;increment 10,000's register
      btfss status,o     ;check if overflow
      goto  cnvt3
      call  add          ;add back last number
      movlw 0x03         ;load "1,000" in calc1-3
      movwf calc2
      movlw 0xE8
      movwf calc1
cnvt4 call  sub          ;subtract number from count
      incf  1C    ,f           ;increment 1,000's register
      btfss status,o     ;check if overflow
      goto  cnvt4
      call  add          ;add back last number
      clrf  calc2        ;load "100" in calc1-3
      movlw 0x64
      movwf calc1
cnvt5 call  sub          ;subtract number from count
      incf  1D    ,f           ;increment 100's register
      btfss status,o     ;check if overflow
      goto  cnvt5
      call  add          ;add back number
      movlw 0x0A         ;load "10" in calc1-3
      movwf calc1
cnvt6 call  sub          ;subtract number from count
      incf  1E    ,f           ;increment 10's register
      btfss status,o     ;check if overflow
      goto  cnvt6
      call  add          ;add back last number
      movf  cnt1,w             ;put remainder in 1's register
      addwf 1F    ,f
      incf  1F    ,f
      retlw 0x00
;-----------------------------------
;count      movlw b'00110111' ;rtcc = ext, 1/256
;     option

count bsf   status,rp0
      movlw b'00110111' ;rtcc = ext, 1/256
      movwf rtcc
      bcf   status,rp0

      bsf   status,rp0
      movlw b'00010000' ;define port_a as output
      movwf port_a
      bcf   status,rp0

      bcf   port_a,3
      bcf   port_a,2
      clrf  cnt3
      clrf  rtcc
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      clrf  rtcc2
      bsf   port_a,2    ;toggle rtcc pin
      bcf   port_a,2
      movf  gate,w            ;get gate time
      movwf count1
      bsf   port_a,3    ;start count
fr4   movlw 0xFA
      movwf count2
      goto  fr6
fr5   nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
fr6   movf  rtcc,w            ;test for rtcc rollover (12)
      subwf rtcc2 ,f
      btfss status,z
      goto  fr7
      nop
      goto  fr8
fr7   btfsc status,c
      incf  cnt3  ,f
fr8   movwf rtcc2
      nop
      nop
      nop
      decfsz      count2      ,f
      goto  fr5
      decfsz      count1      ,f
      goto  fr4
      bcf   port_a,3    ;stop count
      movf  rtcc,w            ;get rtcc count
      movwf cnt2
      subwf rtcc2 ,f          ;test for rtcc rollover
      btfss status,c
      goto  fr9
      btfss status,z
      incf  cnt3  ,f
fr9   clrf  cnt1        ;set to get prescaler count
fr10  decf  cnt1  ,f
      bsf   port_a,2    ;toggle rtcc pin
      bcf   port_a,2
      movf  rtcc,w            ;test if rtcc has changed
      xorwf cnt2,w
      btfsc status,z
      goto  fr10
      retlw 0x00

;*****************************************************************
;                              START
;*****************************************************************
start clrf  port_a            ;instruction, write, enable low
      bsf   status,rp0
      movlw b'00010000'
      movwf port_a
      bcf   status,rp0
      clrf  port_b
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      bsf   status,rp0
      movlw b'00000000'
      movwf port_b
      bcf   status,rp0
      call  int_del
      call  int_del
      call  int_del
      movlw 0x38          ;initialize display
      movwf port_b
      bsf   port_a,e      ;toggle enable
      call  int_del
      bcf   port_a,e
      bsf   port_a,e      ;toggle enable
      call  int_del
      bcf   port_a,e
      bsf   port_a,e      ;toggle enable
      call  int_del
      bcf   port_a,e
      movlw 0x38          ;function
      call  inst
      movlw b'00001100' ;display on, cursor off
      call  inst
      movlw b'00000001' ;clear display
      call  inst
      movlw b'00000110' ;entry mode
      call  inst
;-------------------------------------
mhz   movlw 0x14          ;0.1 sec gate
      movwf gate
      call  count
      call  cnvt          ;convert binary to BCD
      movlw 0x30          ;test if "0"
      xorwf 19,w
      btfss status,z
      goto  mhz1
      movlw 0x30          ;test if "0"
      xorwf 1A,w
      btfsc status,z
      goto  khz1
mhz1  movlw 0x82          ;set display address
      call  inst
      movlw 0x02          ;output first 2 characters
      movwf count1
      movlw 0x19          ;MSD of freq
      movwf fsr
mhz2  movlw 0x30          ;test if "0"
      xorwf ind,w
      btfss status,z
      goto  mhz3
      movlw 0x20          ;change preceeding "0's" to "space"
      call  lcd_out
      incf  fsr   ,f
      decfsz      count1      ,f
      goto  mhz2
      goto  mhz4
mhz3  movf  ind,w
      call  lcd_out
      incf  fsr   ,f
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      decfsz      count1      ,f
      goto  mhz3
mhz4  movlw 0x2E          ;"."
      call  lcd_out
      movlw 0x05          ;output last 5 characters
      movwf count1
mhz5  movf  ind,w
      call  lcd_out
      incf  fsr   ,f
      decfsz      count1      ,f
      goto  mhz5
      movlw 0x20          ;"space"
      call  lcd_out
      movlw 0x4D          ;"M"
      call  lcd_out
      movlw 0x48          ;"H"
      call  lcd_out
      movlw 0x7A          ;"z"
      call  lcd_out
      movlw 0x20          ;"space"
      call  lcd_out
      movlw 0x20          ;"space"
      call  lcd_out
      goto  mhz
;-----------------------------------
khz   movlw 0x14          ;0.1 sec gate
      movwf gate
      call  count
      call  cnvt          ;convert binary to BCD
      movlw 0x30          ;test if 0
      xorwf 19,w
      btfss status,z
      goto  mhz1
      movlw 0x32          ;test if < 2
      subwf 1A,w
      btfsc status,c
      goto  mhz1
      movlw 0x30          ;test if "0"
      xorwf 1A,w
      btfss status,z
      goto  khz1
      movlw 0x30          ;test if "0"
      xorwf 1B,w
      btfsc status,z
      goto  xkhz
khz1  movlw 0x82          ;set display address
      call  inst
      movlw 0x05          ;output first 5 characters
      movwf count1
      movlw 0x19          ;MSD of freq
      movwf fsr
khz2  movlw 0x30          ;test if "0"
      xorwf ind,w
      btfss status,z
      goto  khz3
      movlw 0x20          ;change preceeding "0's" to "space"
      call  lcd_out
      incf  fsr   ,f
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      decfsz      count1      ,f
      goto  khz2
      goto  khz4
khz3  movf  ind,w
      call  lcd_out
      incf  fsr   ,f
      decfsz      count1      ,f
      goto  khz3
khz4  movlw 0x2E          ;"."
      call  lcd_out
      movf  ind,w         ;output last 2 characters
      call  lcd_out
      incf  fsr   ,f
      movf  ind,w
      call  lcd_out
      movlw 0x20          ;"space"
      call  lcd_out
      movlw 0x4B          ;"K"
      call  lcd_out
      movlw 0x48          ;"H"
      call  lcd_out
      movlw 0x7A          ;"z"
      call  lcd_out
      movlw 0x20          ;"space"
      call  lcd_out
      movlw 0x20          ;"space"
      call  lcd_out
      goto  khz
;-------------------------------
xkhz  movlw 0xC8          ;1 sec gate
      movwf gate
      call  count
      call  cnvt          ;convert binary to BCD
      movlw 0x30          ;test if 0
      xorwf 19,w
      btfss status,z
      goto  khz
      movlw 0x32          ;test if < 2
      subwf 1A,w
      btfsc status,c
      goto  khz
      movlw 0x30          ;test if 0
      xorwf 1A,w
      btfss status,z
      goto  xkhz1
      movlw 0x30          ;test if 0
      xorwf 1B,w
      btfsc status,z
      goto  hz0
xkhz1 movlw 0x82          ;set display address
      call  inst
      movlw 0x04          ;output first 4 characters
      movwf count1
      movlw 0x19          ;MSD of freq
      movwf fsr
xkhz2 movlw 0x30          ;test if "0"
      xorwf ind,w
      btfss status,z
```

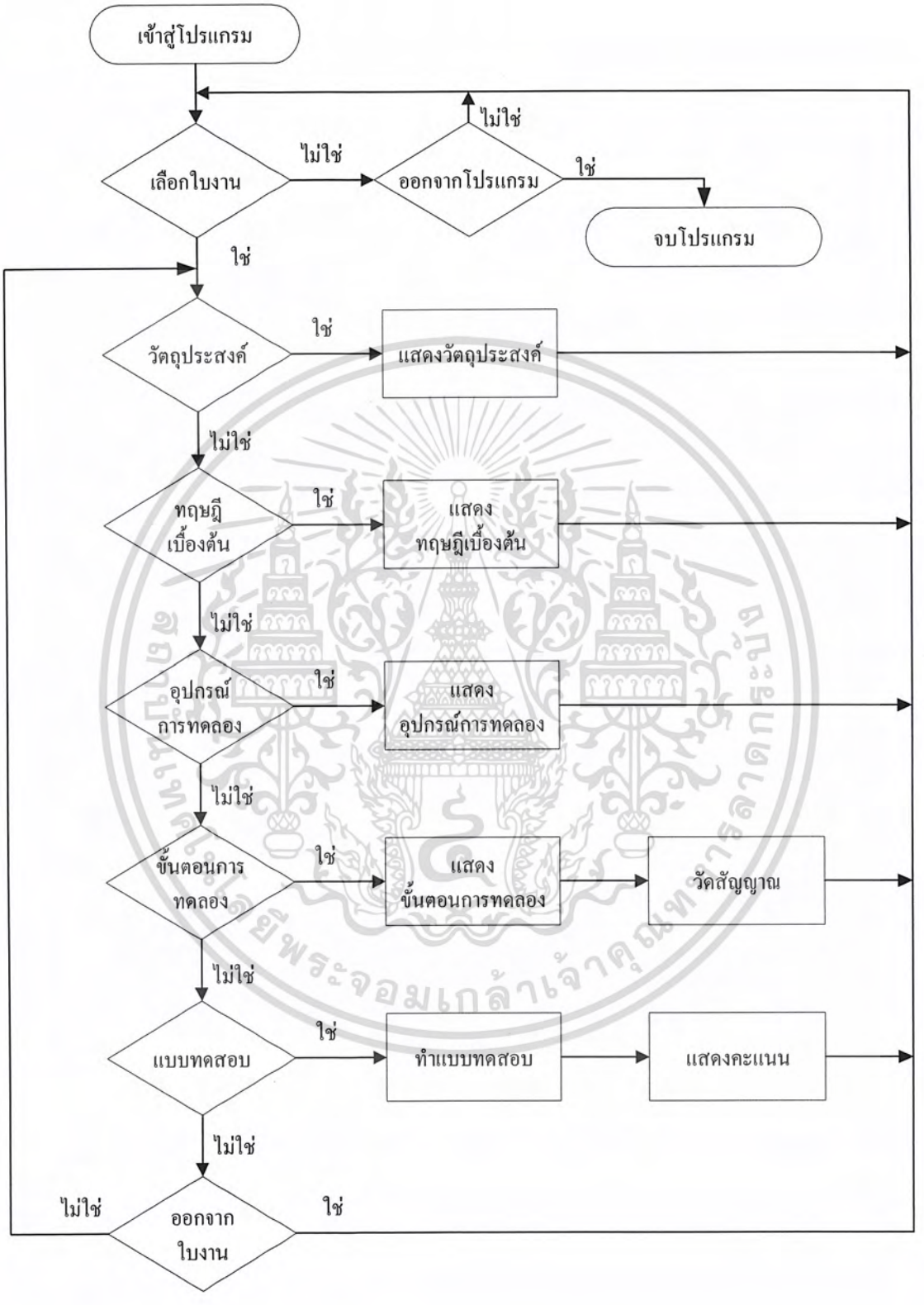
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      goto  xkhz3
      movlw 0x20        ;change preceeding "0's" to "space"
      call  lcd_out
      incf  fsr   ,f
      decfsz      count1      ,f
      goto  xkhz2
      goto  xkhz4
xkhz3 movf  ind,w
      call  lcd_out
      incf  fsr   ,f
      decfsz      count1      ,f
      goto  xkhz3
xkhz4 movlw 0x2E        ;"."
      call  lcd_out
      movf  ind,w       ;output last 3 characters
      call  lcd_out
      incf  fsr   ,f
      movf  ind,w
      call  lcd_out
      incf  fsr   ,f
      movf  ind,w
      call  lcd_out
      movlw 0x20        ;"space"
      call  lcd_out
      movlw 0x4B        ;"K"
      call  lcd_out
      movlw 0x48        ;"H"
      call  lcd_out
      movlw 0x7A        ;"z"
      call  lcd_out
      movlw 0x20        ;"space"
      call  lcd_out
      movlw 0x20        ;"space"
      call  lcd_out
      goto  xkhz
;-----------------------------------
hz    movlw 0xC8        ;1 sec gate
      movwf gate
      call  count
      call  cnvt        ;convert binary to BCD
      movlw 0x30        ;test if "0"
      xorwf 19,w
      btfss status,z
      goto  xkhz1
      movlw 0x30        ;test if "0"
      xorwf 1A,w
      btfss status,z
      goto  xkhz1
      movlw 0x32        ;test if < 2
      subwf 1B,w
      btfsc status,c
      goto  xkhz1
hz0   movlw 0x82        ;set display address
      call  inst
      movlw 0x07        ;output first 7 characters
      movwf count1
      movlw 0x19        ;MSD of freq
      movwf fsr
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

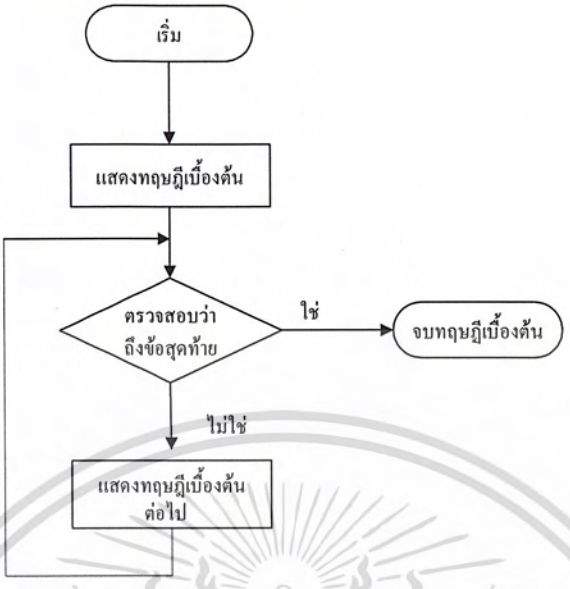
```
hz1   movlw 0x30        ;test if "0"
      xorwf ind,w
      btfss status,z
      goto  hz2
      movlw 0x20        ;change preceeding "0's" to "space"
      call  lcd_out
      incf  fsr   ,f
      decfsz      count1      ,f
      goto  hz1
      goto  hz3
hz2   movf  ind,w
      call  lcd_out
      incf  fsr   ,f
      decfsz      count1      ,f
      goto  hz2
hz3   movlw 0x20        ;"space"
      call  lcd_out
      movlw 0x48        ;"H"
      call  lcd_out
      movlw 0x7A        ;"z"
      call  lcd_out
      movlw 0x20        ;"space"
      call  lcd_out
      movlw 0x20        ;"space"
      call  lcd_out
      movlw 0x20        ;"space"
      call  lcd_out
      movlw 0x20        ;"space"
      call  lcd_out
      goto  hz
;-----------------------------------
overflow    movlw 0x01        ;clear display
      call  inst
      movlw 0x84        ;display address
      call  inst
      movlw 0x4F        ;"O"
      call  lcd_out
      movlw 0x76        ;"v"
      call  lcd_out
      movlw 0x65        ;"e"
      call  lcd_out
      movlw 0x72        ;"r"
      call  lcd_out
      movlw 0x66        ;"f"
      call  lcd_out
      movlw 0x6C        ;"l"
      call  lcd_out
      movlw 0x6F        ;"o"
      call  lcd_out
      movlw 0x77        ;"w"
      call  lcd_out
      movlw 0x02        ;cursor at home
      call  inst
      goto  mhz
;-----------------------------------
      end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

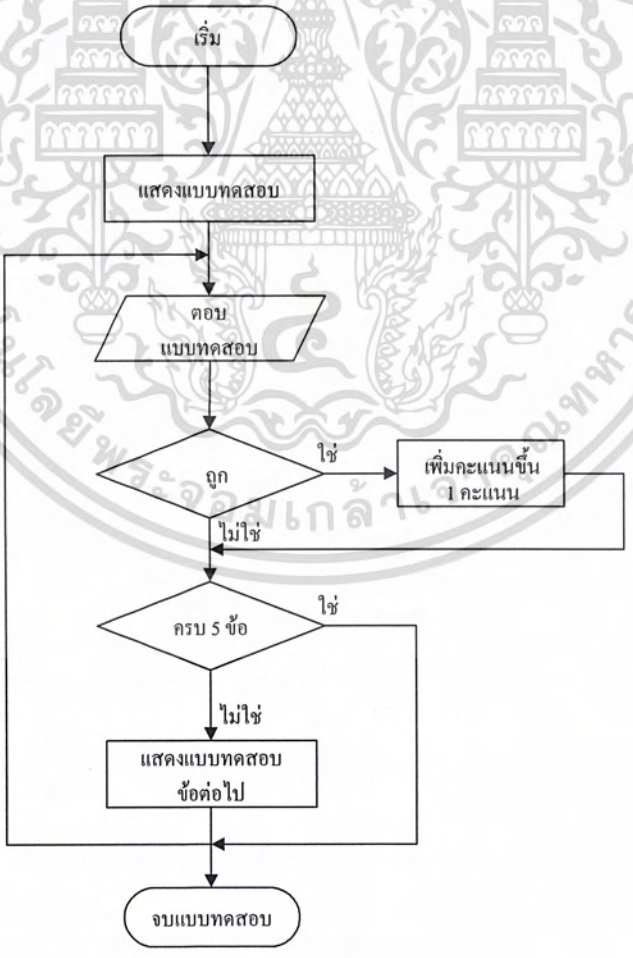


รูปที่ ง.2 แผนผังการทำงานของชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.3 แผนผังการทำงานของทฤษฎีเบื้องต้น



รูปที่ ง.4 แผนผังการทำงานของแบบทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมการทำงานของชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

```
Begin VB.Form formboy
   BackColor       =   &H00E0E0E0&
   BorderStyle     =   1  'Fixed Single
   Caption         =   "Digital oscilloscope"
   ClientHeight    =   4260
   ClientLeft      =   45
   ClientTop       =   330
   ClientWidth     =   7380
   LinkTopic       =   "Form1"
   MaxButton       =   0   'False
   MinButton       =   0   'False
   PaletteMode     =   2  'Custom
   ScaleHeight     =   4260
   ScaleMode       =   0  'User
   ScaleWidth      =   7380
   StartUpPosition =   2  'CenterScreen
   Begin VB.CommandButton Command11
      Height          =   435
      Left            =   5700
      Picture         =   "boy2.frx":0000
      Style           =   1  'Graphical
      TabIndex        =   62
      Top             =   4590
      Width           =   375
   End
   Begin VB.CommandButton Command10
      Caption         =   "Stop"
      Height          =   375
      Left            =   6330
      TabIndex        =   61
      Top             =   4500
      Width           =   975
   End
   Begin VB.Frame fmMeasure
      Caption         =   "Measure"
      Height          =   585
      Left            =   150
      TabIndex        =   54
      Top             =   4740
      Width           =   4965
      Begin VB.TextBox txtVPP
         Alignment       =   1  'Right Justify
         Height          =   285
         Left            =   420
         TabIndex        =   57
         Top             =   210
         Width           =   915
      End
      Begin VB.TextBox txtFreq
         Alignment       =   1  'Right Justify
         Height          =   285
         Left            =   1890
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      TabIndex        =   56
      Top             =   210
      Width           =   915
   End
   Begin VB.TextBox txtPeriod
      Alignment       =   1  'Right Justify
      Height          =   285
      Left            =   3300
      TabIndex        =   55
      Top             =   210
      Width           =   915
   End
   Begin VB.Label Label15
      Caption         =   "Vp-p"
      Height          =   225
      Left            =   1380
      TabIndex        =   60
      Top             =   240
      Width           =   435
   End
   Begin VB.Label Label14
      Caption         =   "Hz"
      Height          =   255
      Left            =   2850
      TabIndex        =   59
      Top             =   240
      Width           =   345
   End
   Begin VB.Label Label13
      Caption         =   "s"
      Height          =   255
      Left            =   4260
      TabIndex        =   58
      Top             =   240
      Width           =   195
   End
End
Begin VB.Frame fmTime
   BackColor       =   &H00E0E0E0&
   Caption         =   "Time"
   Height          =   1155
   Left            =   5100
   TabIndex        =   46
   Top             =   120
   Width           =   2235
   Begin VB.CommandButton HorPosition
      Height          =   525
      Index           =   0
      Left            =   60
      Picture         =   "boy2.frx":0CCA
      Style           =   1  'Graphical
      TabIndex        =   51
      Top             =   240
      Width           =   525
   End
   Begin VB.CommandButton HorPosition
      Height          =   525
      Index           =   1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      Left            =   600
      Picture         =   "boy2.frx":110C
      Style           =   1  'Graphical
      TabIndex        =   50
      Top             =   240
      Width           =   525
   End
   Begin VB.CommandButton TimeScale
      Height          =   345
      Index           =   0
      Left            =   1290
      Picture         =   "boy2.frx":154E
      Style           =   1  'Graphical
      TabIndex        =   49
      Top             =   720
      Width           =   375
   End
   Begin VB.CommandButton TimeScale
      Height          =   345
      Index           =   1
      Left            =   1680
      Picture         =   "boy2.frx":1698
      Style           =   1  'Graphical
      TabIndex        =   48
      Top             =   720
      Width           =   375
   End
   Begin VB.TextBox txtTimeScale
      Height          =   285
      Left            =   1230
      TabIndex        =   47
      Top             =   180
      Width           =   885
   End
   Begin VB.Label Label12
      Alignment       =   1  'Right Justify
      BackColor       =   &H00E0E0E0&
      Caption         =   "sec/DIV"
      Height          =   255
      Left            =   1260
      TabIndex        =   53
      Top             =   480
      Width           =   765
   End
   Begin VB.Label Label11
      Alignment       =   2  'Center
      BackColor       =   &H00E0E0E0&
      Caption         =   "Position"
      Height          =   195
      Left            =   270
      TabIndex        =   52
      Top             =   840
      Width           =   675
   End
End
Begin VB.Frame Frame4
   BackColor       =   &H00E0E0E0&
   Caption         =   "CH2"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   Height            =    2835
   Left              =    6270
   TabIndex          =    37
   Top               =    1320
   Width             =    1065
   Begin VB.TextBox txtScale
      Height            =    285
      Index             =    1
      Left              =    90
      TabIndex          =    43
      Top               =    1920
      Width             =    855
   End
   Begin VB.CommandButton CH1Scale
      Height            =    315
      Index             =    3
      Left              =    540
      Picture           =    "boy2.frx":17E2
      Style             =    1  'Graphical
      TabIndex          =    42
      Top               =    2430
      Width             =    345
   End
   Begin VB.CommandButton CH1Scale
      Height            =    315
      Index             =    2
      Left              =    180
      Picture           =    "boy2.frx":192C
      Style             =    1  'Graphical
      TabIndex          =    41
      Top               =    2430
      Width             =    345
   End
   Begin VB.CommandButton CH2VerPosition
      Height            =    525
      Index             =    1
      Left              =    300
      Picture           =    "boy2.frx":1A76
      Style             =    1  'Graphical
      TabIndex          =    40
      Top               =    780
      Width             =    525
   End
   Begin VB.CommandButton CH2VerPosition
      Height            =    525
      Index             =    0
      Left              =    300
      Picture           =    "boy2.frx":1EB8
      Style             =    1  'Graphical
      TabIndex          =    39
      Top               =    270
      Width             =    525
   End
   Begin VB.CommandButton cmdCH
      Caption           =    "CH2"
      Height            =    285
      Index             =    1
      Left              =    180
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      TabIndex        =   38
      Top             =   1590
      Width           =   675
   End
   Begin VB.Label Label3
      Alignment       =   2  'Center
      BackColor       =   &H00E0E0E0&
      Caption         =   "Position"
      Height          =   195
      Left            =   180
      TabIndex        =   45
      Top             =   1350
      Width           =   675
   End
   Begin VB.Label lblUnit
      Alignment       =   2  'Center
      BackColor       =   &H00E0E0E0&
      Caption         =   "V/DIV"
      Height          =   195
      Index           =   1
      Left            =   150
      TabIndex        =   44
      Top             =   2220
      Width           =   735
   End
End
Begin VB.Frame fmCH1
   BackColor       =   &H00E0E0E0&
   Caption         =   "CH1"
   Height          =   2835
   Left            =   5130
   TabIndex        =   28
   Top             =   1320
   Width           =   1065
   Begin VB.CommandButton cmdCH
      Caption         =   "CH1"
      Height          =   285
      Index           =   0
      Left            =   180
      TabIndex        =   34
      Top             =   1590
      Width           =   675
   End
   Begin VB.CommandButton CH1VerPosition
      Height          =   525
      Index           =   0
      Left            =   300
      Picture         =   "boy2.frx":22FA
      Style           =   1  'Graphical
      TabIndex        =   33
      Top             =   270
      Width           =   525
   End
   Begin VB.CommandButton CH1VerPosition
      Height          =   525
      Index           =   1
      Left            =   300
      Picture         =   "boy2.frx":273C
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      Style           =   1  'Graphical
      TabIndex        =   32
      Top             =   780
      Width           =   525
   End
   Begin VB.CommandButton CH1Scale
      Height          =   315
      Index           =   0
      Left            =   180
      Picture         =   "boy2.frx":2B7E
      Style           =   1  'Graphical
      TabIndex        =   31
      Top             =   2430
      Width           =   345
   End
   Begin VB.CommandButton CH1Scale
      Height          =   315
      Index           =   1
      Left            =   540
      Picture         =   "boy2.frx":2CC8
      Style           =   1  'Graphical
      TabIndex        =   30
      Top             =   2430
      Width           =   345
   End
   Begin VB.TextBox txtScale
      Height          =   285
      Index           =   0
      Left            =   90
      TabIndex        =   29
      Top             =   1920
      Width           =   855
   End
   Begin VB.Label lblUnit
      Alignment       =   2  'Center
      BackColor       =   &H00E0E0E0&
      Caption         =   "V/DIV"
      Height          =   195
      Index           =   0
      Left            =   150
      TabIndex        =   36
      Top             =   2220
      Width           =   735
   End
   Begin VB.Label Label4
      Alignment       =   2  'Center
      BackColor       =   &H00E0E0E0&
      Caption         =   "Position"
      Height          =   195
      Left            =   180
      TabIndex        =   35
      Top             =   1350
      Width           =   675
   End
End
Begin VB.PictureBox pic1
   Appearance      =   0  'Flat
   BackColor       =   &H80000005&
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ForeColor       =   &H80000008&
    Height          =   4000
    Left            =   60
    MousePointer    =   2  'Cross
    ScaleHeight     =   3975
    ScaleWidth      =   4965
    TabIndex        =   27
    ToolTipText     =   "Osciloscope"
    Top             =   180
    Width           =   5000
End
Begin VB.Frame Frame2
    BackColor       =   &H00E0E0E0&
    Caption         =   "Frame2"
    Height          =   1125
    Left            =   150
    TabIndex        =   21
    Top             =   6540
    Width           =   2325
    Begin VB.ComboBox Combo3
       Height          =   315
       Left            =   810
       TabIndex        =   24
       Text            =   "Combo3"
       Top             =   600
       Width           =   975
    End
    Begin VB.CommandButton Command13
       Height          =   255
       Left            =   60
       Picture         =   "boy2.frx":2E12
       Style           =   1  'Graphical
       TabIndex        =   23
       Top             =   600
       Width           =   255
    End
    Begin VB.CommandButton Command12
       Height          =   255
       Left            =   330
       Picture         =   "boy2.frx":2F5C
       Style           =   1  'Graphical
       TabIndex        =   22
       Top             =   600
       Width           =   255
    End
    Begin VB.Label Label10
       BackColor       =   &H00E0E0E0&
       Caption         =   "Time/Div"
       Height          =   255
       Left            =   840
       TabIndex        =   26
       Top             =   300
       Width           =   855
    End
    Begin VB.Label Label9
       BackColor       =   &H00E0E0E0&
       Caption         =   "  X-POS"
       Height          =   195
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      Left            =   30
      TabIndex        =   25
      Top             =   390
      Width           =   615
   End
End
Begin VB.CommandButton Command6
   Caption         =   "Close"
   Height          =   330
   Left            =   2700
   TabIndex        =   13
   Top             =   7200
   Width           =   1095
End
Begin VB.CommandButton Command5
   Caption         =   "Save"
   Height          =   330
   Left            =   2700
   TabIndex        =   10
   Top             =   6750
   Width           =   1095
End
Begin VB.Frame Frame1
   BackColor       =   &H00E0E0E0&
   Caption         =   "CH2"
   Height          =   1125
   Left            =   2490
   TabIndex        =   2
   Top             =   5400
   Width           =   2325
   Begin VB.ComboBox Combo2
      Height          =   315
      Left            =   960
      TabIndex        =   9
      Text            =   "Combo2"
      Top             =   330
      Width           =   1335
   End
   Begin VB.CommandButton Command3
      Caption         =   "CH2"
      Height          =   255
      Left            =   120
      TabIndex        =   6
      Top             =   600
      Width           =   735
   End
   Begin VB.CommandButton Command1
      Caption         =   "CH2"
      Height          =   375
      Left            =   120
      TabIndex        =   4
      Top             =   3120
      Width           =   615
   End
   Begin VB.Label Label6
      Caption         =   "Y-POS"
      Height          =   255
      Left            =   240
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      TabIndex        =   12
      Top             =   240
      Width           =   615
   End
   Begin VB.Label Label2
      Caption         =   "Volt/Div"
      Height          =   255
      Left            =   1140
      TabIndex        =   7
      Top             =   150
      Width           =   735
   End
End
Begin VB.Frame Frame3
   BackColor       =   &H00E0E0E0&
   Caption         =   "CH1"
   Height          =   1095
   Left            =   150
   TabIndex        =   0
   Top             =   5400
   Width           =   2295
   Begin VB.CommandButton Command9
      Height          =   255
      Left            =   780
      Picture         =   "boy2.frx":30A6
      Style           =   1  'Graphical
      TabIndex        =   20
      Top             =   420
      Width           =   255
   End
   Begin VB.CommandButton Command7
      BackColor       =   &H00E0E0E0&
      Caption         =   "GND"
      Height          =   255
      Left            =   90
      Style           =   1  'Graphical
      TabIndex        =   19
      Top             =   750
      Width           =   495
   End
   Begin VB.OptionButton Option1
      BackColor       =   &H00E0E0E0&
      Caption         =   "Option1"
      Height          =   225
      Index           =   1
      Left            =   60
      TabIndex        =   16
      Top             =   480
      Width           =   225
   End
   Begin VB.OptionButton Option1
      BackColor       =   &H00E0E0E0&
      Caption         =   "Option1"
      Height          =   225
      Index           =   0
      Left            =   60
      TabIndex        =   15
      Top             =   240
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   Width           =   225
End
Begin VB.CommandButton Command8
   Height          =   255
   Left            =   780
   Picture         =   "boy2.frx":31F0
   Style           =   1  'Graphical
   TabIndex        =   14
   Top             =   720
   Width           =   255
End
Begin VB.ComboBox Combo1
   Height          =   315
   Left            =   1290
   TabIndex        =   8
   Text            =   "Combo1"
   Top             =   390
   Width           =   795
End
Begin VB.CommandButton Command2
   BackColor       =   &H00E0E0E0&
   Caption         =   "OFF"
   Height          =   255
   Left            =   1710
   Style           =   1  'Graphical
   TabIndex        =   5
   Top             =   780
   Width           =   495
End
Begin VB.CommandButton Command4
   Caption         =   "CH1"
   Height          =   375
   Left            =   120
   TabIndex        =   1
   Top             =   3120
   Width           =   615
End
Begin VB.Label Label8
   BackColor       =   &H00E0E0E0&
   Caption         =   "DC"
   Height          =   225
   Left            =   330
   TabIndex        =   18
   Top             =   480
   Width           =   315
End
Begin VB.Label Label7
   BackColor       =   &H00E0E0E0&
   Caption         =   "AC"
   Height          =   225
   Left            =   330
   TabIndex        =   17
   Top             =   240
   Width           =   285
End
Begin VB.Label Label5
   BackColor       =   &H00E0E0E0&
   Caption         =   "Position"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
         Height          =   195
         Left            =   660
         TabIndex        =   11
         Top             =   150
         Width           =   495
      End
      Begin VB.Label Label1
         BackColor       =   &H00E0E0E0&
         Caption         =   "Volt/Div"
         Height          =   255
         Left            =   1350
         TabIndex        =   3
         Top             =   150
         Width           =   735
      End
   End
   Begin VB.Shape Shape1
      BackColor       =   &H000000FF&
      BackStyle       =   1  'Opaque
      Height          =   225
      Left            =   5370
      Top             =   4620
      Width           =   225
   End
End
Attribute VB_Name = "formboy"
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_PredeclaredId = True
Attribute VB_Exposed = False
Option Explicit
Const MinX = -500
Const MaxX = 500
Const MinY = -400
Const MaxY = 400

Const TimerPeriod = 0.005    ' update rate of the display in seconds
Const nBlockSize = 1000      ' number of samples generated every
TimerPeriod seconds
Const SamplePeriod = TimerPeriod / nBlockSize
Const nNumSamples = nBlockSize * 10 ' number of samples in the
display
Const History = nNumSamples * SamplePeriod

Const pi = 3.1415

Dim y(nNumSamples - 1)
Dim NewData(nBlockSize - 1)As Double
Dim nInsertpos As Long, nPhase As Long
Dim go As Boolean
Dim K As Long
Dim j As Long
Dim vindex As Single
Dim DCREF1 As Single
Dim DCREF2 As Single
Dim Amp As Single

Private Sub CH1Scale_Click(Index As Integer)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 If Index = 0 Then vindex = vindex - 1
 If Index = 1 Then vindex = vindex + 1
 If vindex > 7 Then vindex = 7
 If vindex < 0 Then vindex = 0
 Select Case vindex
 Case 0
    Amp = Amp / 0.02
 Case 1
    Amp = Amp / 0.05
 Case 2
    Amp = Amp / 0.1
 Case 3
    Amp = Amp / 0.2
 Case 4
    Amp = Amp / 0.5
 Case 5
    Amp = Amp / 1
 Case 6
    Amp = Amp / 2
 Case 7
    Amp = Amp / 5
End Select
End Sub
Private Sub CH1VerPosition_Click(Index As Integer)
    If Index = 0 Then DCREF1 = DCREF1 + 1
    If Index = 1 Then DCREF1 = DCREF1 - 1
        Draw_Scale
        pic1.Line (MinX, DCREF1 * 25)-(MaxX, DCREF1 * 25), QBColor(9)
 End Sub
 Private Sub CH2VerPosition_Click(Index As Integer)
    If Index = 0 Then DCREF2 = DCREF2 + 1
    If Index = 1 Then DCREF2 = DCREF2 - 1
        Draw_Scale
        pic1.Line (MinX, DCREF2 * 25)-(MaxX, DCREF2 * 25), QBColor(10)
 End Sub

Private Sub cmdCH_Click(Index As Integer)
    pic1.DrawWidth = 1
    If Index = 0 Then
        pic1.Line (MinX, 0)-(MaxX, 0), QBColor(9)
    ElseIf Index = 1 Then
        pic1.Line (MinX, 0)-(MaxX, 0), QBColor(10)
    End If
End Sub

Private Sub Combo1_Change()
Combo1.AddItem "tay"
End Sub

Private Sub Combo3_Change()
Combo3.AddItem "12"
End Sub
Private Sub ScopeGraph_Timer()
    If go Then
        GetNewData
        UpdateChart
    End If
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Command10_Click()
    go = Not go
    If go Then
        Command10.Caption = "Stop"
    Else
       Command10.Caption = "Run"
    End If
End Sub

' this function is called after new data are available
' to update the display with the new data

Private Sub UpdateChart()
    Dim C As Curve

    ' If we are starting from scratch i.e. there are no curves in the
collection yet
    ' add the curve, else update the curve.
    If ScopeGraph.DataCurves.Count = 0 Then
        ScopeGraph.DataCurves.AddParametric "Curve1", 0, SamplePeriod,
y, -1
    Else
        Set C = ScopeGraph.DataCurves.Item(0).Curve
        ' Append new data at the end of the curve
        ' Leave the x-data alone: pass in an empty xarray
        C.PushData Empty, NewData, -1

        If CheckAbsoluteTime.Value = 1 Then
            ' Increase the offset of the x-array
            C.OffsetX = C.OffsetX + TimerPeriod
            ' And shift the visible time window
            ScopeGraph.Axes.XAxis.From = ScopeGraph.Axes.XAxis.From +
TimerPeriod
            ScopeGraph.Axes.XAxis.To = ScopeGraph.Axes.XAxis.To +
TimerPeriod
        End If
    End If

End Sub

' This function is called every TimerPeriod seconds.
' Some measurement process generates a block of new data
' which we append to or insert into our curve

Private Sub GetNewData()
    Dim i As Integer

    'perform a measurement or get the new data some other way
    For i = 0 To nBlockSize - 1

        'NewData(i) = 2*Sin(2*pi * K * 20)+5*(Rnd(1)-0.5)
        'AMP*SIN(2PI*time)+DC

        NewData(i) = Amp * Sin(2*pi * K * 20)+DCREF

        txtScale(0).Text = K
        If j >= 10000 Then
            If Shape1.BackColor = &HFFFFFF Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                Shape1.BackColor = &H0
            Else
                Shape1.BackColor = &HFFFFFF
            End If
            j = 0
        End If
        K = K + 1
        j = j + 1
        'nPhase = nPhase + 1
        'If nPhase = nNumSamples Then nPhase = 0
    Next

End Sub

Private Sub Command2_Click()
pic1.DrawWidth = 2
pic1.Line (0, 400)-(1000, 400), QBColor(9)
End Sub

Private Sub Command3_Click()
pic1.DrawWidth = 2
pic1.Line (0, 400)-(1000, 400), QBColor(10)

End Sub

Private Sub Command6_Click()
Unload Me
End Sub
Private Sub Draw_Scale()
Dim X As Long
Dim y As Long
    pic1.Cls
    pic1.BackColor = vbCyan
    pic1.ForeColor = vbWhite
    pic1.Scale (-525, 425)-(525, -425)
    For X = MinX To MaxX Step 100
        pic1.Line (X, MinY)-(X, MaxY), QBColor(8)
    Next X
    For y = MinY To MaxY Step 100
        pic1.Line (MinX, y)-(MaxX, y), QBColor(8)
    Next y
    pic1.Line (MinX, 0)-(MaxX, 0), QBColor(8)
    pic1.Line (0, MaxY)-(0, MaxY), QBColor(8)

'  plot axies X
    For X = MinX To MaxX Step 25
        pic1.Line (X, 10)-(X, -10), QBColor(8)
    Next X
'  plot axies Y
    For y = MinY To MaxY Step 25
        pic1.Line (-10, y)-(10, y), QBColor(8)
    Next y
    pic1.DrawStyle = 2
    pic1.Line (MinX, 250)-(MaxX, 250), QBColor(8)
    pic1.Line (MinX, -250)-(MaxX, -250), QBColor(8)
    pic1.DrawStyle = 0
End Sub
Private Sub Form_Activate()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Draw_Scale
End Sub

Private Sub Form_Load()
Dim Time(8) As String
Dim Volt(6) As String
Dim i As Integer
Time(1) = "0.05 uS"
Time(2) = "0.1 uS"
Time(3) = "0.5 uS"
Time(4) = "1.0 uS"
Time(5) = "5.0 uS"
Time(6) = "0.01 mS"
Time(7) = "0.05 mS"
Time(8) = "0.5 mS"
For i = 1 To 8
   Combo3.AddItem Time(i)
Next i
Volt(1) = "0.1 V"
Volt(2) = "0.2 V"
Volt(3) = "0.5 V"
Volt(4) = "1.0 V"
Volt(5) = "2.0 V"
Volt(6) = "5.0 V"
For i% = 1 To 6
   Combo2.AddItem Volt(i%)
   Combo1.AddItem Volt(i%)
Next i%
vindex = 4
Amp = 1

    go = True
    nInsertpos = 0
    nPhase = 0

'    GetNewData
 '   UpdateChart
DCREF1 = 0
DCREF2 = 0
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ใบงานการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1
การวัดค่าคงตัวเวลา RC โดยใช้ออสซิลโลสโคป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถบอกช่วงเวลาการเก็บและคายประจุของตัวเก็บประจุในวงจร RC ได้
2. สามารถอธิบายการวัดค่าคงตัวเวลา RC โดยใช้ออสซิลโลสโคปได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

รูปคลื่นของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเมื่อเก็บประจุ หรือคายประจุตามเวลาของค่าคงตัวเวลาในวงจร อาร์ - ซี สามารถจะใช้ออสซิลโลสโคปวัดดูได้ และสามารถอ่านค่าแรงดันชั่วขณะได้ จากรูปคลื่นนั้นอัตราการประจุและคายประจุของคาปาซิสเตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าคงตัวเวลา ระยะเวลาจะได้แรงดันตกคร่อมคาปาซิสเตอร์ประมาณ 63.2% ของแรงดันสูงสุด ที่เวลา t =1 จะได้แรงดันตกคร่อม 86% ของแรงดันสูงสุด ที่เวลา 3t จะได้แรงดันตกคร่อม 95% ของแรงดันสูงสุด ที่เวลา 4t จะได้แรงดันตกคร่อม 98% ของแรงดันสูงสุดที่เวลา = 5t จะได้แรงดันตกคร่อมถึงประมาณ 99.3% ของแรงดันสูงสุด ในทางปฏิบัติจะถือว่าที่ประมาณ 5t คาปาซิสเตอร์จะสามารถประจุได้แรงดันตกคร่อมสูงสุด

ระดับของกระแสและแรงดันในวงจร สมการของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในวงจร RC นั้น เขียนอยู่ในเทอมของสมการเอกซ์โพเนนเชียล ดังสมการ 1.1

$$e_C = E - (E - E_0)e^{-t/rc} \tag{1.1}$$

เมื่อ e_C = แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในเทอมของเวลา (t)

E = แรงดันที่ป้อนเข้าวงจร (หน่วยโวลต์)

E_0 = แรงดันที่ค้างอยู่ในตัวเก็บประจุ

e = ค่าคงที่เอกซ์โพเนนเชียล = 2.718

t = ค่าเวลาในการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ (หน่วยวินาที)

C = ตัวเก็บประจุในวงจร (หน่วยฟารัด)

R = ตัวต้านทานในวงจร (หน่วยโอห์ม)

เมื่อแรงดันที่ตกค้างอยู่ในตัวเก็บประจุ = 0 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

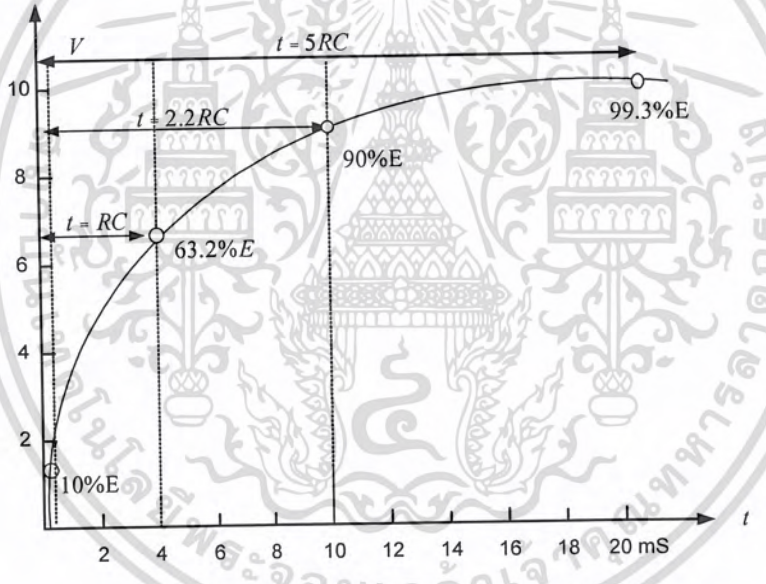
$$\because e_C = E(1-e^{-T/rc}) \tag{1.2}$$

สมการกระแสคือ $i_C = \dfrac{E-e_C}{R}$

หรือ $i_C = i \cdot e^{-t/rc}$ (1.3)

เมื่อ $I = \dfrac{E}{R}$ คือค่ากระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นในวงจร เมื่อเวลา $t = 0$

ค่าคงตัวเวลาของวงจร (Circuit time constant) มีค่าเท่ากับผลคูณของค่า R และ Cในวงจร หรือ ζ = RC หรือ ζ = CRโดยปกติของตัวเก็บประจุในวงจร RC จะเริ่มที่เวลา t = 0 จนกระทั่ง C เก็บประจุจนเต็ม คือมีแรงดันตกคร่อมตัวเองเท่ากับค่าแรงดันที่ป้อนให้กับวงจร (ประมาณ 99.3%) จะใช้เวลาทั้งหมดเท่ากับ 5 เท่าของค่าคงตัวเวลาหรือเท่ากับ 5.R.C = 5t ดังแสดงในรูป 1.2



รูปที่ 1.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงตัวเวลา กับแรงดันในการเก็บประจุของ C (a) และค่าคงตัวเวลากับกระแสในการเก็บประจุของ C (b)

ที่เวลา t = 1 เท่ากับค่าคงตัวเวลา (t = 1.R.C) ค่าแรงดัน e_C จะมีค่าเท่ากับ 63.2% ของแหล่งจ่าย E ดังสมการเก็บประจุ

$$e_C = E(1-e^{-t/RC})$$

$$e_C = E(1-e^{-RC/RC})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= E(1-e^{-1})$$

$$= E(0.632)$$

$$\because e_C = 0.632E$$

สังเกตจากรูป 1.1 จะเห็นว่ากราฟของ e_C เพิ่มขึ้น 63.2% ของแรงดัน E ที่เวลา 4 mS แสดงว่า t = 4 mS

$$\because RC = 4mS$$

ถ้ากำหนดให้ R = 1kΩ ค่าของ C จะเท่ากับ

$$C = \frac{4mS}{1k\Omega} = 4\ \mu F$$

ค่าคงตัวที่ใช้อักษรกรีก τ (ทาว) แทน ดังนั้น $\tau = RC$

เมื่อคิดที่เวลาเท่ากับ 1 เท่าของค่าคงตัวเวลา $T = 1\tau = RC$

$$\because i_C = I.e^{-t/RC}$$

$$i_C = I.e^{-RC/RC}$$

$$= I.e^{-1}$$

$$= I \times 0.368$$

เมื่อ t = RC $\quad \because i_C = I(1-0.632)$

จากสมการแสดงว่ากระแส i_C จะลดลงจากค่าสูงสุดขณะที่ C เก็บประจุที่เวลา t เท่ากับ $1t = 5.RC = 5\tau$

ค่าคงที่ของอัตราการเก็บประจุ (Constant-rate charging)

จากสมการของประจุไฟฟ้า $Q = I \times t$ (Coulombs)

และสมการ $Q = C \times V$ (Coulombs)

ดังนั้น $I \cdot t = CV$

$$\because V = \frac{I.t}{C}$$

เมื่อ V = E (ค่าแรงดันแหล่งจ่ายไฟฟ้า)

$$I = \frac{E}{R}$$

$$t = \frac{CV}{I}$$

$$\because t = \frac{C.E}{\frac{E}{R}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\because t = RC$$

พิจารณาจากกราฟรูปที่ 2.4 (a) จะเห็นว่า E = 20V และ t = 5RC

$$e_C = 10V(1 - e^{--5.R.C/R.C})$$

$$e_C = 10V(1 - e^{-5})$$

$$e_V = 9.93V$$

จะพบว่าค่าแรงดันที่เก็บประจุใน C ใกล้เคียงกับค่าแรงดันทางแหล่งจ่ายโดยมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่า 1% ที่เวลา $t = 5.R.C$

เวลาไต่ขึ้นและเวลาตก เวลาไต่ขึ้น (Rise time, t) ของสัญญาณคิดจากที่ระดับ 10% ของสัญญาณจนถึง 90 % ของค่าสูงสุดของสัญญาณ พิจารณาจากรูป 2.4 (a) จะได้ว่า

t_r = (t ที่แรงดัน e_C = 90% ของ E) - (t ที่แรงดัน e_C = 10% ของ E)

จากสมการเก็บประจุของตัวเก็บประจุจะได้ว่า

$$e_C = E - (E - E_O)e^{-t/RC}$$

$$(E - E_O)e^{-t/RC} = E - e_C$$

$$e^{-t/RC} = \left(\frac{(E - e_C)}{(E - E_O)}\right)$$

$$e^{t/RC} = \frac{(E - E_O)}{(E - e_C)}$$

$$\frac{t}{RC} = \ln\frac{(E - E_O)}{(E - e_C)}$$

$$t = R.C.\ln\frac{(E - E_O)}{(E - e_C)}$$

ค่า e_C = 90 % ของ E (คือจุด t_2 ของ 1.4 (a))

$$\because t_2 = R.C.\ln\left(\frac{E - 0}{E - 0.1E}\right)$$

$$t = 0.1R.C$$

ดังนั้น $t_r = (t_2 - t_1)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= R.C(2.3-0.1)$$

$$\because t_r = 2.2.R.C$$

เวลาตก (Fall time) สามารถพิจาณาได้จากค่าเดียวกันเนื่องจากเวลาตกจาก 90% ของ E ลงมาถึง 10 % ของ E

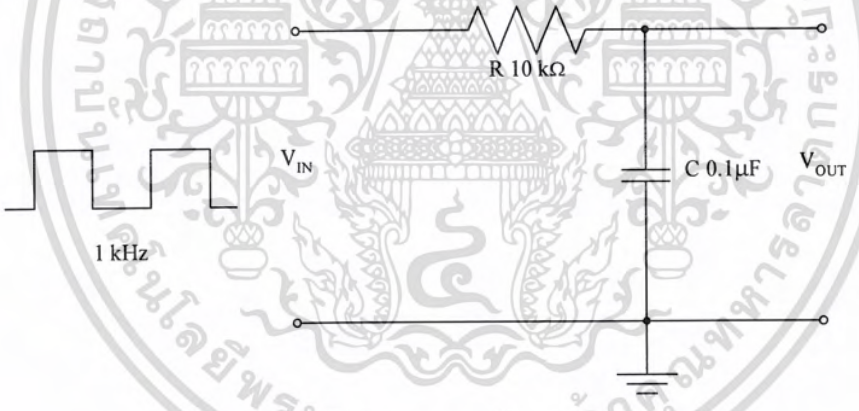
$$\because t_1 = 2.2RC$$

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ 1 ชุด
2. แผงการทดลองที่ 1 การวัดค่าคงตัวเวลา RC 1 แผง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 1.2

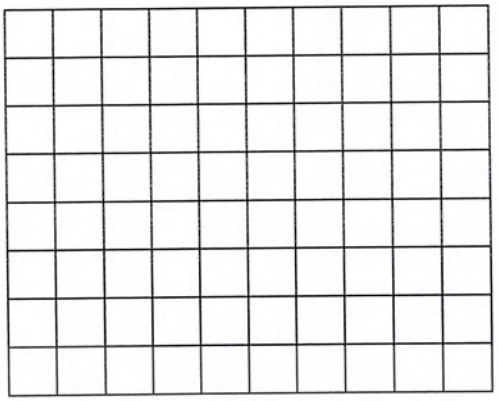


รูปที่ 1.2 วงจร RC Time Constant

2 ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม 1,000 Hz ขนาด 5 Vp-p เข้าที่ V_{IN}

3. ใช้ออสซิลโลสโคปต่อคร่อม C เพื่อวัดและสังเกตรูปคลื่นที่ตกคร่อม C แล้วบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

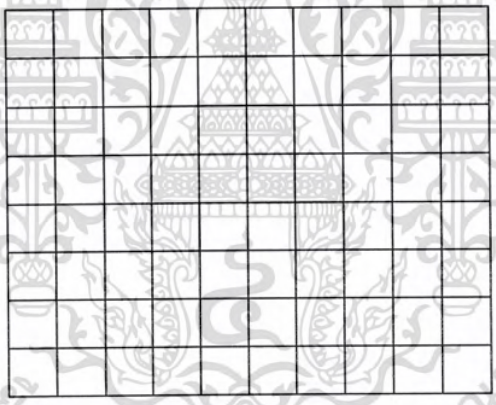


อินพุต Amplitude = ...

Time = ...

Frequency =.....

รูปที่ 1.3 ผลการทดลองรูปที่ 1.2 อินพุต



เอาต์พุต Amplitude = ...

Time = ...

Frequency =.....

รูปที่ 1.4 ผลการทดลองรูปที่ 1.2 เอาต์พุต

4. คำนวณค่าคงตัวเวลาต่างๆ ตามที่กำหนด แล้วทำการอ่านค่าแรงดันจากรูปคลื่นที่วัดได้ด้วยออสซิลโลสโคปตามค่าเวลาที่คำนวณจากค่าคงตัวเวลาแต่ละค่าในตารางแล้วบันทึกไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ตารางบันทึกผลการทดลองค่าไทม์-คอนสแตนท์

Time Constant	ค่าเวลาที่คำนวณได้	Charging Voltage
0.5 RC		
0.75 RC		
1.00 RC		
1.25 RC		
1.50 RC		
1.75 RC		
2.00 RC		
4.00 RC		
5.00 RC		

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายถึงผลของค่าคงตัวเวลา (RC) กับการตอบสนองของวงจรต่อสัญญาณด้านเข้าที่เป็นคลื่นสี่เหลี่ยม ว่าทำให้สัญญาณด้านออกของวงจรเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. จงคำนวณค่าของแรงดันที่ C ที่ประจุได้ใน 1 RC

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2
วงจรอาร์ซีดิฟเฟอร์เรนติเอเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถออกแบบวงจรอาร์ซีดิฟเฟอร์เรนติเอเตอร์ได้
2. สามารถหาคุณสมบัติของวงจรอาร์ซีดิฟเฟอร์เรนติเอเตอร์ได้
3. สามารถปฏิบัติการต่อวงจร และ แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรดิฟเฟอเรนดิเอเตอร์ (Differentiator Circuit) คือ วงจรอาร์ซี ที่นำเอาสัญญาณด้านออกมาจากแรงดันตกคร่อมตัวความต้านทาน (e_R) ซึ่งต่างจากวงจรอินทิเกรเตอร์ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างอาร์ซี และความกว้างของพัลส์ยังคงมี 3 ลักษณะคล้ายกับวงจรอินทิเกรเตอร์ ลักษณะของวงจรดิฟเฟอร์เรนติเอเตอร์และรูปคลื่นของแรงดัน อาร์ซี ดังแสดงในรูปที่ 2.1

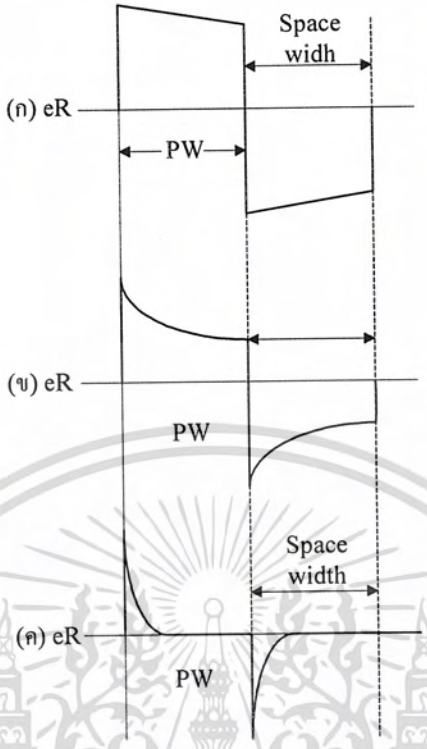
วงจรดิฟเฟอร์เรนดิเอเตอร์ที่มีค่าคงตัวเวลายาว (Long Time Constant in RC Differentiator) คือ วงจรที่มีค่าอาร์ซี มากว่าหรือเท่ากับ 10 เท่า ของความกว้างของพัลส์ (RC = 10 PW) ดังรูปคลื่นที่แสดงในรูปที่ 2.1 (ก) ระดับของแรงดันเอาต์พุต (e_R) จะเกิดความลาดชันขึ้น มีพื้นที่บางส่วนหายไป นั่นคือ ส่วนที่แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ ในสภาวะที่ตัวเก็บประจุเก็บประจุเพราะว่า

$$e_R = E - e_C$$

วงจรดิฟเฟอร์เรนติเอเตอร์ที่มีค่าคงตัวเวลาปานกลาง (Medium Time Constant in RC Differentiator) คือ วงจรที่มีค่าอาร์ซี = PW ลักษณะของสัญญาณด้านออกจะเกิดความลาดเอียงเป็นความชันที่มีค่าสูงขึ้นมาก เพราะมีค่าคงตัวเวลาลดลง แรงดันที่ตัวเก็บประจุเก็บประจุได้จะมีค่ามากขึ้นทำให้ e_C มีค่าลดลงความโค้งของสัญญาณเกิดจากค่าของแรงดัน E ลบกับค่าของแรงดันในการเก็บประจุ (e_C) นั้นเองแสดงดังรูปที่ 2.1 (ข)

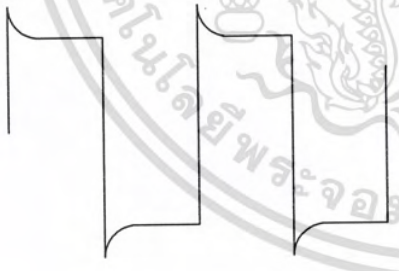
วงจรดิฟเฟอรเรนติเอเตอร์ที่มีค่าคงตัวเวลาสั้น (Short Time Constant in RC Differentiator) คือ วงจรที่มีค่าอาร์ซี น้อยกว่าค่าความกว้างของพัลส์มากประมาณ 10 เท่า หรือน้อยกว่า RC เท่ากับ 1/10 PW รูปคลื่นที่เกิดขึ้นนั้นเป็นลักษณะพัลส์ ที่มีขอบมุมคมมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

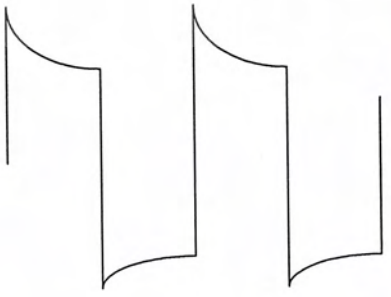


รูปที่ 2.1 วงจรอาร์ซีที่มีค่าคงตัวเวลาต่างกันและรูปคลื่น
ของแรงดันด้านออก กรณีที่ด้านเข้าเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม

1. สัญญาณ Output ที่ τ ค่าต่างๆ

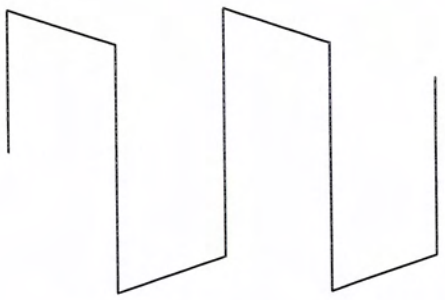


Short Time Constants : τ = 10 PW



Short Time Constants : τ = PW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

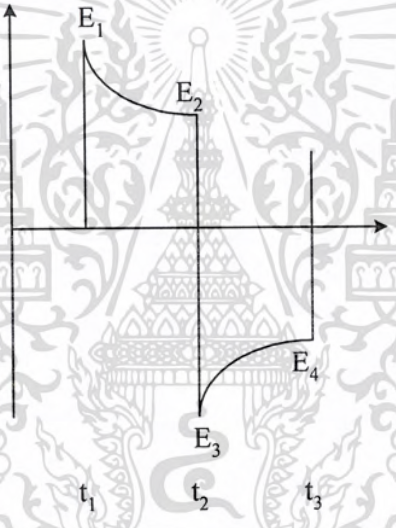


Short Time Constants : $\tau = \frac{1}{10}$ PW

$\tau = R.C$ หน่วยเป็นวินาที

2. สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

การหาค่า ณ จุดหยุดนิ่ง



รูปที่ 2.2 การหาค่า ณ จุดหยุดนิ่ง

จาก $e_r = E.\varepsilon^{-t/Rc}$

ดังนั้น $E_2 = E_1.\varepsilon^{t/RC}$

$E_4 = E_3.\varepsilon^{-t/RC}$

ที่ t_1 และ t_2 $E_1 - E_4 = E$ $E_1 = E + E_4$

$E_2 - E_3 = E$ $E_3 = E_2 - E$

ดังนั้น $E_2 = E_1.\varepsilon^{t/RC} = (E + E_4).\varepsilon^{t/RC}$

$E_4 = E_3.\varepsilon^{t/RC} = (E_2 - E).\varepsilon^{t/RC}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ 1 ชุด
2. แผงการทดลองที่ 2 อาร์ซีดิฟเฟอร์เรนติเอเตอร์ 1 แผง

ลำดับขั้นการทดลอง

นำแผงต่อเข้ากับชุดปฏิบัติการทดลอง

1. ต่อวงจรดังรูปที่ 2.3

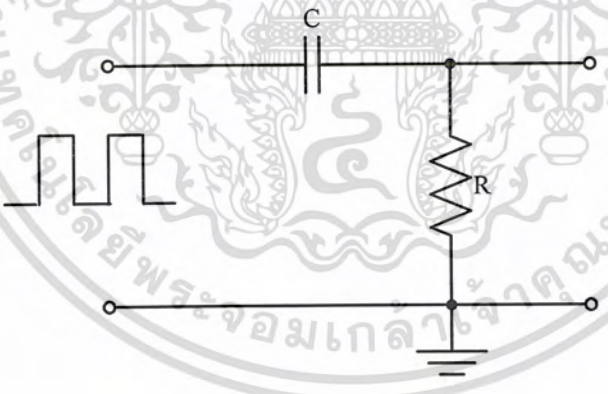
   1.1 Medium Time Constant Circuit R = 47 kΩ และ C = 0.1 μF

   1.2 Long Time Constant Circuit R = 4.7 kΩ และ C = 0.1 μF

   1.3 Short Time Constant Circuit R = 470 kΩ และ C = 0.1 μF

2. คลิกปุ่มทดลองวัดสัญญาณ จากนั้นตั้งออสซิลโลสโคป ดังนี้

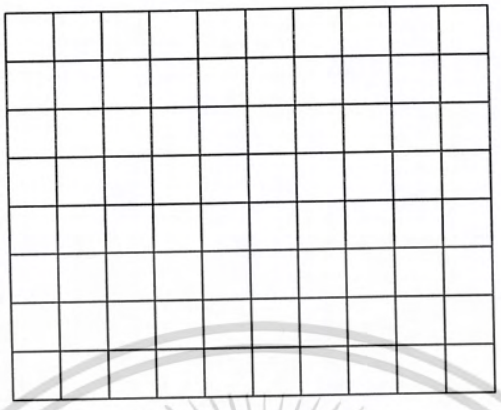
ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม ขนาด 5 Vp-p ความถี่ 1 kHz ให้ที่อินพุตของวงจร จากนั้นใช้ออสซิลโลสโคป แชนเนล 1 วัดแรงดัน V_{IN} และแชนเนล 2 วัดแรงดัน V_{OUT} บันทึกผลการทดลองในตาราง



รูปที่ 2.3 วงจรอาร์ซีดิฟเฟอร์เรนติเอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

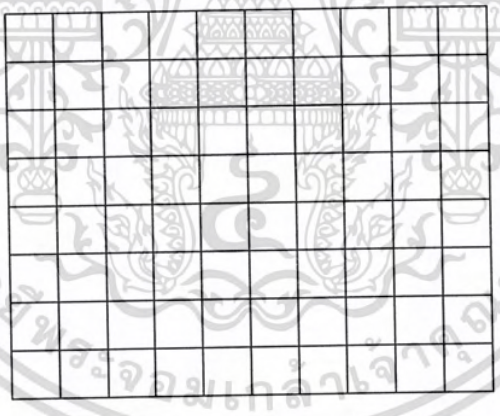
R = 47 kΩ



อินพุต = ...Vp-p

Time = ...Frequency = ...

รูปที่ 2.4 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Medium Time Constant สัญญาณ V_{IN}



เอาต์พุต = ...Vp-p

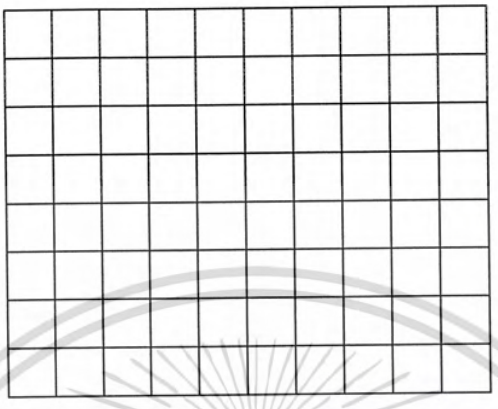
Time = ...Frequency = ...

รูปที่ 2.5 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Medium Time Constant สัญญาณ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เปลี่ยน R_1 เป็น Long Time Constant แล้วทำซ้ำข้อ 2

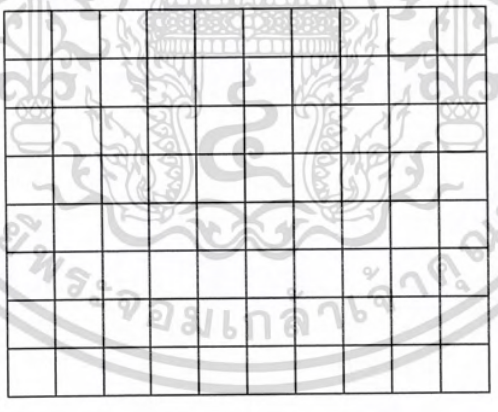
R = 4.7 kΩ



อินพุต = ...Vp-p

Time = ...Frequency = ...

รูปที่ 2.6 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Long Time Constant สัญญาณ V_{IN}



เอาต์พุต = ...Vp-p

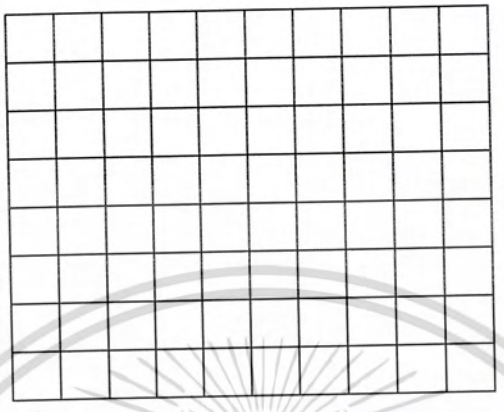
Time = ...Frequency = ...

รูปที่ 2.7 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Long Time Constant สัญญาณ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปลี่ยน R_1 เป็น Short Time Constant แล้วทำซ้ำข้อ 2

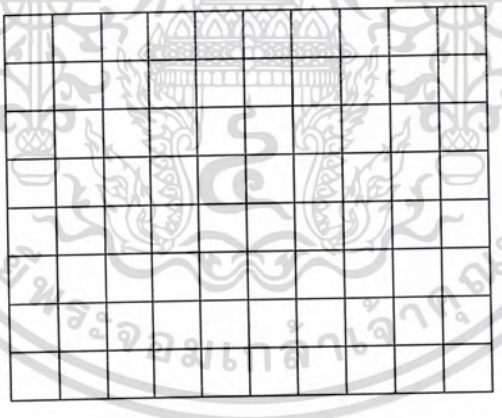
$R = 470\ k\Omega$



อินพุต = ...Vp-p

Time = ...Frequency = ...

รูปที่ 2.8 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Short Time Constant สัญญาณ V_{IN}



เอาต์พุต = ...Vp-p

Time = ...Frequency = ...

รูปที่ 2.9 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Short Time Constant สัญญาณ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. ถ้าเปลี่ยนค่า Amplitude ของสัญญาณ Input จะมีผลกระทบอย่างไรกับสัญญาณ Output

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. ถ้าเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณ Input (เพิ่มขึ้น หรือ ลดลง) จะมีผลกระทบอย่างไรกับสัญญาณ Output

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 3
วงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถออกแบบวงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์ ได้
2. สามารถหาคุณสมบัติของวงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์ ได้
3. สามารถปฏิบัติการต่อวงจร และ แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

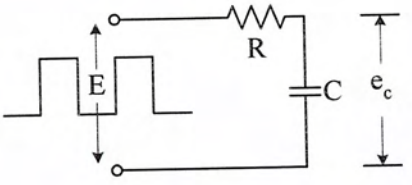
วงจรอินทิเกรเตอร์เป็นการใช้วงจรอาร์ซีให้ทำหน้าที่อินทิเกรตสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยม โดยนำความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ RC และค่า PW เป็นตัวกำหนดรูปร่างของรูปคลื่น อินทิเกร-เตอร์ ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ 3 กรณี ดังแสดงในรูปที่ 3.1

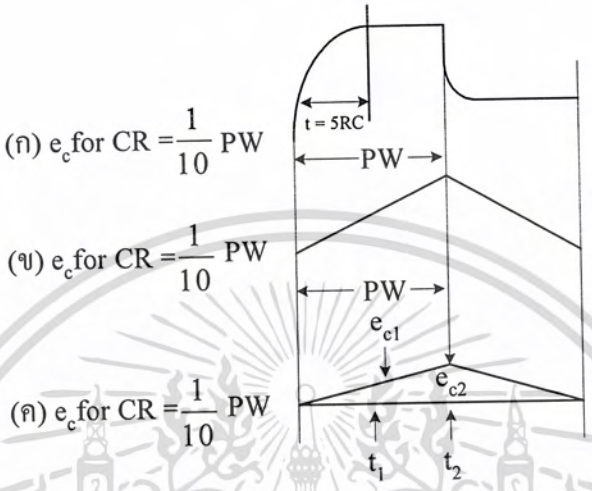
วงจรอินทิเกรเตอร์ที่มีค่าคงตัวเวลาสั้น (Short Time Constant in RC Integrator Circuits) คือ วงจรอาร์ซีที่มีค่าของอาร์ซีน้อยกว่าค่า PW โดยปกติอยู่ระหว่าง RC = PW/10 รูปคลื่นด้านออกที่ได้จะแสดงในรูป 3.1 (ก) ขนาดสูงสุดของแรงดันด้านออกจะมีค่าประมาณ 99.3% ของ E เพราะว่าค่าคงตัวเวลาสั้นทำให้การเก็บและการคายประจุของตัวเก็บประจุใช้เวลาน้อย รูปคลื่นมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปคลื่นด้านเข้า

วงจรอินทิเกรเตอร์ที่มีค่าคงตัวเวลาปานกลาง (Medium Time Constant in RC Integrator Circuits) คือ วงจรอาร์ซี ที่มีค่าของอาร์ซี เท่ากับค่าของ PW รูปคลื่นที่ได้จะเป็นรูปคลื่นอินทิเกรเตอร์ชัดเจน ดังรูป 3.1 (ข) ดังนั้นค่า RC = PW ค่าแรงดันสูงสุดจะไม่เกิน 63.2% ของ E รูปคลื่นด้านออกเริ่มมีรูปร่างคล้ายรูปสามเหลี่ยม (Triangular Shape)

วงจรอินทิเกรเตอร์ที่มีค่าคงตัวเวลายาว (Long Time Constant in RC Integrator Circuits) คือวงจร อาร์ซี ที่มีค่าคงตัวเวลามากกว่าค่า PW โดยปกติกำหนดให้มากกว่า 10 เท่า คือ อาร์ซี เท่ากับ 10 PW รูปคลื่นด้านออกจะเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยม แต่ขนาดของแรงดันจะมีค่าต่ำกว่าค่าของ E มาก ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.1 แสดงวงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์ และรูปคลื่นด้านออกของวงจร

(ก) ค่าคงตัวเวลาสั้น (Short Time Constant)

(ข) ค่าคงตัวเวลาปานกลาง (Medium Time Constant)

(ค) ค่าคงตัวเวลายาว (Long Time Constant)

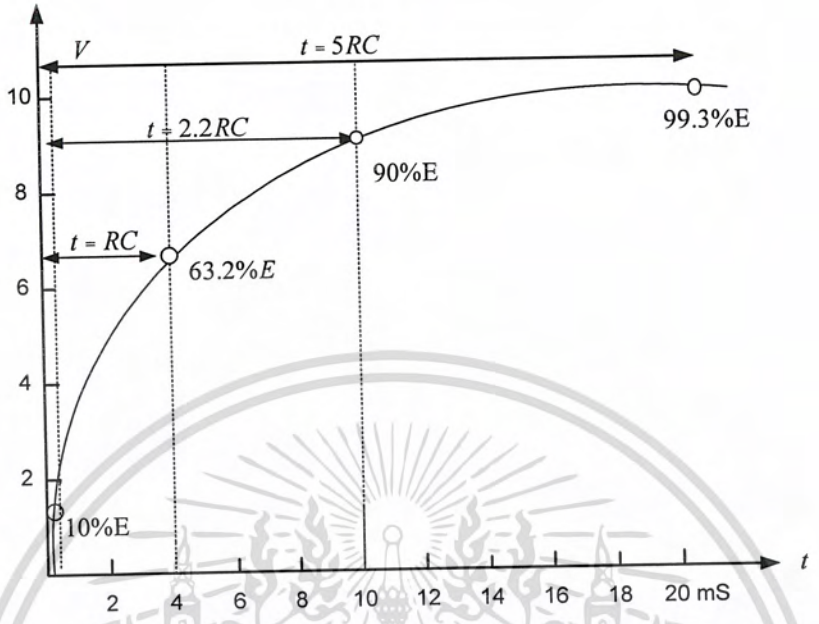
<u>หมายเหตุ</u> $\tau = R \cdot C$ หน่วยเป็น วินาที (Second)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

สมการ Charge $\ell_c = E - (E - E_0) \bullet \varepsilon^{-t/RC}$

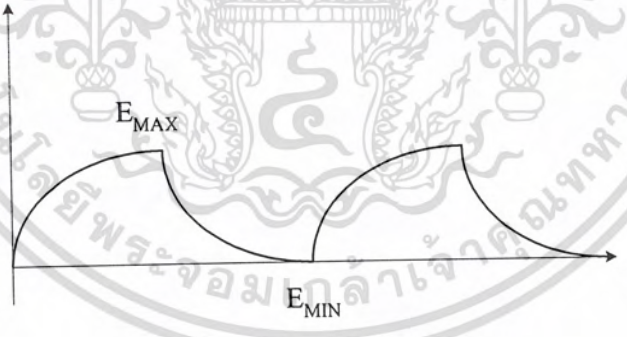
สมการ Discharge $\ell_c = E \bullet \varepsilon^{-t/RC}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 RC และ t สัมพันธ์กับ e_C

การหาค่า ณ จุดหยุดนิ่ง (Settled Condition)



รูปที่ 3.3 การหาค่า ณ จุดหยุดนิ่ง

หา E_{MAX}

$$E_{\max} = \frac{E}{1+\varepsilon^{-t/RC}}$$

หา E_{MIN}

$$E_{\min} = E_{\max}\varepsilon^{t/RC} = E - E_{\max}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ 1 ชุด
2. แผงการทดลองที่ 3 วงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์ 1 แผง

ลำดับขั้นการทดลอง

1.นำแผงการทดลองที่ 3 มาต่อกับชุดปฏิบัติการทดลองและต่อวงจรดังรูป

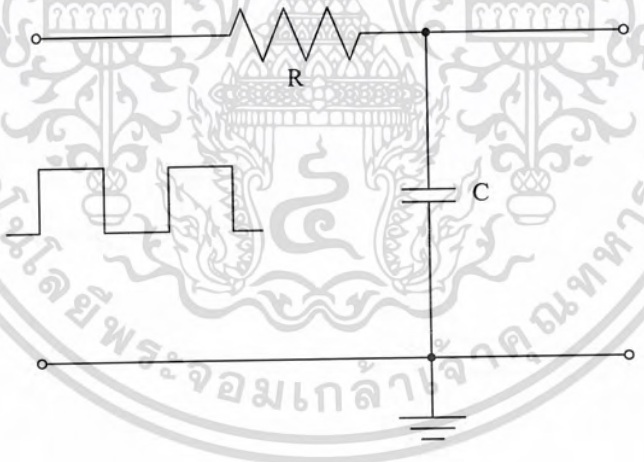
1.1 Medium Time Constant Circuit R = 10 kΩ และ C = 0.1 μF

1.2 Long Time Constant Circuit R = 100 kΩ และ C = 0.1 μF

1.3 Short Time Constant Circuit R = 1 kΩ และ C = 0.1 μF

2. คลิกปุ่มทดลองวัดสัญญาณ จากนั้นตั้งออสซิลโลสโคป ดังนี้

ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมขนาด 5 Vp-p ความถี่ 1 kHz ให้ที่อินพุตของวงจร แล้วคำนวณหาเวลาของหนึ่งคาบ (Period) โดยใช้ออสซิลโลสโคป แชนเนล 1 วัดแรงดัน V_{IN} และแชนเนล 2 วัดแรงดัน V_{OUT} บันทึกผลการทดลองในตาราง



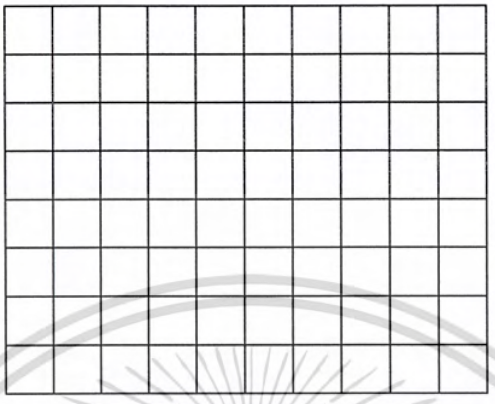
รูปที่ 3.4 วงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์

Period =.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณหาค่าไทม์-คอนสแตนท์ วัดและบันทึกรูปคลื่นอินพุตและเอาต์พุต 1 ไซเกิล

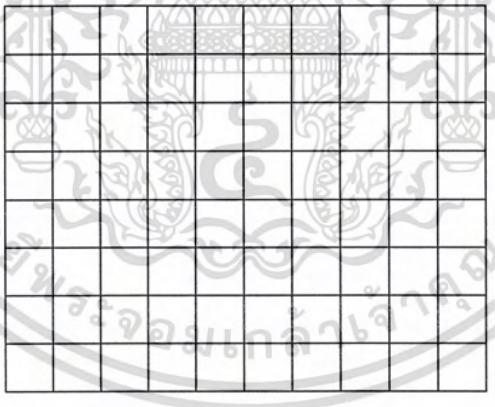
R = 10 kΩ



อินพุต = ...Vp-p

Time = ...mS

รูปที่ 3.5 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Medium Time Constant สัญญาณ V_{IN}



เอาต์พุต = ...Vp-p

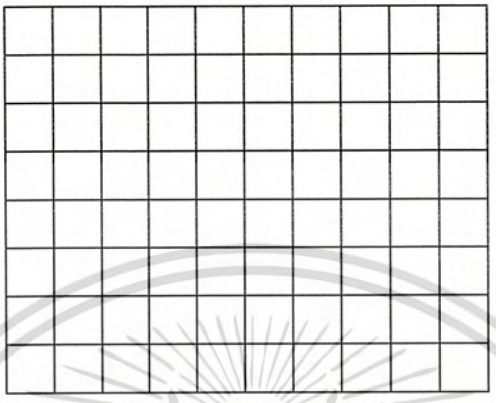
Time = ...mS

รูปที่ 3.6 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Medium Time Constant สัญญาณ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปลี่ยน R_1 เป็น Long Time Constant แล้วทำซ้ำข้อ 2

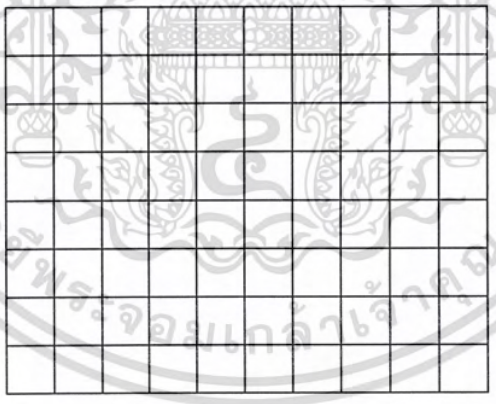
$R = 100\ k\Omega$



อินพุต = ... Vp-p

Time = ...mS

รูปที่ 3.7 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Long Time Constant สัญญาณ V_{IN}



เอาต์พุต = ...Vp-p

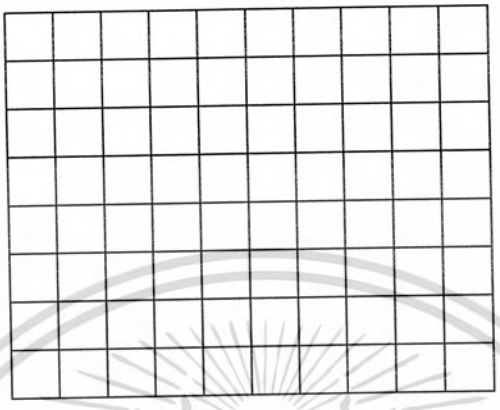
Time = ...mS

รูปที่ 3.8 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Long Time Constant สัญญาณ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปลี่ยน R_1 เป็น Short Time Constant แล้วทำซ้ำข้อ 2

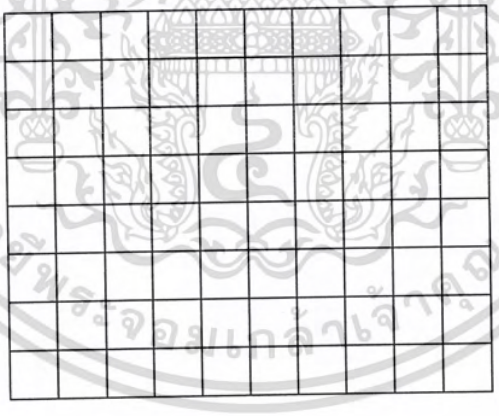
$R = 1\ k\Omega$



อินพุต = ... Vp-p

Time = ... mS

รูปที่ 3.9 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Short Time Constant สัญญาณ V_{IN}



เอาต์พุต = ... Vp-p

Time = ... mS

รูปที่ 3.10 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Short Time Constant สัญญาณ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. เมื่อกำหนดให้วงจรอินติเกรเตอร์มีค่า R = 10 kΩ, C = 0.047 μF คงคำนวณหาค่าแรงดัน V_{OUT} สูงสุดเมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ 1 เท่าของค่าคงตัวเวลา (τ)

2. ถ้าเปลี่ยนค่า Amplitude ของสัญญาณ Input จะมีผลกระทบอย่างไรกับสัญญาณ Output

3. ถ้าเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณ Input (เพิ่มขึ้น หรือ ลดลง) จะมีผลกระทบกระทบอย่างไรกับสัญญาณ Output

สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4
วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณ

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณได้อย่างถูกต้อง
2. สามารถปฏิบัติการต่อวงจรที่กำหนด และทดสอบการทำงานของวงจร ได้

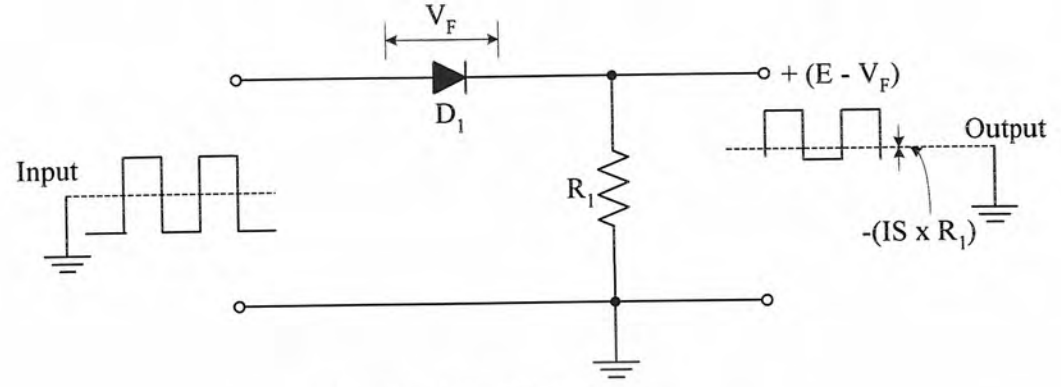
ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบไดโอดอนุกรม (Diode Series Clipper Circuits) วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นแบบอนุกรม คือ วงจรที่ต่อไดโอดอนุกรมกับสัญญาณด้านเข้า ไดโอด คือ สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการขริบรูปคลื่น) แบ่งตามลักษณะการต่อได้ 2 แบบ คือ

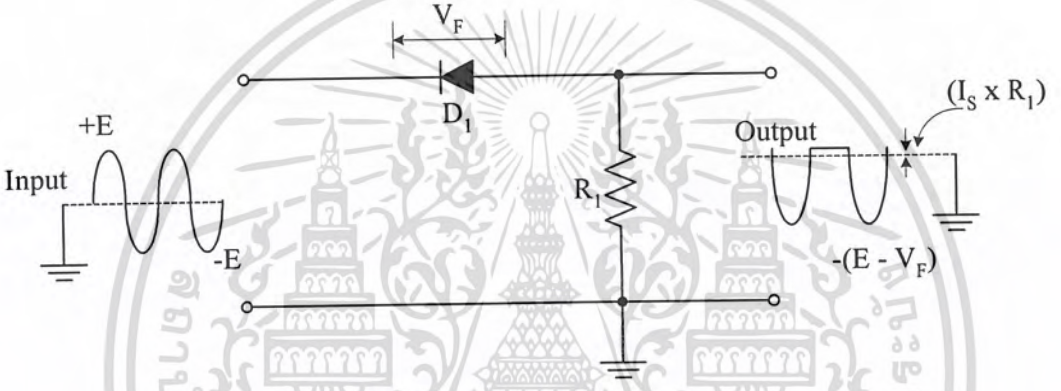
1. วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณด้านลบแบบอนุกรม (Negative Series Clipper) เป็นวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นด้านลบของด้านเข้าออกไป โดยการต่อแอโนดของไดโอด D_1 เข้ากับด้านเข้า โดยด้านเข้ามีขนาดแรงดัน E ขนาดแรงดันด้านออกทางด้านบวกมีค่าเท่ากับ $+ (E - V_F)$ และขนาดแรงดันด้านออกทางด้านลบมีค่าเท่ากับ $- (I_S \times R_1)$ เมื่อ I_S คือ ค่ากระแสรั่วไหล เมื่อไดโอดได้รับไบอัสกลับ ดังรูปที่ 4.1 (ก)

2. วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณด้านบวกแบบอนุกรม (Positive Series Clipper) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ข) โดยต่อไดโอดอนุกรมให้ขั้วแคโทดต่อเข้ากับสัญญาณด้านเข้า กำหนดให้สัญญาณด้านเข้าเป็นไซน์มีขนาดแรงดันเท่ากับ E เมื่อวัดรูปคลื่นด้านออกที่ตกคร่อม R_1 จะได้ว่า ขนาดสัญญาณด้านออกด้านบวกมีค่าเท่ากับ $+ (I_S \times R_1)$ และขนาดสัญญาณด้านออกทางด้านลบเท่ากับ $- (E - V_F)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Nagative Series Clipper



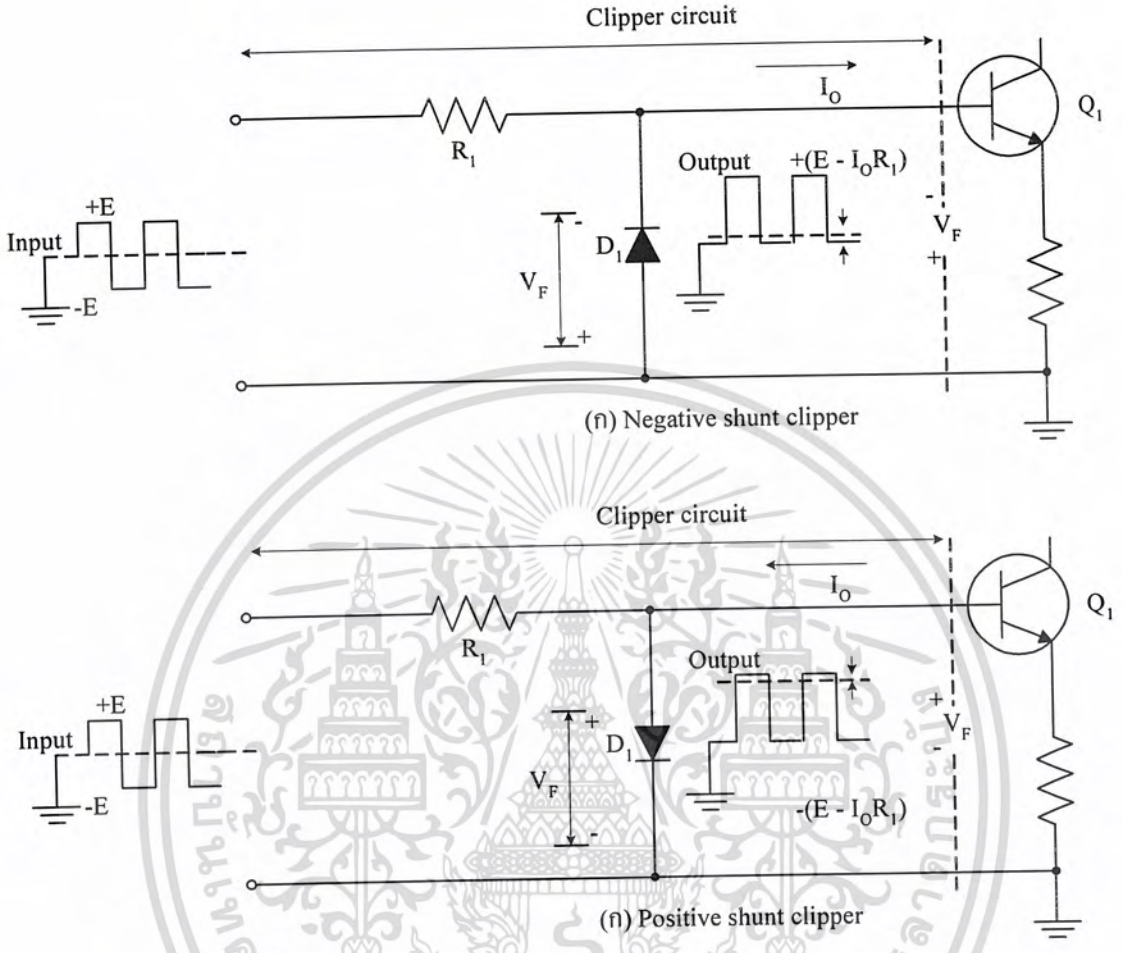
(ข) Positive Series Clipper

รูปที่ 4.1 วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นแบบไดโอดขนานแบบ Negative และ Positive

วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบไดโอดขนาน (Diode Shunt clip Circuit) ทั้งแบบขริบรูปคลื่นด้านบวกและขริบรูปคลื่นด้านลบใช้ต่อด้านเข้าของทรานซิสเตอร์ (Transistor Switch) เพื่อป้องกันรอยต่อระหว่างเบส และ อิมิตเตอร์ไม่ให้ทะลุ เนื่องจากได้รับไบอัสกลับสูงกว่าค่าที่กำหนดในคู่มือทรานซิสเตอร์

วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นแบบขนานไดโอดมีไบอัส (Bias Shunt Clipper) เมื่อต้องการขริบขนาดของรูปคลื่นด้านเข้าตามระดับแรงดันที่ต้องการ ซึ่งวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นแบบขนานไดโอดในรูปที่ 4.2 ไม่สามารถทำได้ เราสามารถสร้างได้โดยใช้ไดโอด D_1 ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงบวก (Positive Bias Voltage, V_{B1}) เพื่อกำหนดขนาดของแรงดันด้านออกทางด้านบวก โดยค่าแรงดันสูงสุดทางด้านบวกจะเท่ากับ + (V_{B1} + V_F) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก)

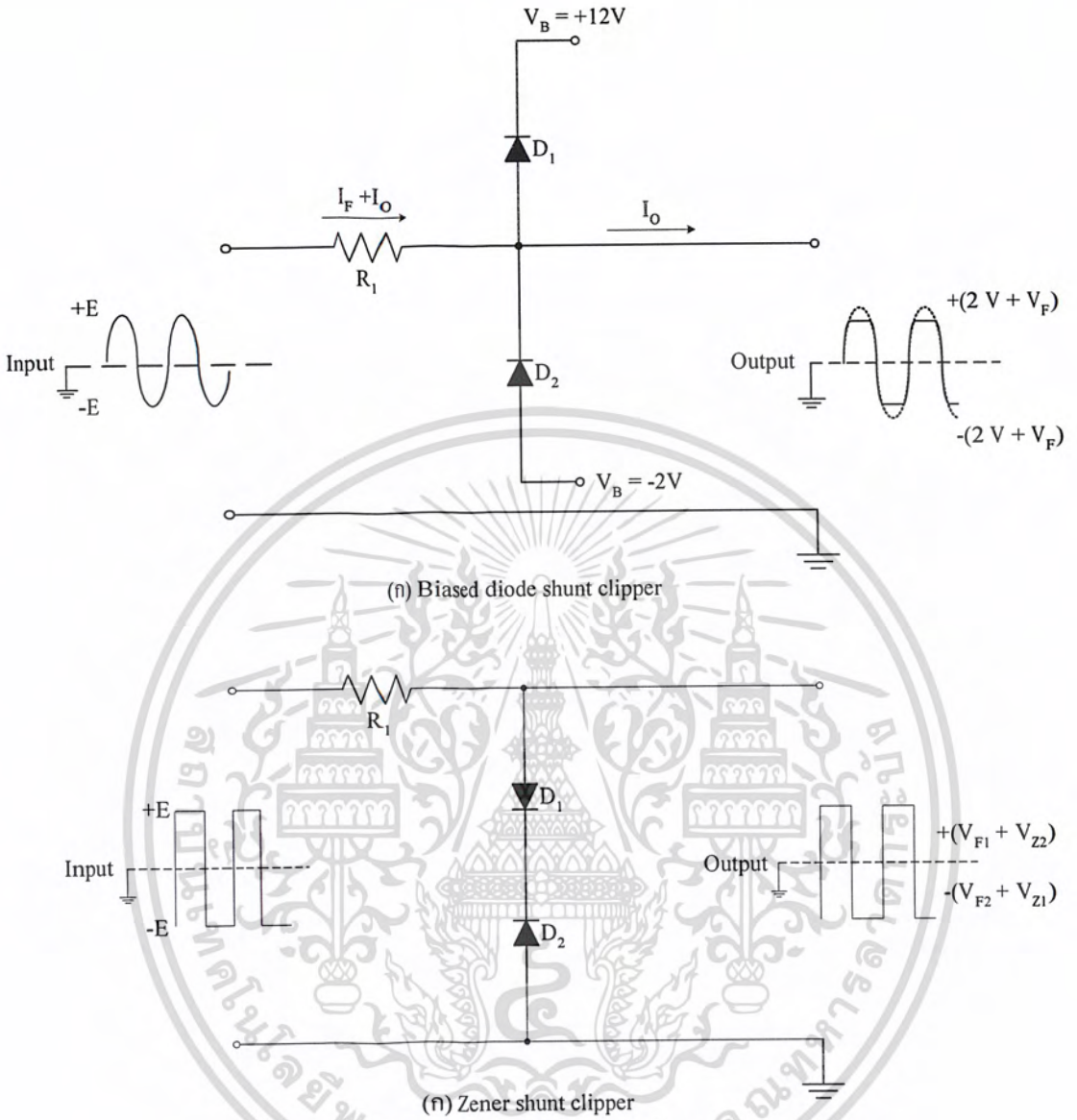
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นไดโอดขนาน แบบ Negative และ Positive

วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบขนานที่ไบอัสโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode Shunt Clipper) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ข) โดยต่อซีเนอร์ไดโอด 2 ตัว D_1 และ D_2 จะทำให้ขนาดของแรงดันออกทางด้านบวกสูงสุดเท่ากับ $+ (V_{F1} + V_{F2})$ และขนาดของแรงดันด้านเข้าต่ำสุดเท่ากับ $- (V_{F2} + V_{Z1})$ และ V_{F1}, V_{F2} แรงดันไบอัสตรง วงจรนี้ทำงานได้เหมือนกับวงจรรูป 4.3 (ก) แต่ไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายภายนอกเป็นตัวไบอัสให้ใช้ซีเนอร์ไดโอดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นแบบขนานไดโอด

(ก) มีไบอัส โดยใช้แหล่งจ่ายไฟตรงภายนอก

(ข) มีไบอัส โดยใช้ซีเนอร์ไดโอด

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	1	ชุด
2. แผงการทดลองที่ 4 วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่น	1	แผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

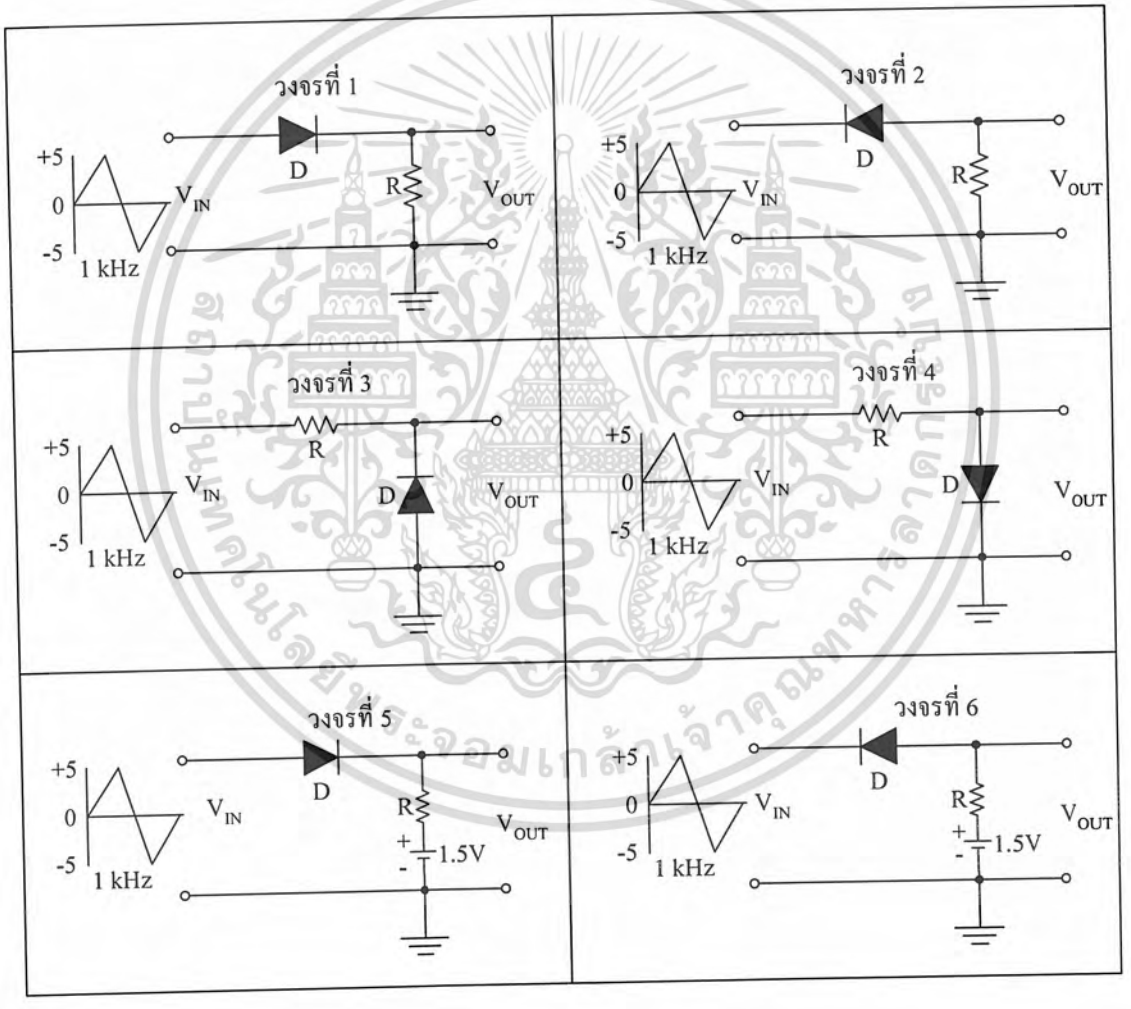
ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำแผงการทดลองที่ 4 มาต่อกับชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์แล้วต่อวงจรดังรูปที่ 4.4 โดยกำหนดให้ ค่า R = 100kΩ ไดโอด เบอร์ 1N4148

1.1 คลิกปุ่มทดลองวัดสัญญาณและตั้งออสซิลโลสโคปดังนี้ แชนแนล 1 และ 2 V/div =5V T/div = 0.5 mS ป้อนสัญญาณ Saw tooth Wave 5V p-p ความถี่ = 1 kHz ให้ที่อินพุตของวงจร

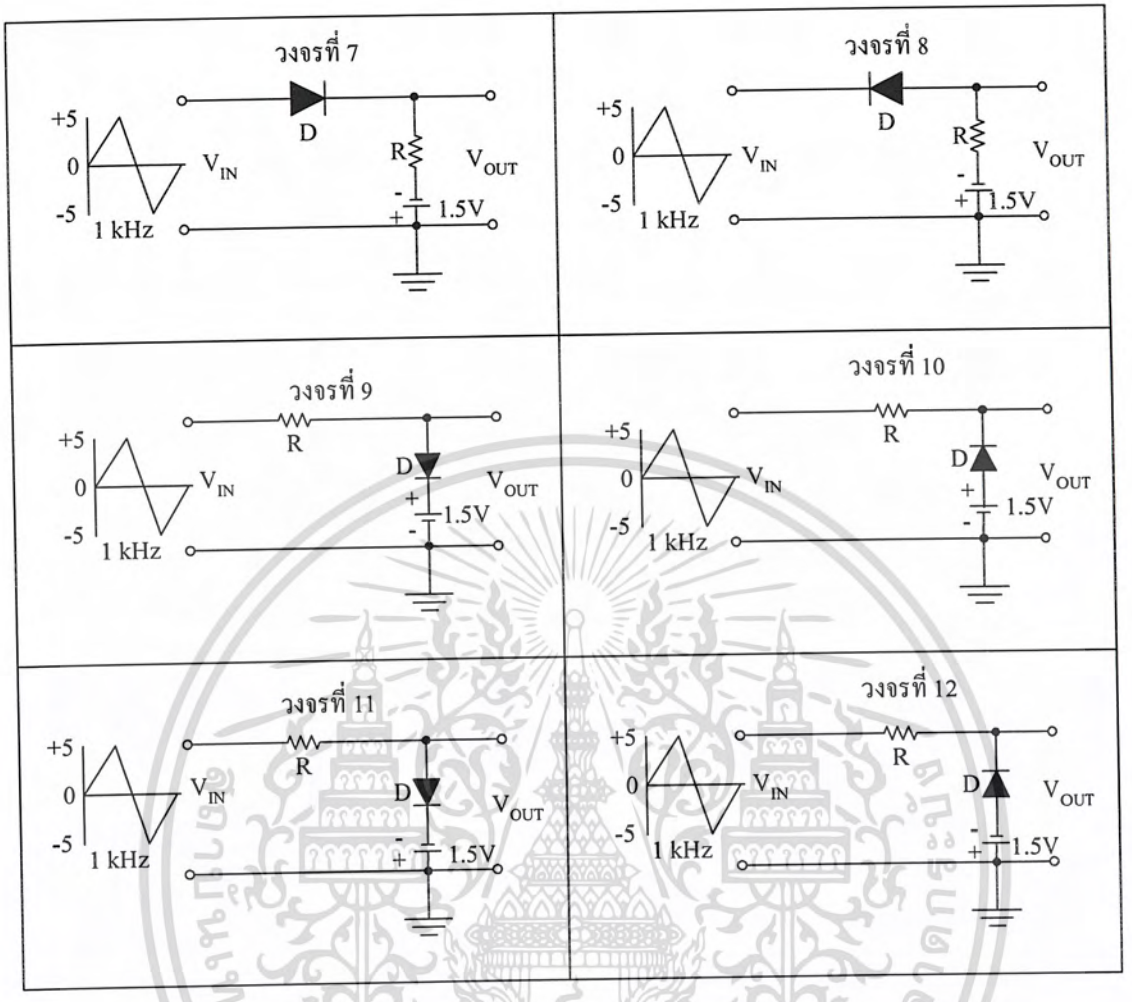
1.2 แชนแนล 1 วัดรูปคลื่น V_{IN} และ แชนแนล 2 วัดรูปคลื่น V_{OUT} บันทึกรูปคลื่นที่วัดได้ลงในตาราง

2. ทำการทดลอง ตามข้อ 1.1 ถึง ข้อ 1.2 โดยต่อวงจรที่ 2-12



รูปที่ 4.4 วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณ

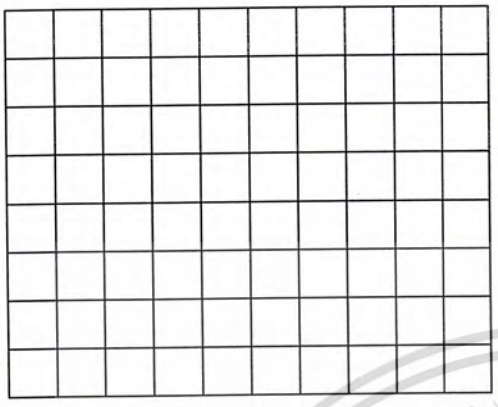
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



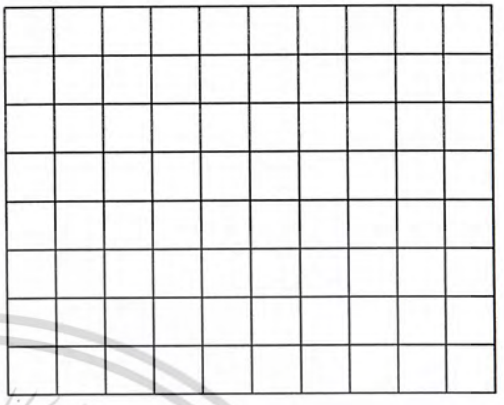
รูปที่ 4.5 (ต่อ) วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ต่อสัญญาณ Saw tooth Wave เข้าที่อินพุตของวงจรที่ 1 และบันทึกรูปคลื่นลงในตารางที่ 4.6



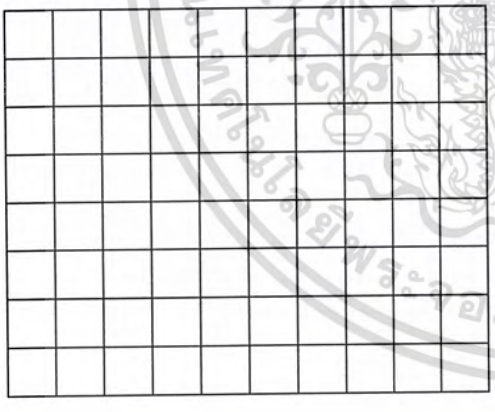
อินพุต = ... Vp-p



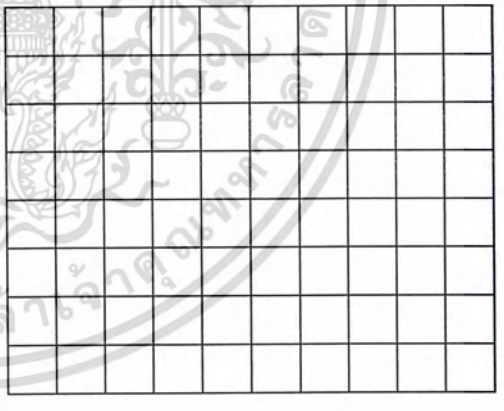
เอาต์พุต = ...Vp-p

รูปที่ 4.6 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

4. ทำการทดลองวงจรที่ 2 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูป ที่ 4.7



อินพุต = ... Vp-p

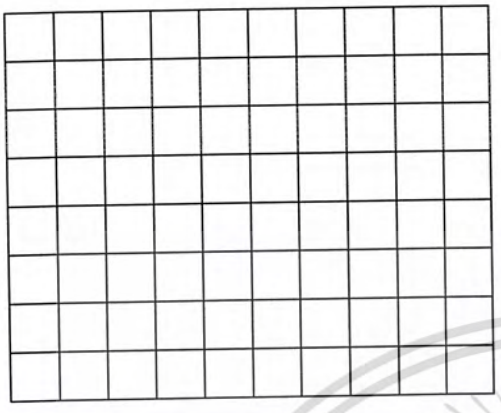


เอาต์พุต = ...Vp-p

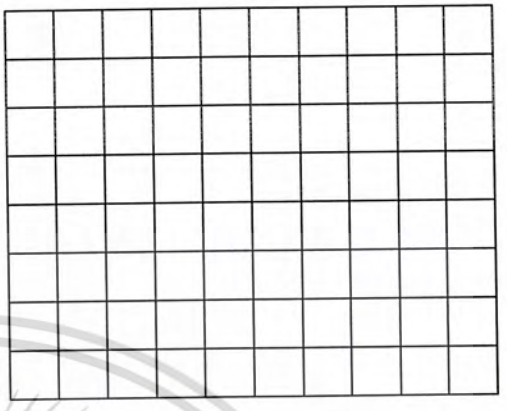
รูปที่ 4.7 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการทดลองวงจรที่ 3 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.8



อินพุต = ... Vp-p



เอาต์พุต = ...Vp-p

รูปที่ 4.8 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

6. ทำการทดลองวงจรที่ 4 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.9

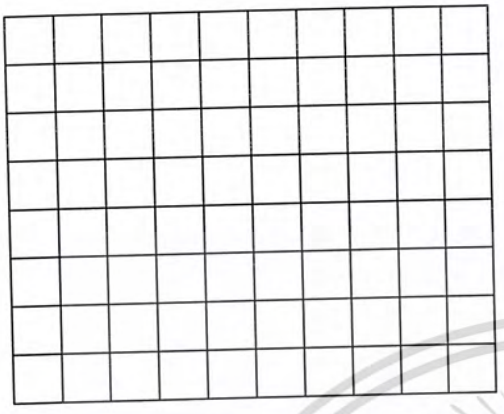
อินพุต = ... Vp-p

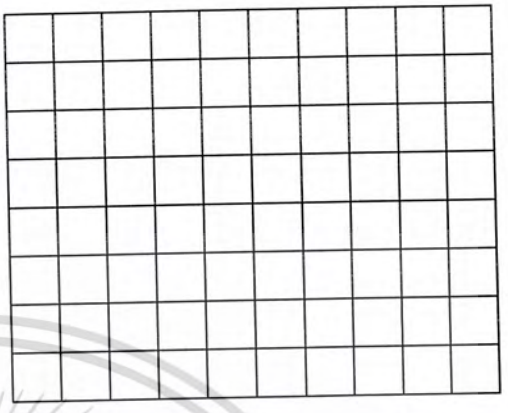
เอาต์พุต = ...Vp-p

รูปที่ 4.9 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำการทดลองวงจรที่ 5 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.10



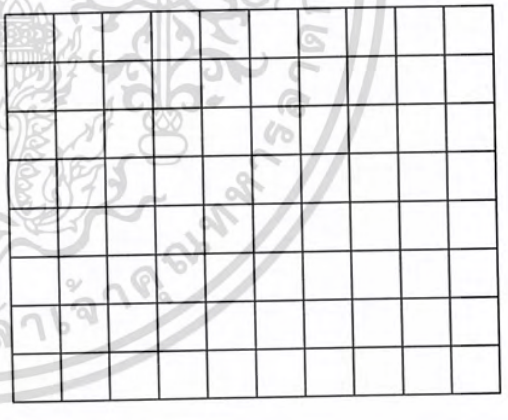


อินพุต = ... Vp-p

เอาต์พุต = ...Vp-p

รูปที่ 4.10 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

8. ทำการทดลองวงจรที่ 6 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.11



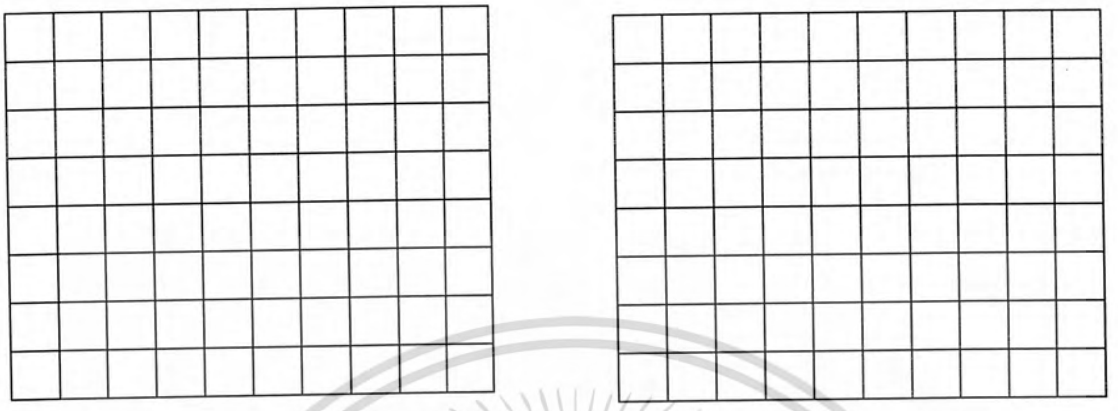
อินพุต = ... Vp-p

เอาต์พุต = ...Vp-p

รูปที่ 4.11 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ทำการทดลองวงจรที่ 7 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.12



อินพุต = ... Vp-p

เอาต์พุต = ... Vp-p

รูปที่ 4.12 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

10. ทำการทดลองวงจรที่ 8 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.13

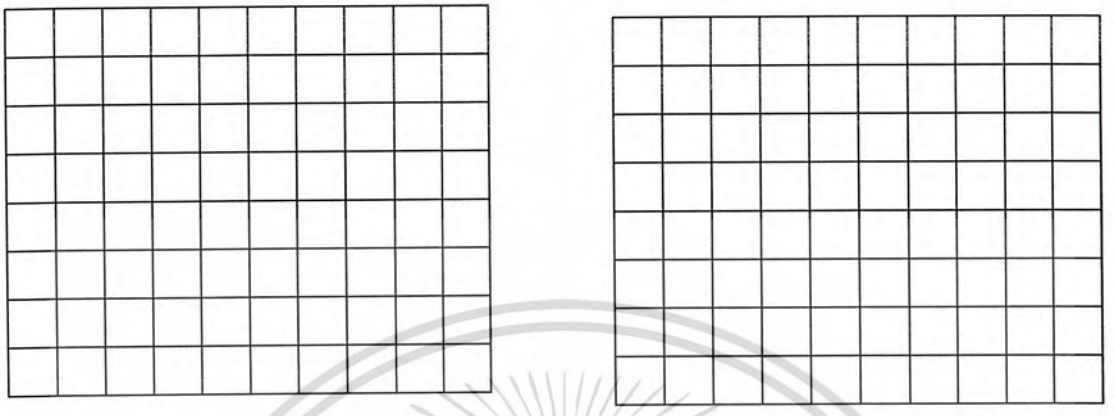
อินพุต = ... Vp-p

เอาต์พุต = ... Vp-p

รูปที่ 4.13 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ทำการทดลองวงจรที่ 9 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.14



อินพุต = ... Vp-p

เอาต์พุต = ... Vp-p

รูปที่ 4.14 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

12. ทำการทดลองวงจรที่ 10 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.15

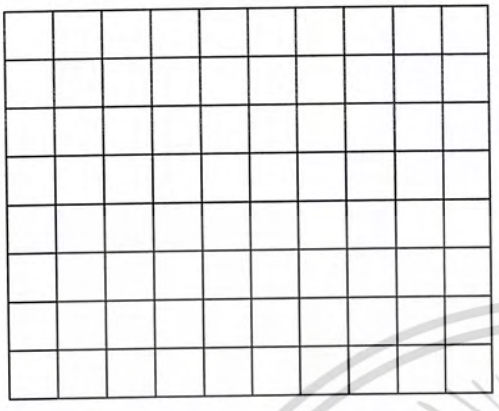
อินพุต = ... Vp-p

เอาต์พุต = ... Vp-p

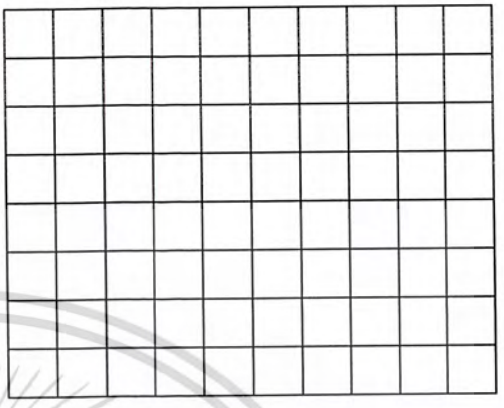
รูปที่ 4.15 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ทำการทดลองวงจรที่ 11 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.16



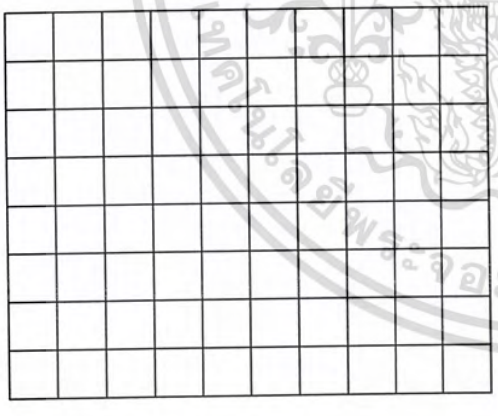
อินพุต = ... Vp-p



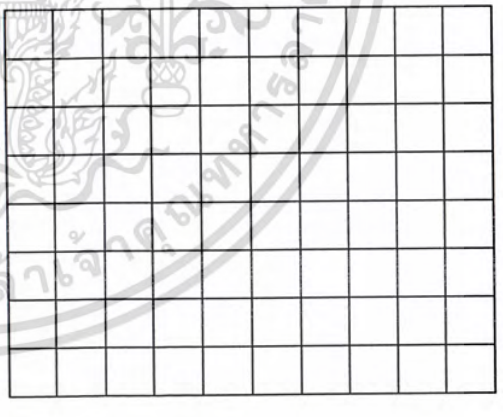
เอาต์พุต = ... Vp-p

รูปที่ 4.16 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

14. ทำการทดลองวงจรที่ 12 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.17



อินพุต = ... Vp-p



เอาต์พุต = ... Vp-p

รูปที่ 4.17 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงยกตัวอย่างการนำเอาวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่น ไปใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์หรืออิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรมมาอย่างน้อย 1 ตัวอย่าง และอธิบายการทำงานของวงจรมาพอเข้าใจ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. ถ้าเปลี่ยนตัวความต้านทานจาก 100 kΩ เป็น 1 kΩ มีผลต่อสัญญาณเอาต์พุตอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 5
วงจรยกระดับสัญญาณ

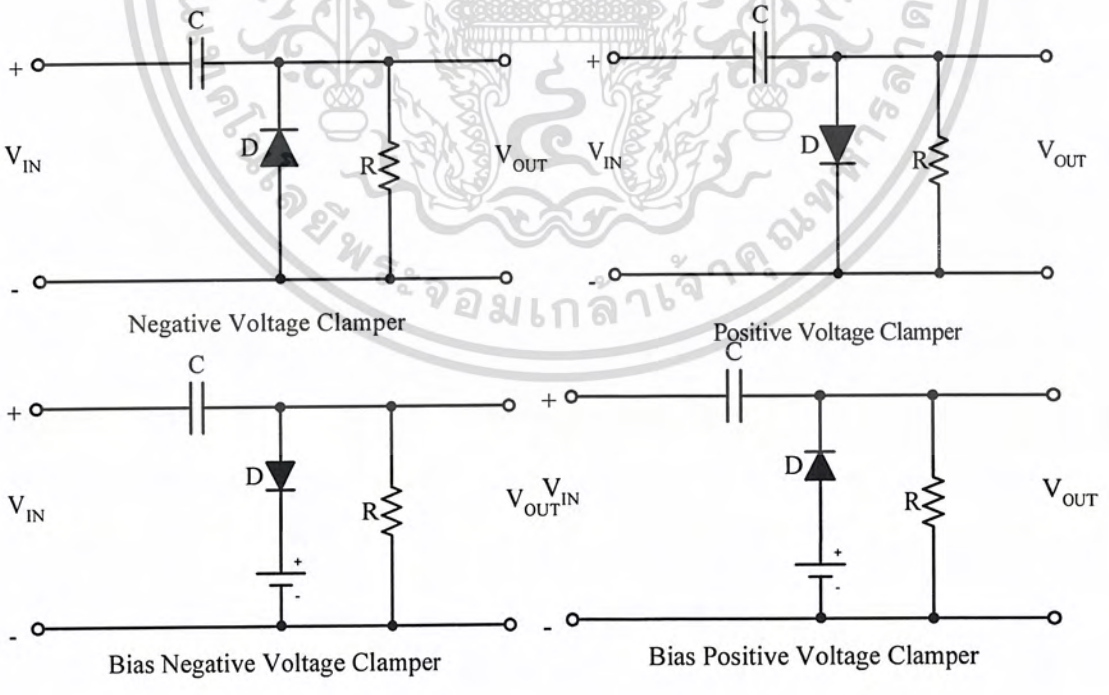
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรยกระดับสัญญาณที่ใช้ไดโอดและตัวเก็บประจุได้
2. สามารถปฏิบัติการต่อวงจรที่กำหนด และทดสอบการทำงานของวงจรได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรยกระดับสัญญาณ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

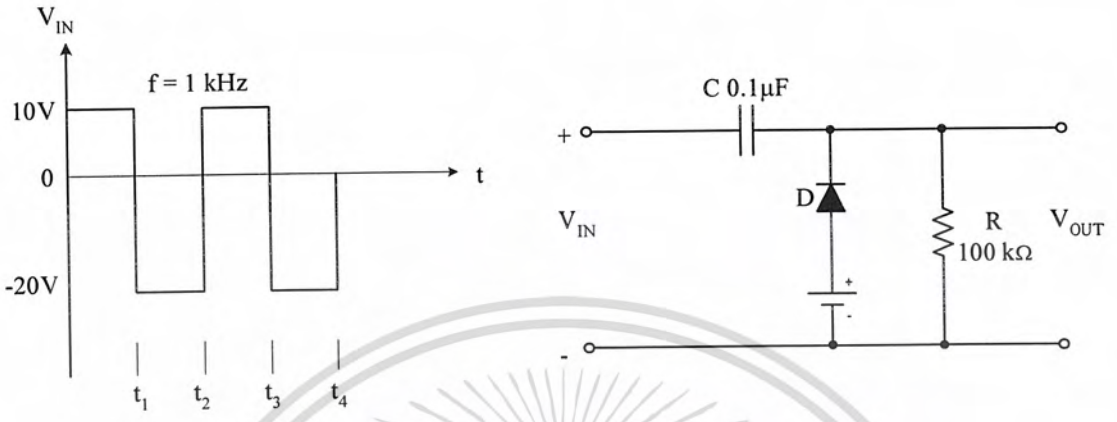
1. Positive Voltage Clamper
2. Negative Voltage Clamper
3. Bias Negative Voltage Clamper
4. Bias Positive Voltage Clamper



รูปที่ 5.1 วงจรยกระดับสัญญาณ แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> จงคำนวณหาค่า 5τ และเขียนรูปคลื่น V_o



รูปที่ 5.2 Bias Positive Voltage Clamper

วิธีทำ

$f = 1$ kHz ; $T=1/f$ $= 1/1$ kHz $= 1$ mS

ดังนั้น T/2 (ครึ่งคาบเวลา) $= 0.5$ mS

เวลา $0 \rightarrow t_1$ ไม่พิจารณา เพราะไดโอดยังไม่ได้รับไบอัสตรง

เวลา $t_1 \rightarrow t_2$ สัญญาณ V_1 ทำให้ไดโอดอยู่ในสภาวะลัดวงจรมี $Vo_1 = 5V$

$$-20V+V_C-5V = 0$$

$$V_C = 25V$$

เวลา $t_2 \rightarrow t_3$ แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 5V ไม่มีผลต่อ V_o

$$+10V+25V-V_o = 0$$

$$V_{o2} = 35V$$

หาช่วงเวลาคงที่ในการคายประจุ (τ) ของ C

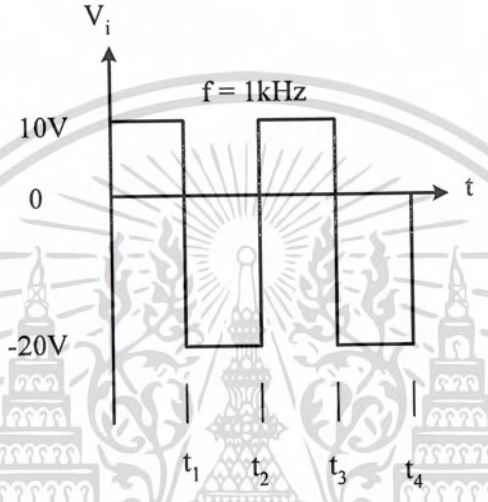
$$R_C = 100\,k\Omega \times 0.1\,\mu F = 10mS$$

เวลาคายประจุทั้งหมด $5\tau = 5 \times 10mS = 50mS$

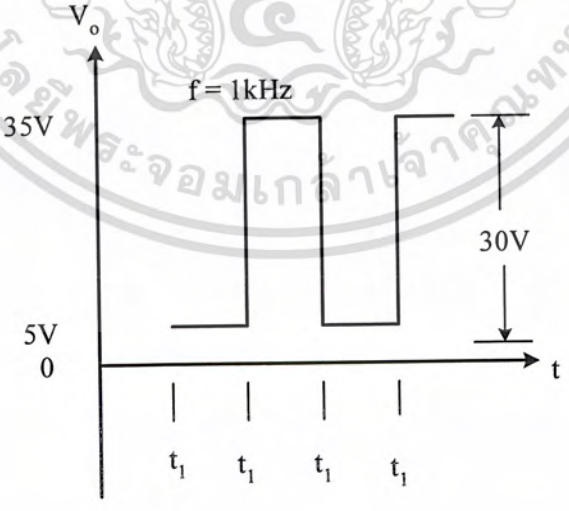
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากช่วง $t_2 \rightarrow t_3$ ใช้เวลา 0.5 mS เป็นเวลาที่ C ยังคงรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาไว้ในช่วงเวลาการคายประจุ ระหว่างรูปคลื่นของสัญญาณ V_{IN} และการขึ้นลงของรูปคลื่น V_o ขนาด 30 V จึงเหมาะกับการขึ้นลงของรูปคลื่น V_{IN}

<u>สัญญาณInput และ Output</u>



รูปที่ 5.3 สัญญาณ Input ของ Bias Positive Voltage Clamper



รูปที่ 5.4 สัญญาณ Output ของ Bias Positive Voltage Clamper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> จากตัวอย่างที่ 1 ถ้าเปลี่ยนไดโอดเป็นชนิด Silicon มี V_d = 0.7 V จงแสดงวิธีการคำนวณหา ค่า V_c และ V_o พร้อมแสดงรูปสัญญาณ Output ?

$$+ 5V - 0.7\ V - V_{o1} = 0$$

$$V_{o1} = 4.3V$$

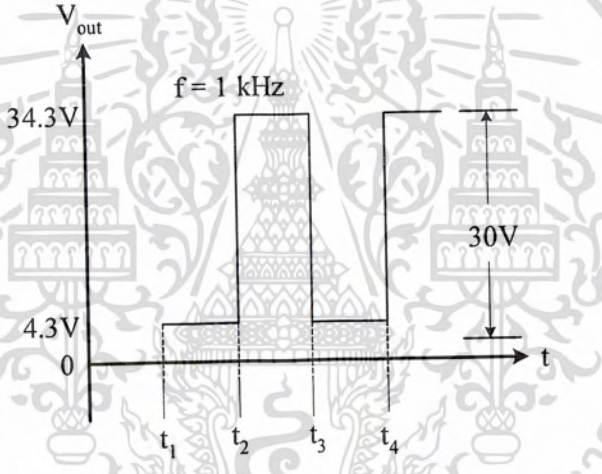
$$- 20 + Vc + 0.7\ V - 5V = 0$$

$$V_c = 24.3V$$

$$+ 10V + 24.3V - V_o = 0$$

$$V_o = 34.3V$$

<u>รูปสัญญาณ Output</u>



รูปที่ 5.5 สัญญาณ Output ของ Bias Positive Voltage Clamper ไดโอดชนิดซิลิกอน

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	1	ชุด
2. แผงการทดลองที่ 5 วงจรยกระดับสัญญาณ	1	แผง
3. มัลติมิเตอร์	1	เครื่อง

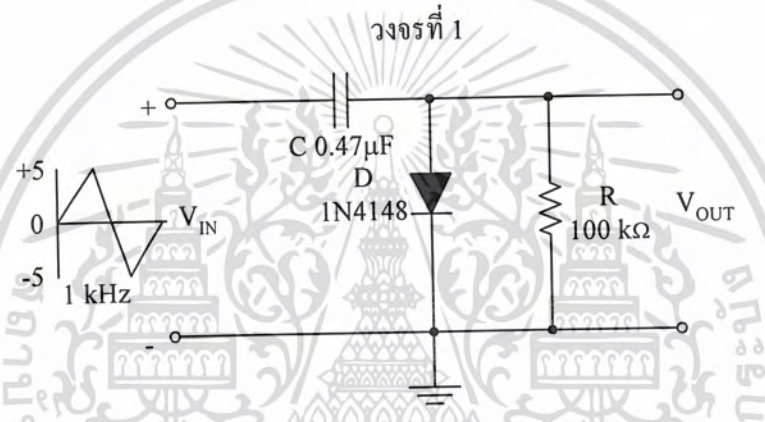
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

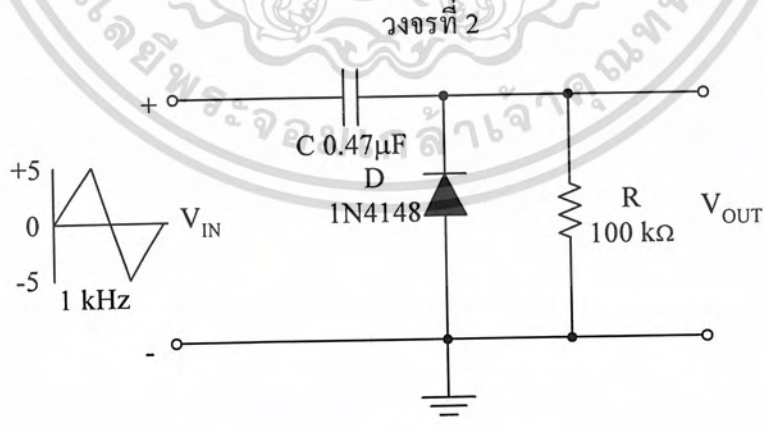
1. นำแผงการทดลองที่ 5 มาต่อกับชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์และต่อวงจรดังรูปที่ 5.6 โดยกำหนดให้ค่า Resistor = 100 kΩ, Capacitor = 0.47 μF Diode = 1N4148

2. คลิกปุ่มทดลองวัดสัญญาณและตั้งออสซิลโลสโคปดังนี้ แชนแนล 1 และ 2 V/div = 5 Vp-p T/div = 2 mS ตั้งเครื่องกำเนิดสัญญาณ Sawtooth Wave 1000Hz เอาต์พุตขนาด 5 Vp-p

3. ใช้ออสซิลโลสโคปแชนแนล 1 วัดรูปคลื่น V_{IN} และ แชนแนล 2 วัดรูปคลื่น V_{OUT} บันทึกผลลงในตาราง

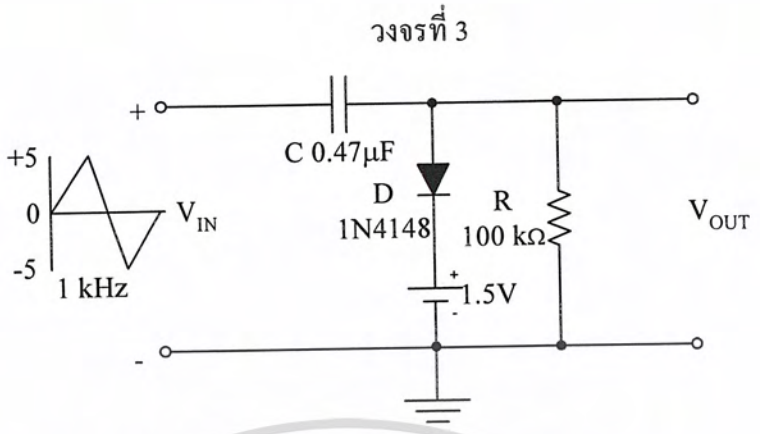


รูปที่ 5.6 วงจรด้านลบ

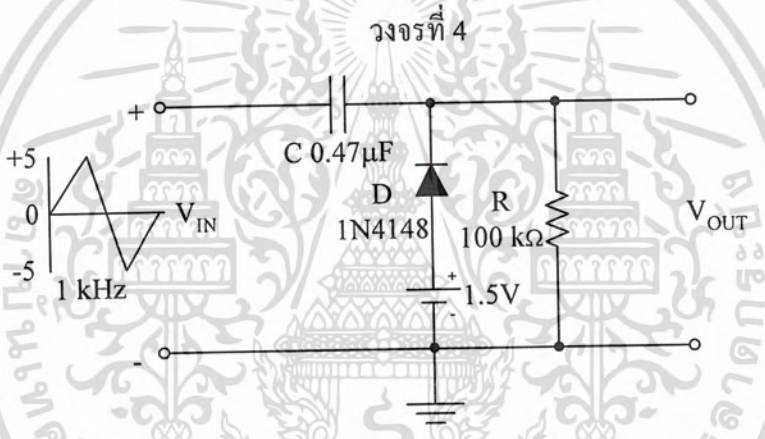


รูปที่ 5.7 วงจรด้านบวก

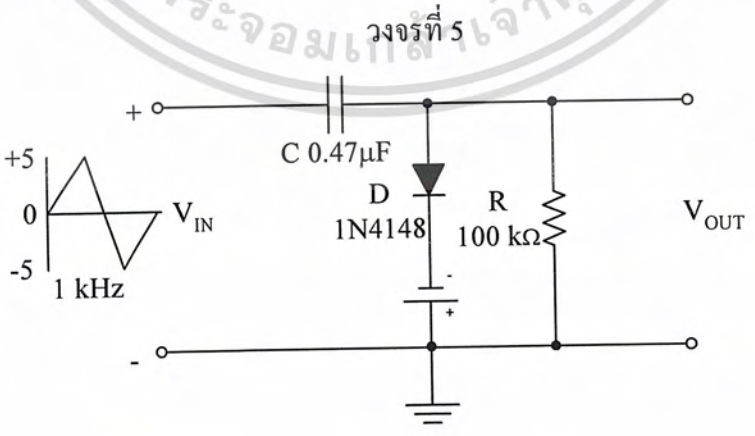
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 วงจรยกระดับสัญญาณที่ปรับระดับแรงดันไฟตรง



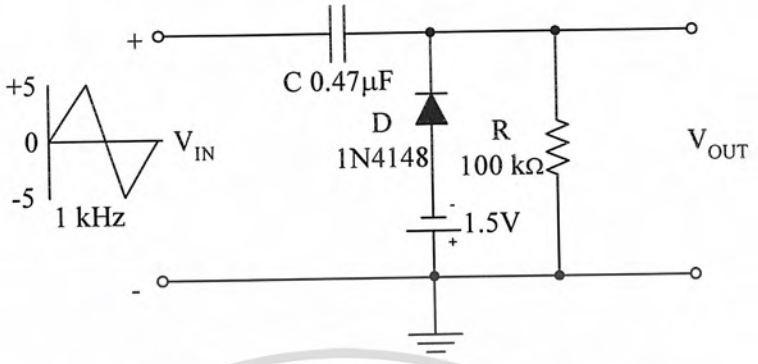
รูปที่ 5.9 วงจรยกระดับสัญญาณที่ปรับระดับแรงดันไฟตรงกลับขั้วไดโอด



รูปที่ 5.10 วงจรยกระดับสัญญาณที่ปรับระดับแรงดันไฟตรง

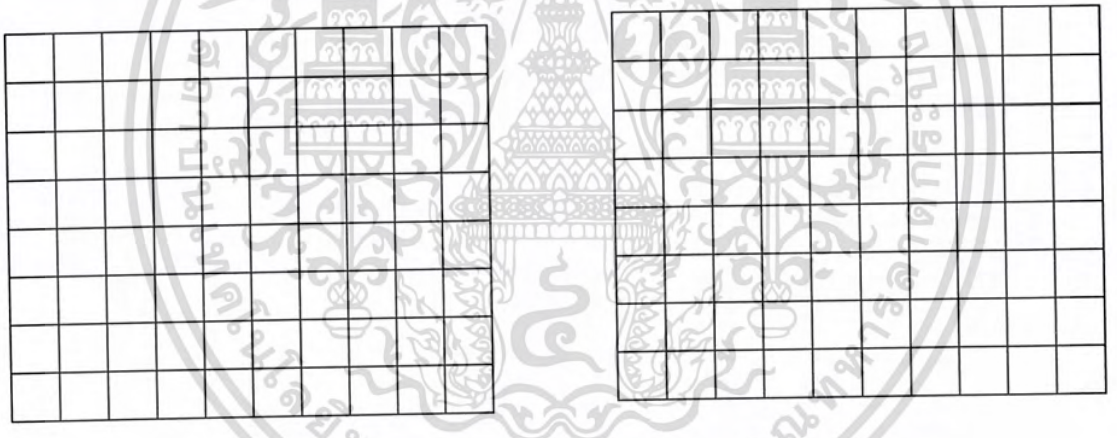
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ 6



รูปที่ 5.11 วงจรยกระดับสัญญาณที่ปรับระดับแรงดันไฟตรงกลับขั้วไดโอด

4. ทำการทดลองตามข้อ 1 ถึง ข้อ 3 โดยต่อวงจรตามรูปที่ 5.6



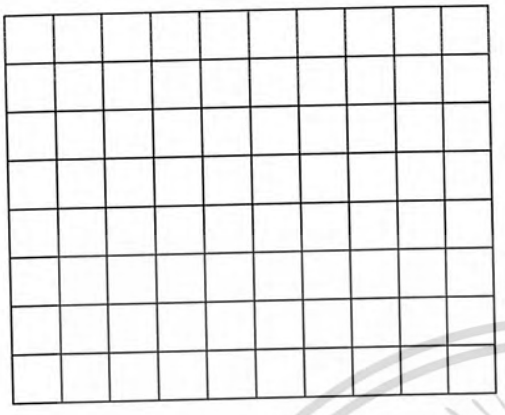
อินพุต = ... Vp-p
ความถี่ = ...kHz

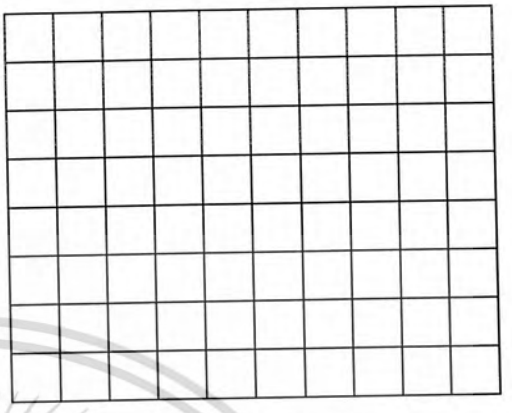
เอาต์พุต = ...Vp-p
ความถี่ = ...kHz

รูปที่ 5.12 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT} ของวงจรรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึง ข้อ 3 โดยต่อวงจรตามรูปที่ 5.7





อินพุต = ... Vp-p

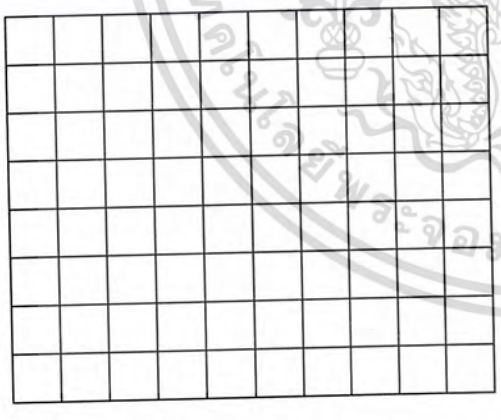
ความถี่ = ...kHz

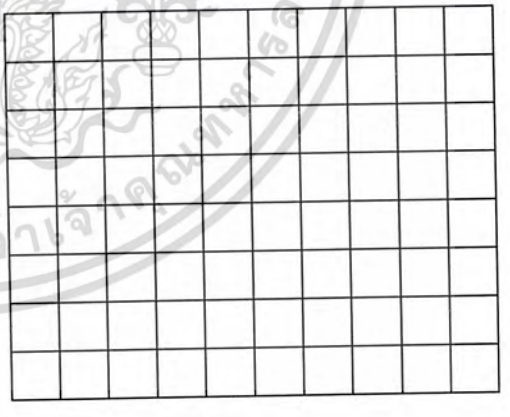
เอาต์พุต = ...Vp-p

ความถี่ = ...kHz

รูปที่ 5.13 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT} ของวงจรที่ 5.7

6. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึง ข้อ 3 โดยต่อวงจรตามรูปที่ 5.8 แล้วป้อนแหล่งจ่าย = 1V





อินพุต = ... Vp-p

ความถี่ = ...kHz

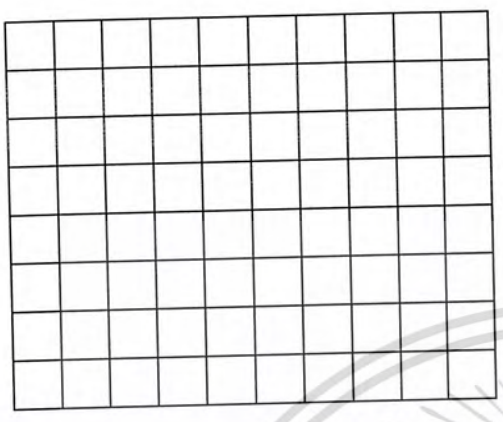
เอาต์พุต = ...Vp-p

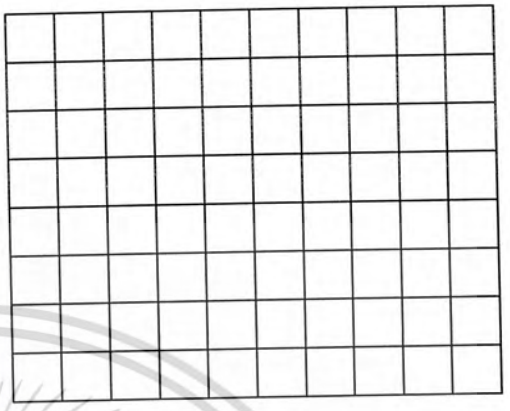
ความถี่ = ...kHz

รูปที่ 5.14 ตารางบันทึกผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT} ของวงจรที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึง ข้อ 3 โดยต่อวงจรตามรูปที่ 5.9 แล้วป้อนแหล่งจ่าย = 1V





อินพุต = ... Vp-p

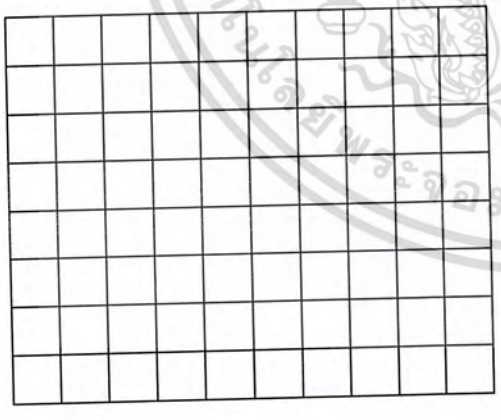
ความถี่ = ...kHz

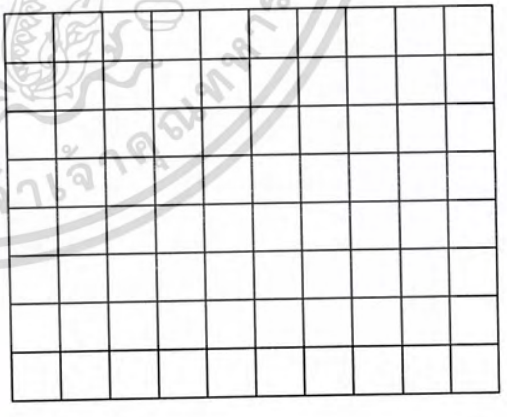
เอาต์พุต = ...Vp-p

ความถี่ = ...kHz

รูปที่ 5.15 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และV_{OUT} ของวงจรที่ 5.9

8. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึง ข้อ 3 โดยต่อวงจรตามรูปที่ 5.10 แล้วป้อนแหล่งจ่าย = 1V





อินพุต = ... Vp-p

ความถี่ = ...kHz

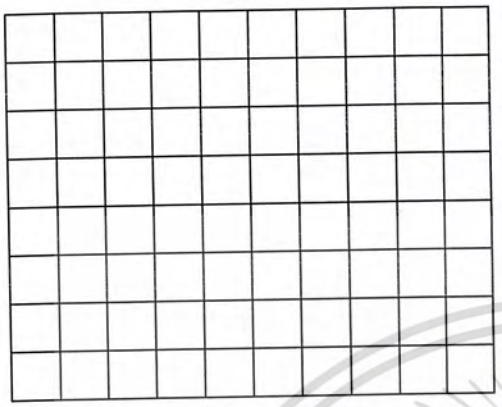
เอาต์พุต = ...Vp-p

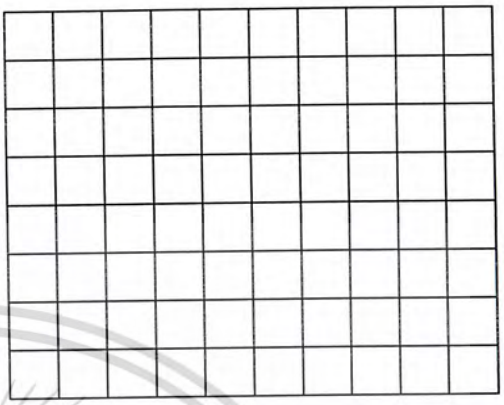
ความถี่ = ...kHz

รูปที่ 5.15 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT} ของวงจรที่ 5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึง ข้อ 3 โดยต่อวงจรตามรูปที่ 5.11 แล้วป้อนแหล่งจ่าย = 1V





อินพุต = ... Vp-p

ความถี่ = ...kHz

เอาต์พุต = ...Vp-p

ความถี่ = ...kHz

รูปที่ 5.16 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT} ของวงจรที่ 5.11

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการการทำงานของวงจรยกระดับสัญญาณ

.....

.....

.....

.....

.....

2. ถ้าเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณ Input (ใช้ R และ C ค่าเดิม) จะมีผลต่อสัญญาณ Output อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 6
ทรานซิสเตอร์สวิตช์และวงจรอินเวอร์เตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรทรานซิสเตอร์สวิตซ์และวงจรInverter ได้

2. สามารถออกแบบวงจร Inverter Circuit ตามเงื่อนไขที่กำหนด และทดสอบการทำงานของวงจร

ทฤษฎีเบื้องต้น

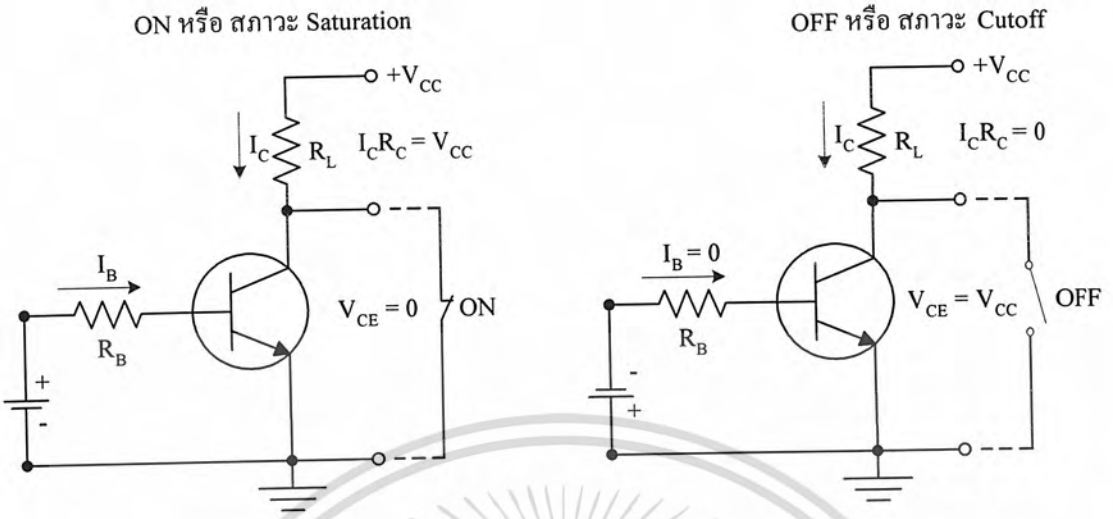
Transistor Switch Circuit

ทรานซิสเตอร์สามารถนำมาใช้เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ โดยควบคุมการทำงานให้อยู่ในย่านอิ่มตัว (Saturation) เมื่อสวิตซ์ปิด (Off) และในย่านคัทออฟ (Cutoff) เมื่อสวิตซ์เปิด (ON) ในขณะที่ทรานซิสเตอร์ได้รับ Reverse Bias จะทำงานเหมือนสวิทช์เปิด "OFF" ดังรูป จุดทำงานจะอยู่ในตำแหน่ง B ของกราฟคุณสมบัติ นั่นคือแรงดันตกคร่อมสวิตซ์ (V_{CC}) จะมีค่าเท่ากับ $-V_{CC}$ และกระแสที่ไหลผ่านสวิตซ์ (I_C) มีค่าเป็นศูนย์

ในทำนองเดียวกันเมื่อทรานซิสเตอร์ได้รับ Forward Bias ทรานซิสเตอร์จะนำกระแส และถ้าให้แรงดันไบอัสมากพอที่จะทำให้ทานซิสเตอร์นำกระแสถึงจุดอิ่มตัว (Saturation) ค่ากระแส I_C ซึ่งเป็นกระแสที่ผ่านสวิทช์จะถูกจำกัดโดยค่า R_L ขณะที่ทรานซิสเตอร์อิ่มตัวนี้ความต้านทานระหว่างขา C และขา E จะมีค่าต่ำมากทำให้แรงดันตกคร่อม V_{CE} มีค่าเป็นศูนย์ (ในทางอุดมคติ) แต่ในความเป็นจริงจะมีค่าประมาณ V_{BE} ของทรานซิสเตอร์แต่ละชนิด

ในวงจร Common Emitter นั้นค่ากระแส I_C จะถูกควบคุมโดย กระแส I_B เพราะว่า $I_C = h_{FE} I_B$ และค่า I_C นี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าแรงดัน V_{BE} ที่ป้อนเป็น Input ด้วย ดังนั้นถ้าแรงดัน V_{BE} เป็นศูนย์หรือได้รับ Reverse Bias ก็จะทำงานในลักษณะสวิทช์ปิด "OFF" แต่ถ้า V_{BE} มีค่าเป็นบวกประมาณมากกว่า 0.7 โวลต์ เพียงเล็กน้อย ทรานซิสเตอร์ก็สามารถนำกระแสได้จนถึงจุดอิ่มตัว คือเป็นสวิทช์เปิด "ON"ได้

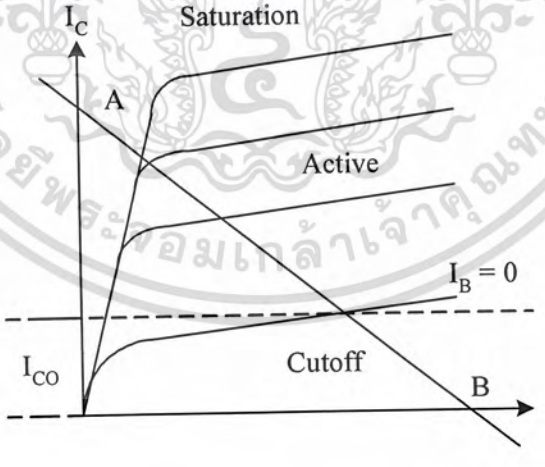
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่6.1 แสดงการทำงานของทรานซิสเตอร์ที่สภาวะ ON และ OFF

Transistor มีการทำงานอยู่ 3 สภาวะ คือ

1. Active Region เป็นย่านที่ Q ทำหน้าที่เกี่ยวกับการขยายสัญญาณ
2. Saturation Region เป็นย่านที่ Q อิ่มตัว $V_{CE} < 0.7V$
3. Cutoff Region เป็นย่านที่ Q ทำงานอยู่ต่ำกว่าระดับกระแส $I_B = 0$

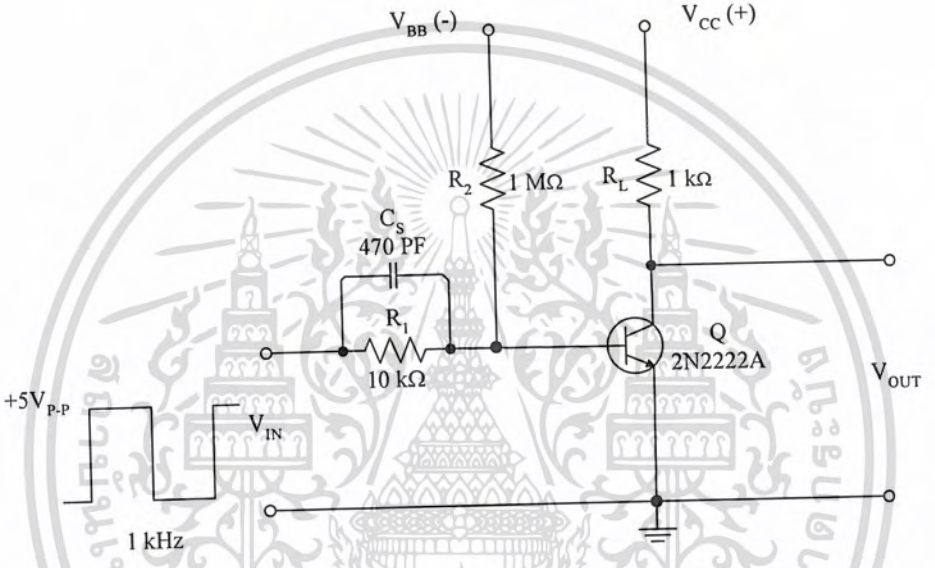


รูปที่ 6.2 แสดงการทำงาน และ ลักษณะคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ เมื่อทำงานเป็นสวิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Inverter Circuit

วงจรกลับสัญญาณ มีลักษณะของวงจรเหมือนกับวงจรทรานซิสเตอร์สวิตซ์ แต่ใช้งานในการกลับเฟสของสัญญาณไฟสลับที่เป็นพัลส์สี่เหลี่ยม หรือสัญญาณไซน์ โดยมีการเพิ่ม Speed U_P Capacitor ทางด้าน Input เพื่อให้ลักษณะของสัญญาณ Output มีช่วงเวลาไต่ขึ้น น้อยลง และต่อ V_{BB} เพื่อลดเวลาสะสมของสัญญาณ Output ทำให้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณ Input มากที่สุด การคำนวณเพื่อกำหนดอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรก็เหมือนกับวงจรทรานซิสเตอร์



รูปที่ 6.3 วงจรกลับสัญญาณโดยใช้ทรานซิสเตอร์

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	1	ชุด
2. แผงการทดลองที่ 6 ทรานซิสเตอร์สวิทช์	1	แผง

ลำดับขั้นการทดลอง

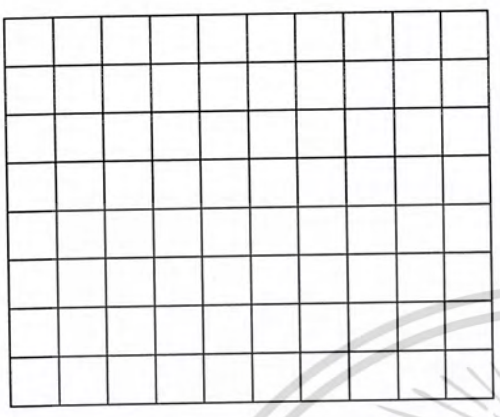
Transistor Switch Circuit

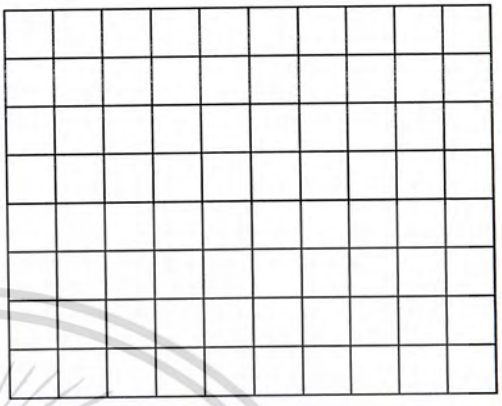
1. ใช้แผงการทดลองที่ 6 และต่อวงจรตามรูป

2. จากแผงการทดลองที่ 6 ใช้ Oscilloscope วัดสัญญาณ Input และ สัญญาณ Output ให้ได้สัญญาณ Output ที่เป็น Square Wave (Amplitude ของสัญญาณ Input และสัญญาณ Output ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บันทึกค่าอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ พร้อมสัญญาณ Input และ สัญญาณ Output





อินพุต = ... Vp-p

เอาต์พุต = ... Vp-p

รูปที่ 6.4 ผลการทดลอง Transistor Switch Circuit

Inverter Circuit

1. จงออกแบบวงจรInverter กำหนดให้ใช้ Transistor เบอร์ 2N3904 โดยให้ $V_{IN} = V_{OUT} =$ 5Vp I_C = 10 mA และ h_{FE} = 100 V_{CC} = 6 V, V_{BB} = -6 V ความถี่ = 1 kHz โดยแสดงวิธีการคำนวณ , เขียนรูปวงจร, บันทึกผลการทดลอง

ลำดับขั้นการคำนวณ (การออกแบบ)

1. หาค่า R_L
2. หาค่า I_B
3. เขียนสมการ ON Equation

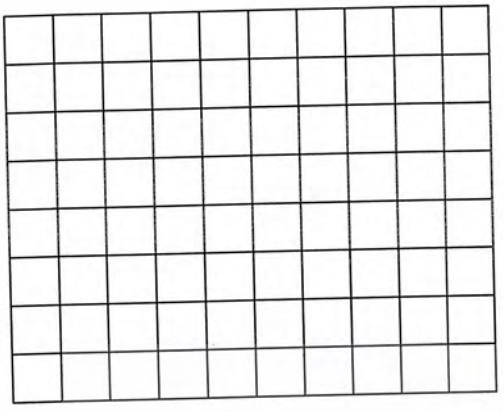
$$\frac{e_{in} - V_{BE_{sat}}}{R1} = \frac{V_{BE_{sat}} - V_{BB}}{R2} + I_B$$

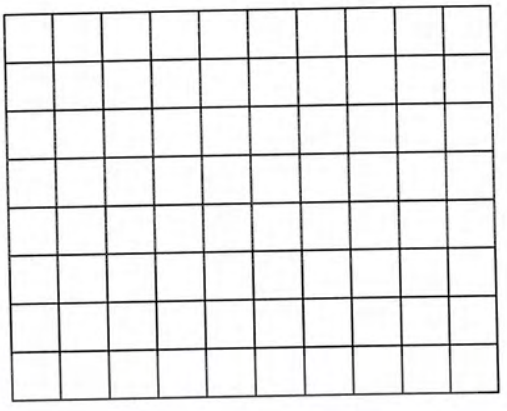
4. เขียนสมการ OFF Equation

$$\frac{V_{BE_{off}} - V_{BB}}{R2} = \frac{e_{in} - V_{BE_{off}}}{R1} + I_{CBO}$$

5. แก้สมการON และ OFF เพื่อหาค่า R_1 และ R_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





อินพุต = ... Vp-p

เอาต์พุต = ... Vp-p

รูปที่ 6.5 ผลการทดลอง Inverter Circuit

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกถึงประโยชน์และการนำไปใช้งานของวงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ และวงจรกลับสัญญาณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 7
วงจรจุดชนวนของชมิตต์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถศึกษาหลักการทำงานวงจรจุดชนวนของชมิตช์ ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ได้
2. สามารถหาค่าจุดชนวนขีดบนและจุดชนวนขีดล่างของวงจรจุดชนวนของชมิตต์ได้
3. สามารถทดลองวัดรูปคลื่นขาเข้าและขาออกของวงจรได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

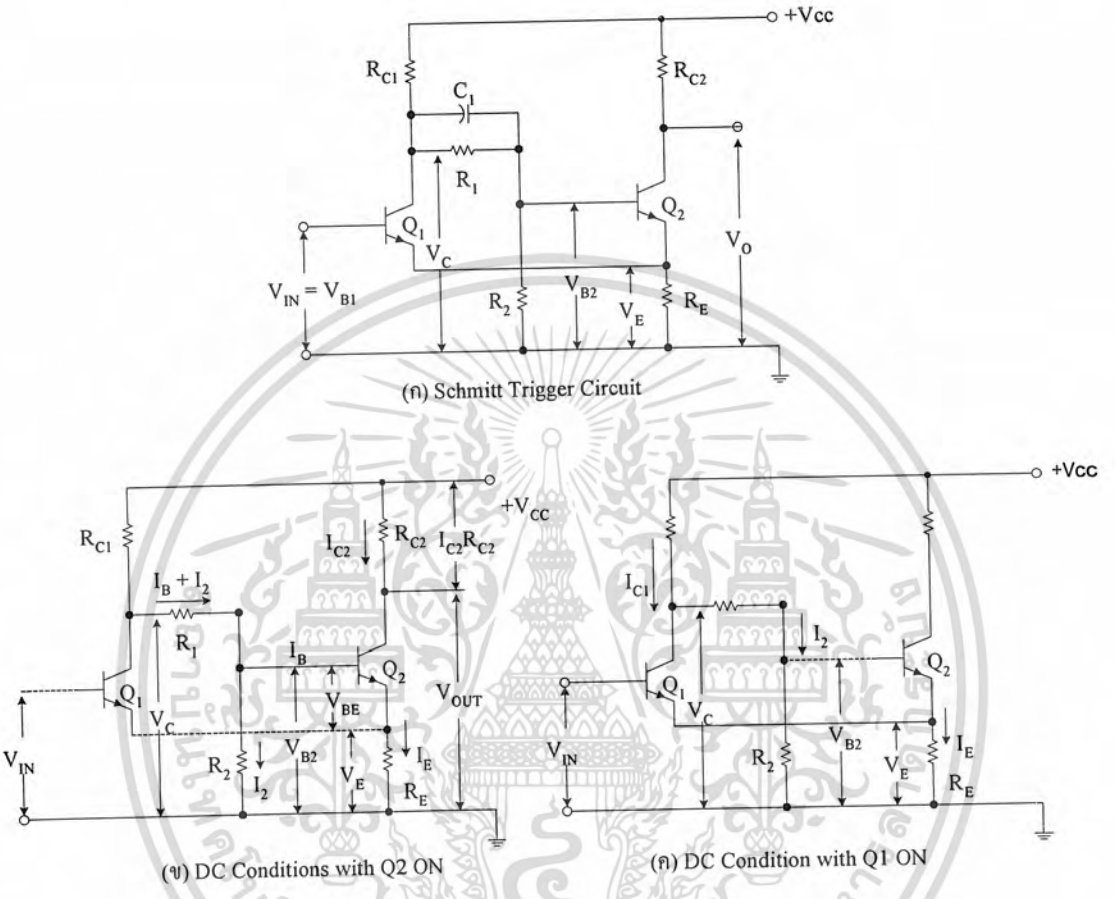
วงจรจุดชนวนของชมิตต์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ (Transistor Schmitt Trigger Circuit) ดังแสดงในรูปที่ 7.1 (ก) ประกอบไปด้วยวงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ 2 วงจรต่ออิมิเตอร์ร่วมกันและด้านออกของทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1 (Q_1) ต่อเข้ากับเบสของทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 (Q_2) ที่อิมิเตอร์จะต่อตัวต้านทานร่วม (Common Emitter Resistor, R_E) ตัวเดียวกัน กำหนดให้แรงดันที่เบสของ Q_1 คือ V_{B1} และแรงดันที่เบสของ Q_2 คือ V_{B2} สำหรับแรงดัน Output ของ Q_1 คือ V_{C1} และแรงดันเอาต์พุตของ Q_2 คือ V_o วงจรจุดชนวนของชมิตต์เป็นวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมโดยวิธีการป้อนสัญญาณแรงดันรูปคลื่นไซน์หรือคลื่นสามเหลี่ยมที่มีขนาดมากกว่าแรงดันที่ตั้งไว้กับวงจรดังกล่าวได้

จากรูปที่ 7.1 (ก) เมื่อจ่ายแรงดัน V_{CC} ให้กับวงจรและไม่ป้อนแรงดันด้านเข้า (V_i) ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะคัตออฟและเกิดกระแสคอลเลคเตอร์ของ Q_2 ผ่าน R_{C1} และผ่าน R_1 เท่ากับ (IB+I2) ดังรูปที่ 7.1 (ข) กระแสดังกล่าวจะไหลเข้าเบส Q_2 (I_B) และแยกไหลผ่าน R_2 (I_2) เกิดแรงดันตกคร่อม $R_2 = V_{B2}$ และทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_2 นำกระแสอิ่มตัว (Q_2 = on) เกิดแรงดันที่รอยต่อเบสและ อิมิตเตอร์ของ Q_2 = VBE เกิดกระแส I_{C2} ไหลผ่าน R_{C2} และผ่านคอลเล็คเตอร์ของ Q_2 มาสู่อิมิตเตอร์ เกิดกระแส I_E ผ่าน R_E และแรงดันตกคร่อม R_E คือ V_E สภาวะที่ Q_2 ทำงานนี้ Q_1 จะไม่ทำงาน (คัตออฟ) แรงดัน V_o เท่ากับ $V_E + V_{CE(sat)} = V_{CC} - I_{C2} R_{C2}$

จากรูปที่ 7.1 (ค) เมื่อปรับแรงดันด้านเข้า (V_i) ที่ป้อนให้เบสของ Q_1 เพียงพอที่จะทำให้เบสของ Q_1 เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงค่าแรงดันค่าหนึ่ง จะเกิดกระแสเบสไหลเข้า Q_1 เพียงพอที่จะทำให้ Q_1 ซึ่งคัตออฟอยู่ นำกระแสจนอิ่มตัวได้ค่าแรงดันดังกล่าวเรียกว่า UTP (Upper Trigger Point) จากรูปที่ 7.1 (ค) ค่า $UPT = V_E + V_{BE\ (set)} = V_{B2}$ เมื่อ Q_2 ทำงานถึงย่านอิ่มตัวจะเกิดกระแส I_{C1} ไหลผ่าน R_{C1} มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อิมิตเตอร์ของ Q_1 และผ่าน R_E ดังนั้น I_E ในรูป 7.1 (ค) จะเท่ากับ I_{C1} และ $V_{C1} = V_{CE\,(sat)} + V_E$ จะเห็นได้ว่ามีกระแสไหลผ่าน Q_2 ดังนั้น Q_2 จะคัตออฟ ในสภาวะแรงดัน V_o จะเท่ากับ V_{CC}



รูปที่ 7.1 วงจรจุดชนวนของชมิตต์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

เมื่อปรับแรงดัน V_{IN} จน Q_1 = on จะทำให้ Q_2 = off ถ้าต้องการเปลี่ยนสภาวะการทำงานของวงจรให้กลับ ดังรูปที่ 7.1 (ข) ทำได้ โดยปรับค่าแรงกัน V_{IN} ให้ลดต่ำกว่าค่าแรงดันค่าหนึ่ง (ซึ่งค่านี้ต่ำกว่าค่า UTP) เรียกว่าจุด LPT (Lower Trigger Point) เพราะเมื่อลดค่าV_{IN} ลงทำให้ I_B ที่ป้อนเข้า Q_1 ลดลงจนกระทั้ง Q_1 คัตออฟ กระแสจะไหลผ่านคอลเลกเตอร์ของ Q_1 จะทำให้เกิดกระแส $I_B + I_2$ ผ่าน R_1 เกิดสภาวะการทำงาน ดังรูปที่ 7.1 (ข) อีกครั้ง

วงจรจุดชนวนของชมิตต์จะทำงาน 2 สภาวะเท่านั้น คือ

1. เมื่อ V_{IN} มากกว่าหรือเท่ากับ UTP ทำให้ Q_1 = on, Q_2 = off
2. เมื่อ V_{IN} น้อยกว่าหรือเท่ากับ LTP ทำให้ Q_1= off, Q_2 = on

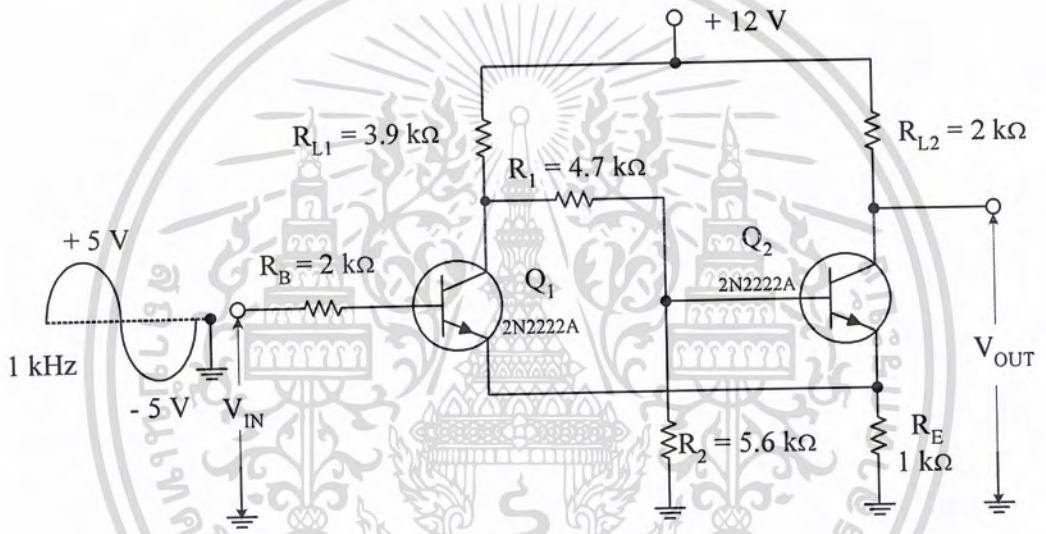
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ 1 ชุด
2. แผงการทดลองที่ 7 (วงจรจุดชนวนของชมิตต์) 1 แผง
3. มัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรทดลองดังรูปที่ 7.2 ปรับค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้า V_{IN} ให้เท่ากับ 0 โวลต์



รูปที่ 7.2 วงจรการทดลองข้อ 1 วงจรจุดชนวนของชมิตต์

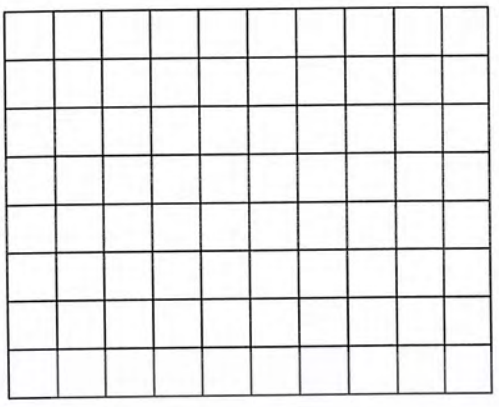
2. คลิกปุ่มทดสอบวัดสัญญาณและตั้งออสซิลโลสโคป ดังนี้

แชนแนล 1 และ 2 : V/div 5 V

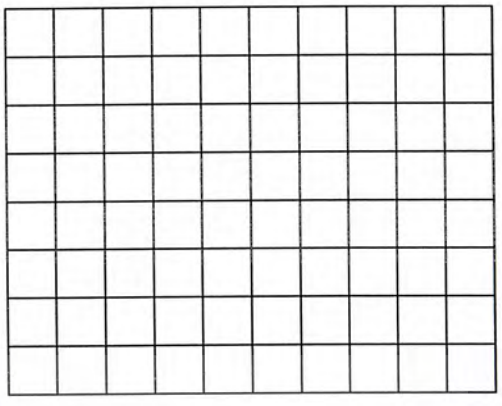
: T/div 0.5 mS

3. ใช้แชนแนล 1วัดรูปคลื่นไซน์ทางด้านเข้าของวงจร V_{IN} (V_1) และแชนแนล 2 วัดรูปคลื่นขาออก V_{OUT} (V_2) ของวงจร บันทึกผลการวัดในกราฟที่ 7.1 (ก) และ (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 7.3 (ก)



กราฟที่ 7.3 (ข)

กราฟที่ 7.3 ผลการทดลองของวงจรจุดชนวนของชมิตต์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีสัญญาณขาเข้าเป็นคลื่นไซน์

คำถามท้ายการทดลอง

1. วงจรชมิตต์ทริกเกอร์ถูกนำไปใช้งานประโยชน์อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. จงอธิบายการทำงานของวงจรจุดชนวนของชมิตต์มาพอเข้าใจ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

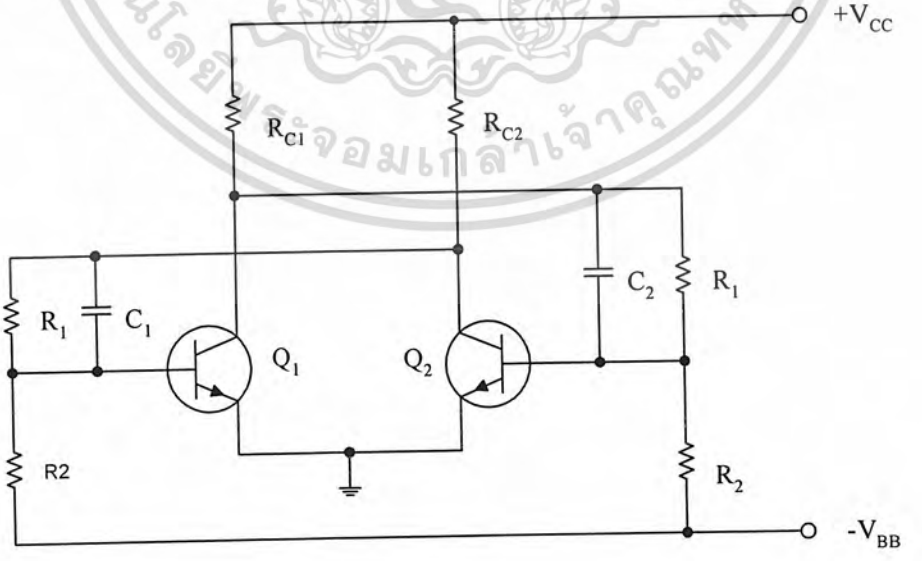
ใบงานที่ 8
วงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ได้
2. สามารถออกแบบวงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ตามเงื่อนไขที่กำหนดได้
3. สามารถปฏิบัติการต่อวงจรที่กำหนด และทดสอบการทำงานของวงจร ได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรไบสเตเบิลชนิดคอลเลคเตอร์คัปเบิล คือ วงจรที่ใช้สร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมได้ โดยการรับสัญญาณแรงดันจุดชนวนจากภายนอก โครงสร้างภายในประกอบไปด้วยวงจรสวิตช์ 2 วงจร โดยปกติใช้ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการสวิตช์ สำหรับวงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ เป็นวงจรที่มีการทำงาน 2 สภาวะ คือ สภาวะที่ Q_1 = on, Q_2 = off และสภาวะที่ Q_1 = off, Q_2 = on วงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ จะเปลี่ยนสภาวะการทำงานได้ โดยการใช้สัญญาณจุดชนวนจากวงจรจุดชนวนภายนอก (Trigger Circuit) จุดชนวนที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 หรือ Q_2 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แสดงในรูปที่ 8.1



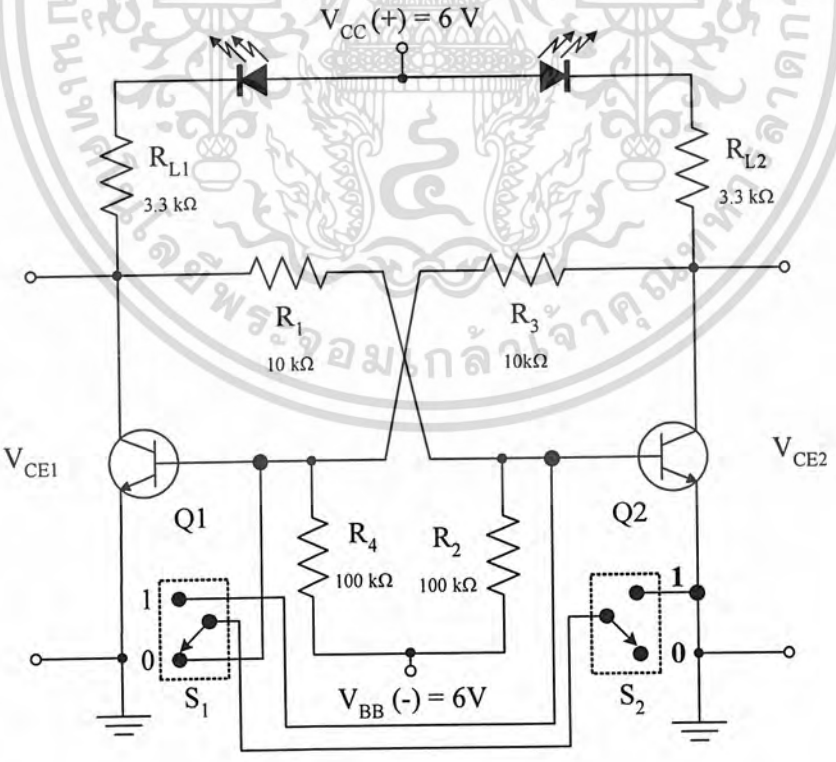
รูปที่ 8.1 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แบบคอลเลกเตอร์คัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1 วงจรไบสเตเบิล ประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ NPN เบอร์เดียวกัน 2 ตัว คือ Q_1 และ Q_2 และค่า $R_{C1} = R_{C2}$, $C_1 = C_2$, $R_1 = R_1$, $R_2 = R_2$

เมื่อพิจารณาวงจรรูปที่ 1 จะเห็นว่า Q_1 เป็นวงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์วงจรที่ 1 และต่อด้านออกของ Q_1ไปป้อนเข้าที่เบสของสวิตช์ตัวที่ 2 (Q_2) และต่อด้านออกของ Q_2 ไปที่เบสของ Q_1 เช่นกัน เนื่องจากค่าความต้านทานของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวเท่ากัน ดังนั้น เมื่อต่อไบอัสให้วงจรจะเกิดสภาวะการทำงาน คือ ทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งจะทำงานในสภาวะอิ่มตัว (Saturation = on) ทำให้ทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่งทำงานในสภาวะคัตออฟ (Cutoff = off)

การจุดชนวนวงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Bistable Multivibrator Tiggering Circuit) การจุดชนวนวงจรไบสเตเบิลให้เปลี่ยนสภาวะการทำงานของวงจรให้กลับเป็นสภาวะการทำงานตรงข้ามได้ 2 วิธี คือ การให้พัลส์บวกและการให้พัลส์ลบจุดชนวน โดยนำพัลส์บวกจุดชนวนเข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ตัวที่หยุดนำกระแส (off) ให้ทำงานในสภาวะนำกระแสอิ่มตัว (on) หรือนำพัลส์ลบจุดชนวนเข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ตัวที่กำลังทำงานอยู่ (on) ให้หยุดทำงาน ทั้ง 2 วิธีนี้ สามารถต่อวงจรจุดชนวนได้หลายแบบ เช่น วงจรจุดชนวนที่คอลเลกเตอร์ และวงจรจุดชนวนที่ขาเบส เป็นต้น



รูปที่ 8.2 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นตอนการออกแบบ

1. หาค่า R_L โดยสมมติว่า T_r "ON" $R_L = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$

2. หาค่า I_B $I_B = \frac{I_C}{h_{FE_{\min}}}$

3. หาค่า R_1 และ R_2

สมการ ON Circuit Equation

$$\frac{V_{CC} - V_{BE_{sat}}}{R_L} = \frac{V_{BE_{sat}} - V_{BB}}{R_2} + I_B$$

สมการ OFF Circuit Equation

$$\frac{V_{BE_{OFF}} - V_{BB}}{R_2} = \frac{V_{BB_{sat}} - V_{BE_{OFF}}}{R1} + I_{CBO}$$

แก้สมการ Quadratic โดยใช้สูตร

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4_{ac}}}{2_a}$$

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
2. แผงการทดลองที่ 8 (วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์) 1 แผง
3. มัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำแผงการทดลองที่ 8 ต่อเข้ากับชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เลื่อนตำแหน่งสวิตซ์ S_1 และ S_2 บนแผงการทดลองที่ 8 เพื่อจุดชนวนวงจรไบสเตเบิล ตามที่กำหนดตำแหน่งไว้ในตารางที่ 8.1 และใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดัน V_{CE1}, V_{BE1}, V_{CE2}, V_{BE2} และบันทึกค่าที่วัดได้ในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง ข้อ 2

ตำแหน่งสวิตซ์		V_{CE1} (โวลต์)	V_{BE1} (โวลต์)	V_{CE2} (โวลต์)	V_{BE2} (โวลต์)
S_1	S_2				
0	0				
0	1				
1	0				
1	1				

3. เลื่อนตำแหน่งสวิตซ์ S_1 และ S_2 ตามตารางที่ 8.2 บันทึกผลการติดดับของไดโอดเปล่งแสงลงในตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 ตารางบันทึกผลการทดลอง ข้อ 3

ตำแหน่งสวิตซ์		LED1	LED2
S_1	S_2		
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

4. จงออกแบบวงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ ให้ V_{CC} = 9V V_{BB} = -9 Q = 2N222A IC = 30mA hfe = 30 I_{B0} = 0.5 μF, $V_{CE(sat)}$ = 0.3, $V_{BE(off)}$ = -0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เลื่อนตำแหน่งสวิตซ์ S_1 และ S_2 บนแผงการทดลองที่ 8 เพื่อจุดชนวนวงจรไบสเตเบิล ตามที่กำหนดตำแหน่งไว้ในตารางที่ 8.3 และใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดัน V_{CE1}, V_{BE1}, V_{CE2}, V_{BE2} และบันทึกค่าที่วัดได้ในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 8.3

ตารางที่ 8.3 ตารางบันทึกผลการทดลอง ข้อ 5

ตำแหน่งสวิตซ์		V_{CE1} (โวลต์)	V_{BE1} (โวลต์)	V_{CE2} (โวลต์)	V_{BE2} (โวลต์)
S_1	S_2				
0	0				
0	1				
1	0				
1	1				

6. เลื่อนตำแหน่งสวิตซ์ S_1 และ S_2 ตามตารางที่ 8.4 บันทึกผลการติดดับของไดโอดเปล่งแสงลงในตาราง

ตารางที่ 8.4 ตารางบันทึกผลการทดลอง ข้อ 6

ตำแหน่งสวิตซ์		LED1	LED2
S_1	S_2		
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายความหมายของวงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

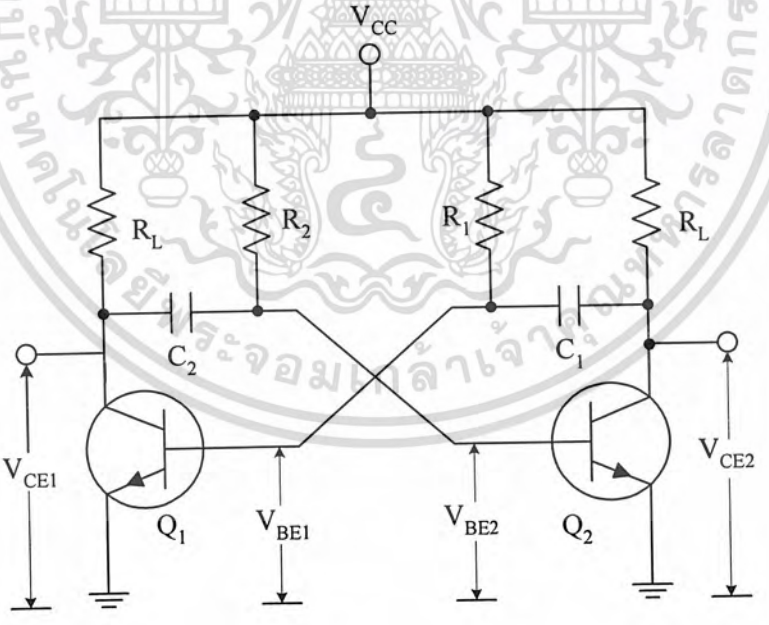
ใบงานที่ 9
วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจร อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
2. สามารถออกแบบวงจร อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ตามเงื่อนไขที่กำหนดได้
3. สามารถปฏิบัติการต่อวงจรที่กำหนด และทดสอบการทำงานของวงจรได้ถูกต้อง

ทฤษฎีเบื้องต้น

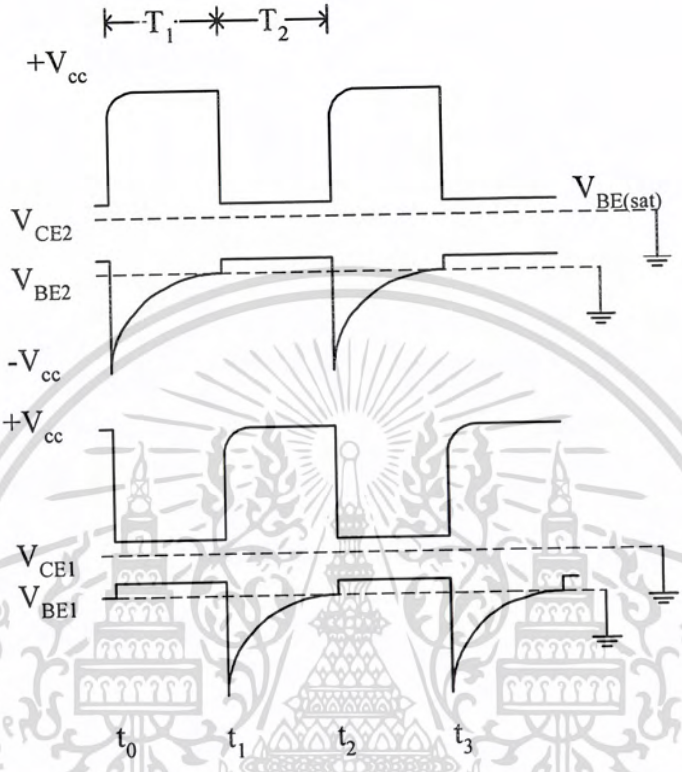
วงจรอะสเตเบิลเป็นวงจรที่ประกอบด้วย วงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วมสองวงจร โดยมีการคัปปลิ้งสัญญาณเอาต์พุตของแต่ละวงจร โดยวงจรอาร์-ซี ทำให้สภาวะการทำงานของวงจรขยายทั้งสองทำงานแบบสภาวะกึ่งคงตัว (Semi-Stable) โดยไม่ต้องมีสัญญาณภายนอกมาทริกเกอร์



รูปที่ 9.1 วงจรอะสเตเบิลแบบคอลเลคเตอร์คัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรจึงอยู่ในลักษณะออสซิลเลเตอร์ ที่ให้กำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม รูปร่างและขนาดต่างๆ แสดงในรูป



รูปที่ 9.2 รูปของสัญญาณที่จุดต่างๆ ในวงจรอะสเตเบิล

ถ้าให้ช่วงเวลาที่ T_2 คัทออฟเป็น t_1 และช่วงเวลาที่ T_1 คัทออฟเป็นเวลา t_2 ดังนั้นเวลา T ใน 1 ไซเคิลก็จะมีค่าเป็น

$$T = t_1 + t_2$$

ซึ่งค่าของ t_1 และ t_2 ขึ้นอยู่กับค่าคงตัวเวลาของ อาร์-ซี แต่ละชุดคือ

$$t_1 = 0.69R1C1$$
$$t_2 = 0.69R2C2$$

ดังนั้น ความถี่การออสซิเลตของวงจรอะสเตเบิลคือ

$$f = \frac{1}{T}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f = 1\frac{1}{(t_1 + t_2)}$$

$$f = \frac{1}{(0.69R_1C_1 + 0.69R_2C_2)}$$

ในกรณีที่ duty cycle ของสัญญาณเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ หรือ $t_1 = t_2$ จะได้ว่า

$$f = \frac{1}{2t}$$

$$= \frac{1}{2(0.69RC)}$$

$$f = \frac{1}{1.38RC}$$

<u>ลำดับขั้นตอนการออกแบบ</u>

1. คำนวณหาค่า โดยพิจารณาให้ ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะทำงาน

$$R_L = \frac{V_{CC} - V_{CE_{SAT}}}{I_C}$$

2. คำนวณหาค่า โดยพิจารณาจาก ทรานซิสเตอร์ในสภาวะทำงานที่ทำให้ถึงจุดอิ่มตัว

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE_{min}}}$$

3. หา R_B ($R_B = R_{B_1} = R_{B_2}$)

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE_{sat}}}{I_B}$$

4. หาค่า C_1, C_2

เมื่อ $t_2 - t_1$ =Duration of Output Pulse=.....μS

$$C_2 = \frac{t}{0.693R_{B_1}}$$

เมื่อ ($t_1 - t_0$)=ระยะห่างระหว่าง Output Pulse=.....μ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์

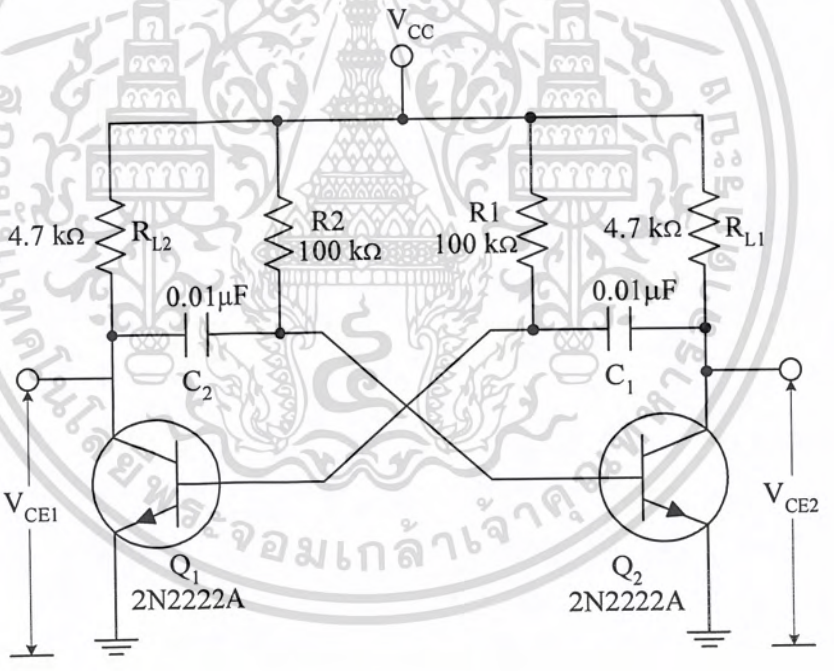
1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
2. แผงการทดลองที่ 9 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ 1 แผง
3. มัลติมิตเตอร์ 1 เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำแผงการทดลองที่ 9 มาต่อกับชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์
2. ต่ออุปกรณ์ตามรูปวงจร ตั้งออสซิลโลสโคป ดังนี้

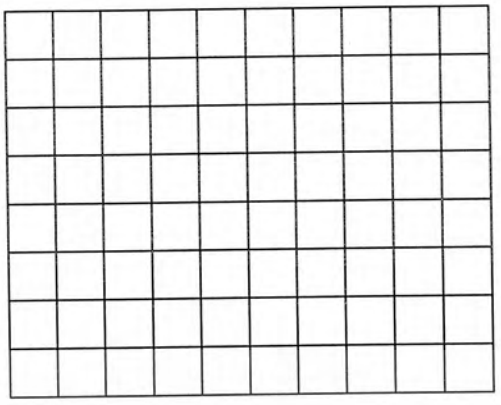
แชนแนล 1 และ 2 : V/div = 5V

: T/div = 1 mS

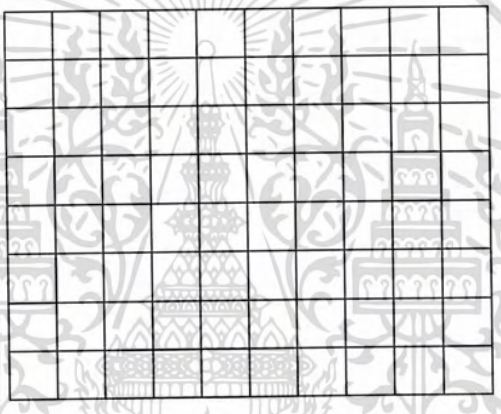


3. ใช้ออสซิลโลสโคปแชนแนล 1 วัดรูปคลื่น V_{CE1} และแชนแนล 2 วัดรูปคลื่น V_{CE2} บันทึกผลการทดลองลงในรูปที่ 9.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



V_{CE1}.....Vp-p



V_{CE2}.....V p-p

รูปที่ 9.3 ผลการทดลองวัดสัญญาณ วงจรวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

4. ให้นักศึกษาออกแบบวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์โดยแสดงวิธีการคำนวณ กำหนดให้มีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 5 Vp-p, V_{CC} = 6 V มีความกว้างของพัลส์ tp = 10 μs Prf = 1kHz Q = 2N3904 I_C = 10 mA, hfe = 100 $V_{BE(on)}$ = 0.75, $V_{CE(sat)}$ = 0.2 และวัดสัญญาณ V_{CE1} และ V_{CE2} พร้อมบันทึกรูปคลื่นสัญญาณลงในตารางบันทึกผลการทดลอง

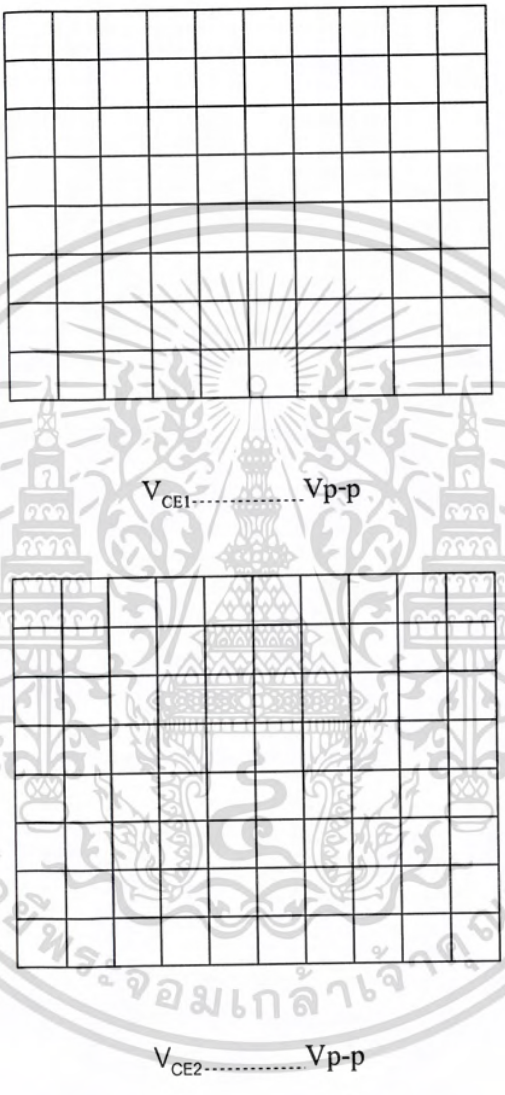
5. ต่ออุปกรณ์ตามรูปวงจร ตั้งออสซิลโลสโคป ดังนี้

แชนแนล 1 และ 2 : V/div = 5V

: T/div = 1 mS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ใช้ออสซิลโลสโคปแชนแนล 1 วัดรูปคลื่น V_{CE1} และแชนแนล 2 วัดรูปคลื่น V_{CE2} บันทึกผลการทดลองลงในรูปที่ 9.4



รูปที่ 9.4 ตารางบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการทำงานของวงจร วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. จงอธิบายถึงประโยชน์ และ การนำไปใช้งานของวงจร วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

..

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

..

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 10
โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

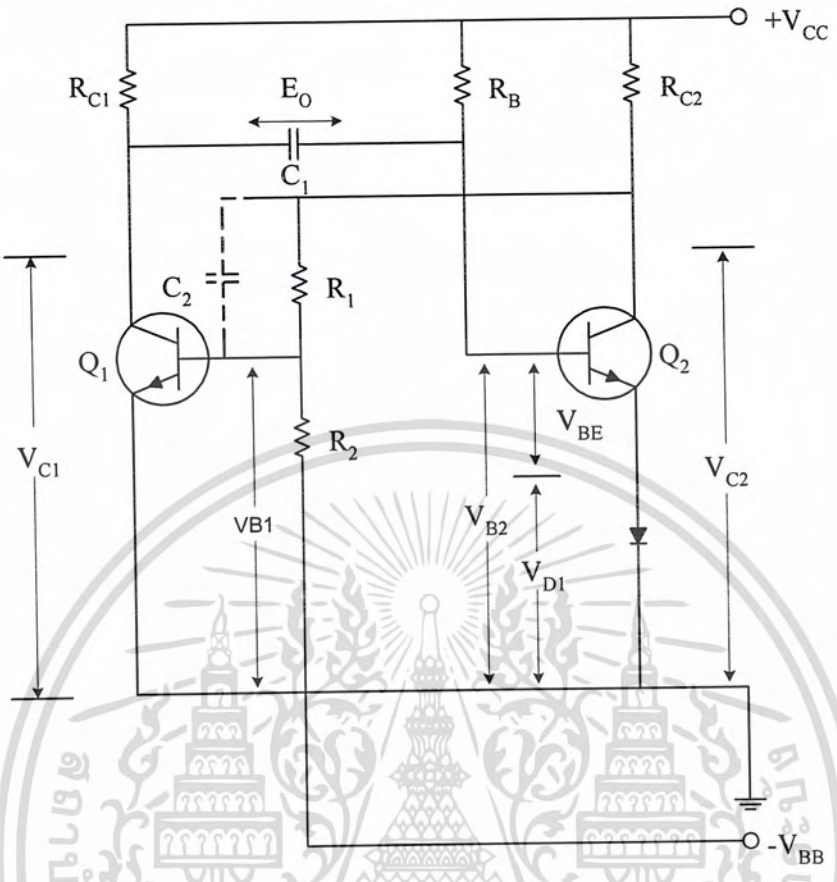
1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบอร์เตอร์ได้
2. สามารถออกแบบวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบอร์เตอร์ ตามเงื่อนไขที่กำหนดได้
3. สามารถปฏิบัติการต่อวงจรที่กำหนด และทดสอบการทำงานของวงจรได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรโมโนสเตเบิลหรือวงจรวันช็อต (One-shot Multivibrater) เป็นวงจรที่สร้างหรือกำเนิดรูปคลื่นสี่เหลี่ยมครั้งละ 1 พัลส์ โดยต้องมีสัญญาณพัลส์จุดชนวนจากภายนอกเป็นตัวกำหนดจำนวนพัลส์ด้านออก และพัลส์สี่เหลี่ยมที่กำเนิดได้ จากวงจรโมโนสเตเบิลสามารถกำหนด PW ของสัญญาณได้ โดยกำหนดค่าตัวความต้านทาน และ ตัวเก็บประจุจากวงจรโมโนสเตเบิลแบบคอลเลคเตอร์อีกตัวหนึ่ง ดังรูป

การทำงานของวงจรในสภาวะปกติ วงจรโมโนสเตเบิลแบบคอลเลกเตอร์คัปเปิล ดังแสดงในรูปที่ 10.1 ที่ขาเบสของ Q_2 ต่อกับความต้านทาน R_B และต่อกับไบอัส $+V_{CC}$ ดังนั้นจึงมีกระแสในสภาวะอิ่มตัว (Q_2 = on) ดังนั้น $V_{C2} = V_{CE(sat)} + V_{D1}$ (ไดโอด D_1 ต่อเพื่อป้องกันรอยต่ออิมิตเตอร์และเบสของ Q_2) และในสภาวะปกติที่จะเกิดแรงดันไฟฟ้าประจุอยู่ใน C_1 มีค่าเท่ากับ E_o ($Eo = V_{CC} - V_{B2}$) ดังรูปที่ 10.1 ที่เบสของ Q_1 จะต่อ R_1 ไปที่คอลเลกเตอร์ของ Q_2 และจะต่อ R_2 เข้ากับแหล่งจ่ายไบอัสลบ ทำให้ Q_1 ไม่นำกระแส ผลคือ $V_{C1} = V_{CC}$ สรุปในสภาวะปกติ Q_1 = off, Q_2 = on และสัญญาณเอาต์พุตของวงจร คือ $V_{C2} = V_{CE(sat)} + V_{D1}$ และ $V_{B2} = V_{BE} + V_{D1}$ ซึ่งจะมีค่าเป็นลบประมาณ $V_{B2} = V_{C1} - E_O$ ไม่มีกระแสคอลเลกเตอร์ไหลผ่าน R_{C1} ทำให้ V_{C1} มีค่าประมาณเท่ากับ V_{CC}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

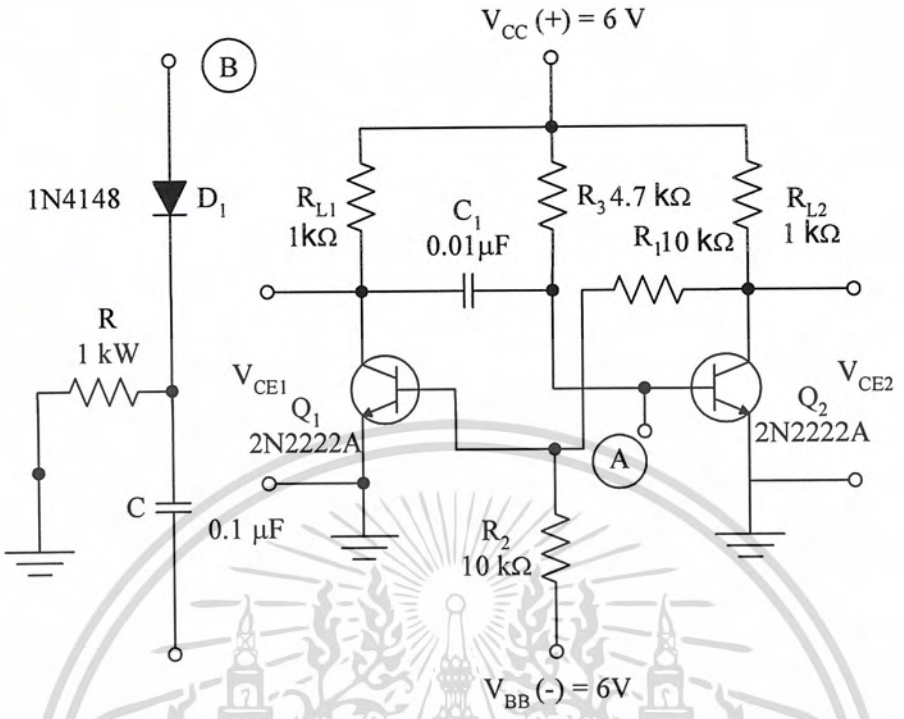


รูปที่ 10.1 วงจรโมโนสเตเบิลแบบคอลเลกเตอร์คัปเปิลในสภาวะปกติไม่มีสัญญาณพัลส์จุดชนวนจากภายนอกมาควบคุมการทำงาน

การทำงานของวงจรในสภาวะที่ได้รับสัญญาณจุดชนวน สัญญาณจุดชนวนที่จะบังคับให้วงจรโมโนสเตเบิลในรูปที่ 10.1 ทำงานได้จะใช้พัลส์จุดชนวนแบบบวก

การจุดชนวนวงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ สัญญาณพัลส์ที่ใช้จุดชนวนให้วงจรโมโนสเตเบิลทำงานได้มี 2 ลักษณะคือ ใช้พัลส์บวกจุดชนวนที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 (ตัวที่ off อยู่) ให้ทำงาน หรือวิธีใช้พัลส์ลบจุดชนวนที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10.2 วงจร โมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

<u>ลำดับขั้นตอนการออกแบบ</u>

1. คำนวณหาค่า R_L โดยพิจารณา T_r ให้สภาวะ "ON"

$$RL = \frac{V_{CC} - V_{CE_{SAT}}}{IC}$$

2. คำนวณหาค่า I_B โดยพิจารณาจาก T_r "ON" ที่ทำให้ I_C ถึงจุด Sat

$$I_B = \frac{Ic}{h_{FE_{\min}}}$$

3. คำนวณหาค่า R ที่ทำให้ได้ I_B ตามข้อ 2

$$V_{CC} = I_B \cdot R + V_{BE_{SAT}}$$

4. เขียน Off Circuit Node Equation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ Off circuit Equation

$$V_{BE_{off}} = [\ \frac{R_1}{R1 + R2}\ ] \times V_{BB}$$

5. เขียน On Circuit Node Equation

สมการ ON Circuit Equation

$$\frac{V_{CC}\ V_{BE_{sat}}}{R_L + R_1} = \frac{V_{BE_{sat}}\ \ V_{BB}}{R_2} + I_B$$

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
2. แผงการทดลองที่ 10 วงจรโมโนสเตเบิล มัลติเบิลไวเบรเตอร์ 1 แผง
3. มัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำแผงการทดลองที่ 10 ต่อเข้ากับชุดปฏิบัติการทดลองแล้วต่อวงจรดังรูป
2. เมื่อต่อแผงทดลองตามข้อที่ 1 แล้วยังไม่ต้องป้อนสัญญาณ เข้าที่จุด A ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่า V_{CE1} และ V_{CE2} และบันทึกค่า

V_{CE1} = _____ โวลต์

V_{CE2} = _____ โวลต์

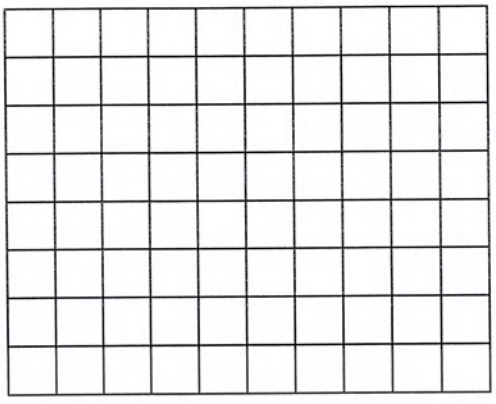
3. คลิกปุ่มทดลองวัดสัญญาณ ตั้งไว้ดังนี้

แชนแนล 1 V/Div = 2 V

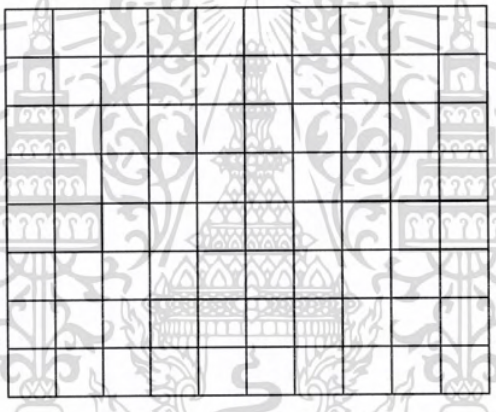
2 V/Div = 2 V ความถี่ = 200 Hz 6 Vp-p

4. นำสัญญาณจากจุด A ต่อเข้ากับจุด B ของวงจรรูปที่ 10.2
5. ใช้ออสซิลโลโคป แชนแนล 1 วัดรูปคลื่น V_{CE1} และแชนแนล 2 วัดรูปคลื่น V_{CE2} แล้วบันทึกผลลงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



V_{CE1} = ... Vp-p



V_{CE2} = ... Vp-p

รูปที่ 10.3 ตารางบันทึกผลการทดลอง

6. จงออกแบบวงจร โมโนสเตเบิล V_{CC} = 9V, V_{BB} = -9, IC = 20 mA Output pulse duration = 200 μsec Q = 3904 มีค่า hfe = 20 I_{CB0} = 0, $V_{BE(sat)}$ = 0.7, $V_{BE(off)}$ = -0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการทำงานของวงจร โมโนสเตเบิล มัลติเบิลไวเบรเตอร์

.....

.....

.....

.....

.....

2. จงอธิบายถึงผลกระทบของการต่อวงจร โมโนสเตเบิล มัลติเบิลไวเบรเตอร์ ว่ามีอะไรบ้าง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 11

การใช้งานไอซี 555 เป็นอะสเตเบิล

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถสร้างวงจรโมโนสเตเบิลและอะสเตเบิล โดยใช้วงจรรวมเบอร์ 555 ได้
2. สามารถทดลอง กำหนดค่าคาบเวลาของสัญญาณด้านออกของวงจรได้
3. สามารถทดลองหาความสัมพันธ์ของค่าคงตัวเวลาของวงจร กับความถี่ของสัญญาณด้านออกได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรอะสเตเบิลที่ใช้ไอซี เบอร์ 555 (555 Astable Multivibrator) สร้างได้ โดยต่อขา 2 (Trigger Input) เข้ากับขา 6 (Threshold) ซึ่งต่อ C_A อยู่ เพื่อให้แรงดันที่เปลี่ยนแปลงของ C_A ป้อนเข้ากระตุ้นการทำงานของวงจรแทนสัญญาณจุดชนวนจากภายนอก พิจารณาจากรูปที่ 11.1(ก) และเพิ่ม R_B เป็นตัวต้านทานที่ใช้ในการเก็บและการคายประจุของ C_A โดยต่อเข้ากับขา 7 (Discharge)

การทำงานของวงจร เมื่อ V_{CA} ต่ำกว่า 1/3 VCC แรงดันที่ขาลบของออปแอมป์ เปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 2 จะต่ำกว่าแรงดันที่ขาบวก (เพราะ VCA = 1/3VCC) ลอจิกด้านออกของออปแอมป์ตัวที่ 2 จะเป็น high และฟลิปฟลอปจะอยู่ในสภาวะ Set ทำให้ Q เป็น low ขณะนี้ Q_1 จะ off และ C_A จะทำการเก็บประจุผ่าน R_A และ R_B เมื่อ C_A เก็บประจุจนแรงดันเท่ากับ $2/3V_{CC}$ ที่ขาบวกของออปแอมป์ เปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 1 จะมีแรงดันต่ำกว่าที่ขาลบ ด้านออกของออปแอมป์ตัวที่ 1 จะเป็น high ทำให้สถานะของฟลิปฟลอปเป็น Reset ผล คือ Q = high และทรานซิสเตอร์ Q_1 = on ทำให้ C_A คายประจุผ่าน Q_1 ที่ R_B และ C_A จะคายประจุจนกระทั่งแรงดัน $V_{CA} = 1/3V_{CC}$ ที่จุดนี้ด้านออกของฟลิปฟลอปเป็น low ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะ off อีกครั้ง กระบวนการนี้จะเกิดต่อเนื่องตลอดไป ผลที่ได้รับคือ V_o ที่ขา 3 ของไอ.ซี. 555 เป็นรูปพัลส์สี่เหลี่ยมที่มี PW = t_1 ดังรูปที่ 11.1 (ก)

การออกแบบวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้ไอซี 555 คือ การคำนวณค่า R_A, R_B และ C_A ที่เหมาะสมกับความถี่ของ V_o ที่ต้องการ โดยพิจารณาที่ C_A เก็บประจุจะมีกระแส I_C ผ่าน (R_A + R_B) จากแรงดัน $1/3V_{CC}$ จนถึง $2/3V_{CC}$ ดังนั้น E_o จะเท่ากับ $1/3V_{CC}$ และ $2/3V_{CC}$ และแรงที่จ่ายให้กับตัวเก็บประจุ E = V_{CC} จากสมการ

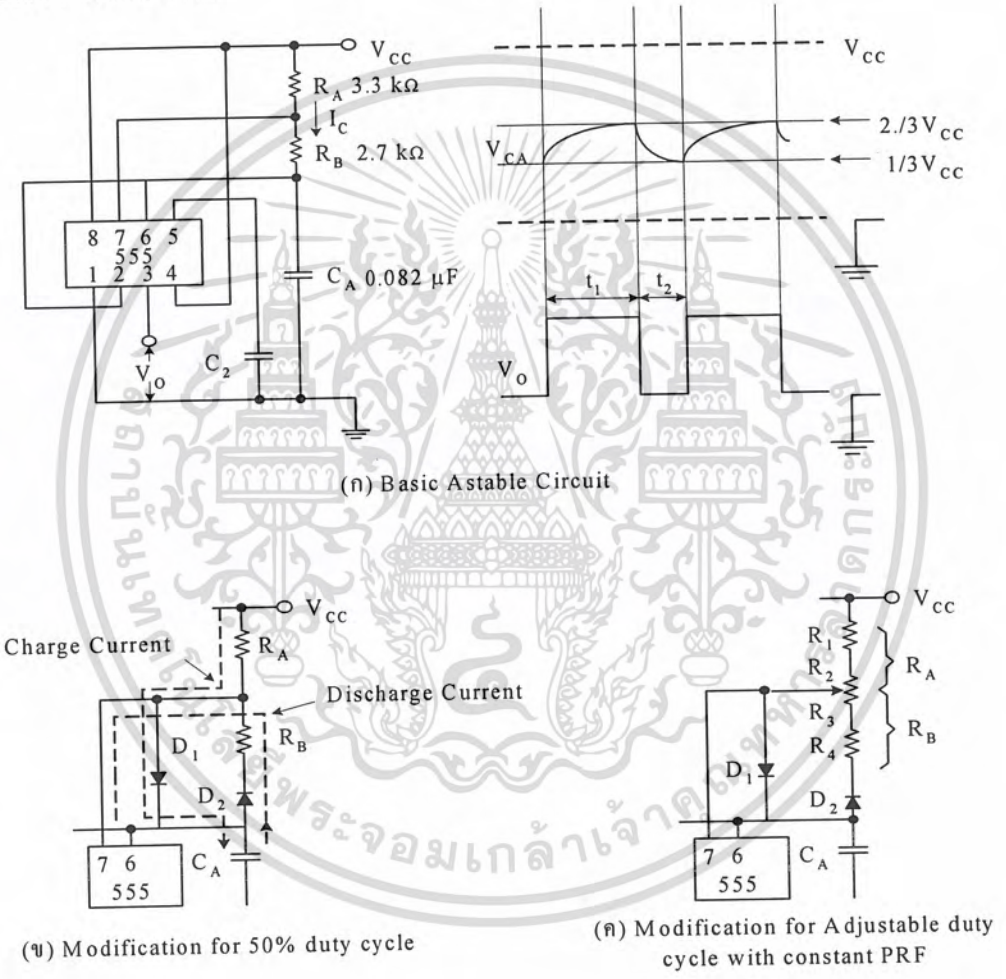
$$t_1 = 0.693\, C_A\, (R_A + R_B) \qquad (11.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ C_A คายประจุ ค่าของ $R_o = 2/3V_{CC}$, $e_C = 2/3V_{CC}$ และ $E = 0$ เมื่อแทนค่าเหล่านี้ลงในสมการจะได้ว่า

$$t = 0.693\, C_A R_B \qquad (11.2)$$

จากสมการ 11.1 จะพิจารณาได้ในรูปที่ 11.1 (ก) กระแสในการเก็บประจุจะไหลผ่าน $(R_A + R_B)$ แต่เมื่อพิจารณาสมการ 11.2 จะเห็นว่ากระแสในการคายประจุจะผ่านเฉพาะ R_B และไหลเข้าขา 7 ของไอซี 555



รูปที่ 11.1 (ก) วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ ที่ใช้วงจรรวมเบอร์ 555

(ข) ทิศทางของกระแส Charge และ Discharge ของ C_A

(ค) วงจรการปรับค่า Duty Cycle ของ V_o

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์

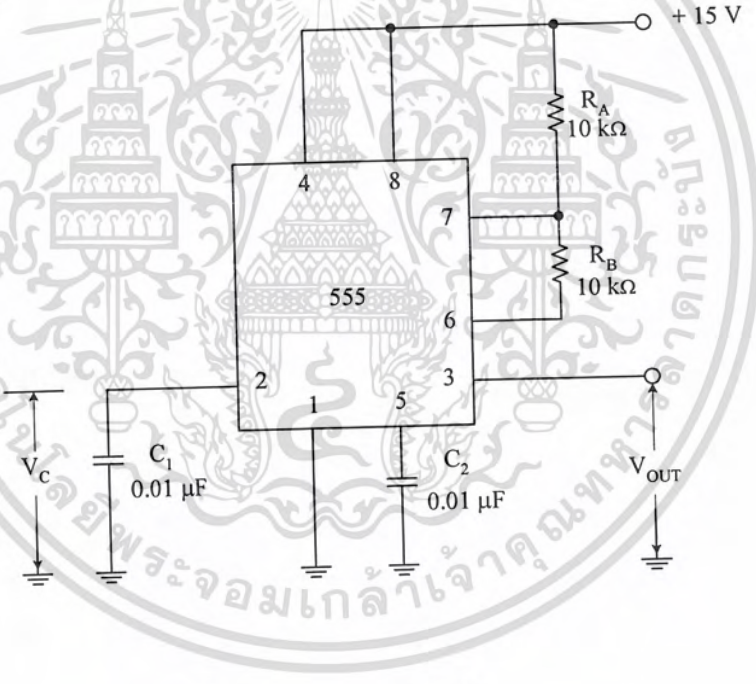
1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
2. แผงการทดลองที่ 11 การใช้งานไอซี 555 เป็นอะสเตเบิล 1 แผง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำแผงการทดลองที่ 11 มาต่อกับชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิค
2. ต่อวงจรตามรูปวงจร ตั้งออสซิลโลสโคป ดังนี้

แชนแนล 1 และ 2 : v/Div = 2 V

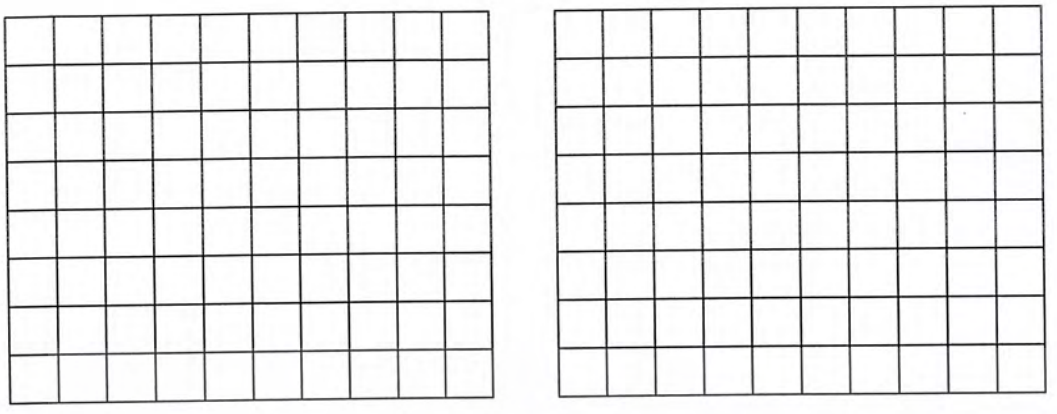
: v/Div = 50 μF



รูปที่ 11.2 วงจรการทดลองข้อ 1

3. ใช้ออสซิลโลสโคปแชนแนล 1 วัดสัญญาณ V_C เทียบกราวด์ และ แชนแนล 2 วัดสัญญาณ V_{OUT} และบันทึกรูปสัญญาณที่ได้ลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 11.3

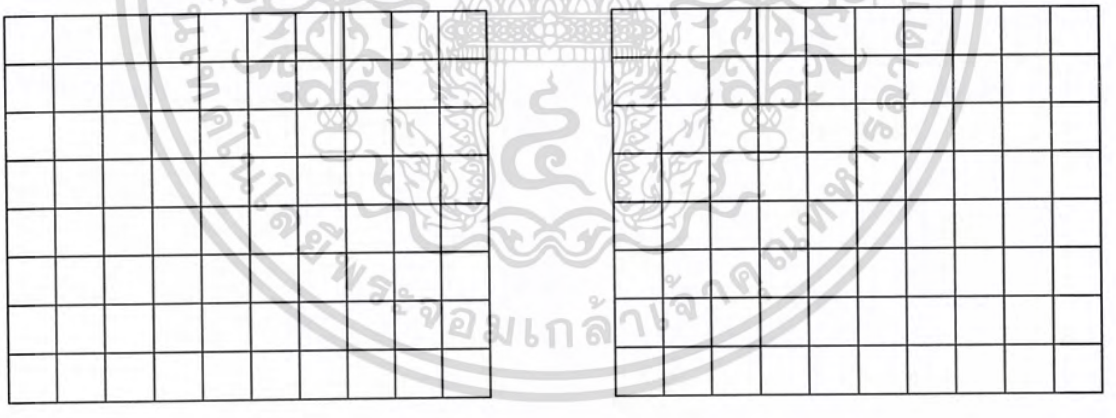
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตาราง V_C..... ตาราง V_{OUT}.....

รูปที่ 11.3 ตารางผลการทดลองวงจรอะสเตเบิล ที่ใช้วงจรรวมเบอร์ 555 เมื่อ $R_A = 10\ k\Omega$

4. เปลี่ยนค่า R_A ใหม่เป็น 1 kΩ ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง บันทึกผลการวัดรูปคลื่น V_C และเทียบกราวด์ และ V_{OUT} ลงในตารางการทดลองที่11.4



ตาราง V_C..... ตาราง V_{OUT}.....

รูปที่ 11.4 ตารางผลการทดลองวงจรอะสเตเบิล ที่ใช้วงจรรวมเบอร์ 555 เมื่อ $R_A = 1\ k\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงคำนวณหาค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ของรูปคลื่น V_{OUT} เมื่อ R_A = 10 kΩ และ R_B = 10 kΩ

1.1 เมื่อ R_A = 10 kΩ, R_B = 10 kΩ

Duty Cycle = ...

1.2 เมื่อ R_A = 1 kΩ, R_B = 10 kΩ

Duty Cycle = ...

2. ความถี่ด้านออกของสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่ได้ จากวงจรอะสเตเบิลที่ใช้วงจรรวมเบอร์ 555 เปลี่ยนแปลงได้ เพราะเหตุ

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

เฉลยใบงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 1
การวัดค่าคงตัวเวลา RC โดยใช้ออสซิลโลสโคป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถบอกช่วงเวลาการเก็บและคายประจุของตัวเก็บประจุในวงจร RC ได้
2. สามารถอธิบายการวัดค่าคงตัวเวลา RC โดยใช้ออสซิลโลสโคปได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

รูปคลื่นของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเมื่อเก็บประจุหรือคายประจุตามเวลาของค่าคงตัวเวลาในวงจร อาร์ซี สามารถจะใช้ออสซิลโลสโคปวัดดูได้ และสามารถอ่านค่าแรงดันชั่วขณะได้ จากรูปคลื่นนั้นอัตราการประจุและคายประจุของคาปาซิสเตอร์ จะขึ้นอยู่กับค่าคงตัวเวลา ระยะเวลาจะได้แรงดันตกคร่อมคาปาซิสเตอร์ประมาณ 63.2% ของแรงดันสูงสุด ที่เวลา t = 1 จะได้แรงดันตกคร่อม 86% ของแรงดันสูงสุด ที่เวลา 3t จะได้แรงดันตกคร่อม 95% ของแรงดันสูงสุด ที่เวลา 4t จะได้แรงดันตกคร่อม 98% ของแรงดันสูงสุดที่เวลา = 5t จะได้แรงดันตกคร่อมถึงประมาณ 99.3% ของแรงดันสูงสุด ในทางปฏิบัติจะถือว่าที่ประมาณ 5t คาปาซิสเตอร์จะสามารถประจุได้แรงดันตกคร่อมสูงสุด

ระดับของกระแสและแรงดันในวงจร สมการของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในวงจร RC นั้น เขียนอยู่ในเทอมของสมการเอกซ์โพเนนเชียล ดังสมการ 1.1

$$e_C = E - (E - E_0)e^{-t/rc} \qquad (1.1)$$

เมื่อ e_C = แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในเทอมของเวลา (t)

E = แรงดันที่ป้อนเข้าวงจร (หน่วยโวลต์)

E_0 = แรงดันที่ค้างอยู่ในตัวเก็บประจุ

e = ค่าคงที่เอกซ์โพเนนเชียล = 2.718

t = ค่าเวลาในการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ (หน่วยวินาที)

C = ตัวเก็บประจุในวงจร (หน่วยฟารัด)

R = ตัวต้านทานในวงจร (หน่วยโอห์ม)

เมื่อแรงดันที่ตกค้างอยู่ในตัวเก็บประจุ = 0 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

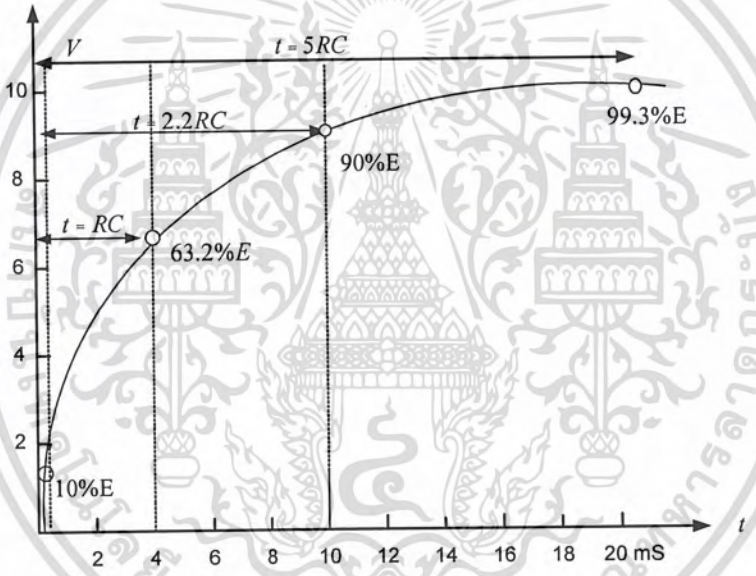
$$\because e_C = E(1-e^{-T/rc}) \tag{1.2}$$

สมการกระแสคือ $i_C = \dfrac{E-e_C}{R}$

หรือ $i_C = i \cdot e^{-t/rc}$ (1.3)

เมื่อ $I = \dfrac{E}{R}$ คือค่ากระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นในวงจร เมื่อเวลา t = 0

ค่าคงตัวเวลาของวงจร (Circuit time constant) มีค่าเท่ากับผลคูณของค่า R และ Cในวงจร หรือ τ = RC หรือ τ = CR โดยปกติของตัวเก็บประจุในวงจร RC จะเริ่มที่เวลา t = 0 จนกระทั่ง C เก็บประจุจนเต็ม คือมีแรงดันตกคร่อมตัวเองเท่ากับค่าแรงดันที่ป้อนให้กับวงจร (ประมาณ 99.3%) จะใช้เวลาทั้งหมดเท่ากับ 5 เท่าของค่าคงตัวเวลาหรือเท่ากับ 5.R.C = 5t ดังแสดงในรูป 1.2



รูปที่ 1.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงตัวเวลา กับแรงดันในการเก็บประจุของ C (a) และค่าคงตัวเวลากับกระแสในการเก็บประจุของ C (b)

ที่เวลา t = 1 เท่ากับค่าคงตัวเวลา (t = 1.R.C) ค่าแรงดัน e_C จะมีค่าเท่ากับ 63.2% ของแหล่งจ่าย E ดังสมการเก็บประจุ

$$e_C = E(1-e^{-t/RC})$$
$$e_C = E(1-e^{-RC/RC})$$
$$= E(1-e^{-1})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= E(0.632)$$

$$\because e_C = 0.632E$$

สังเกตจากรูป 1.1 จะเห็นว่ากราฟของ e_C เพิ่มขึ้น 63.2% ของแรงดัน E ที่เวลา 4 mS แสดงว่า t = 4 mS

$$\because RC = 4mS$$

ถ้ากำหนดให้ R = 1kΩ ค่าของ C จะเท่ากับ

$$C = \frac{4mS}{1k\Omega} = 4\ \mu F$$

ค่าคงตัวที่ใช้อักษรกรีก τ (ทาว) แทน ดังนั้น $\tau = RC$

เมื่อคิดที่เวลาเท่ากับ 1 เท่าของค่าคงตัวเวลา $T = 1\tau = RC$

$$\because i_C = I.e^{-t/RC}$$

$$i_C = I.e^{-RC/RC}$$

$$= I.e^{-1}$$

$$= I \times 0.368$$

เมื่อ t = RC $\quad \because i_C = I(1-0.632)$

จากสมการแสดงว่ากระแส i_C จะลดลงจากค่าสูงสุดขณะที่ C เก็บประจุที่เวลา t เท่ากับ $1t = 5.RC = 5\tau$

ค่าคงที่ของอัตราการเก็บประจุ (Constant-rate charging)

จากสมการของประจุไฟฟ้า $Q = I \times t$ (Coulombs)

และสมการ $Q = C \times V$ (Coulombs)

ดังนั้น I.t = CV

$$\because V = \frac{I.t}{C}$$

เมื่อ V = E (ค่าแรงดันแหล่งจ่ายไฟฟ้า)

$$I = \frac{E}{R}$$

$$t = \frac{CV}{I}$$

$$\because t = \frac{C.E}{\frac{E}{R}}$$

$$\because t = RC$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากกราฟรูปที่ 1.4 (a) จะเห็นว่า E = 20V และ t = 5RC

$$e_C = 10V(1 - e^{--5.R.C/R.C})$$

$$e_C = 10V(1 - e^{-5})$$

$$e_V = 9.93V$$

จะพบว่าค่าแรงดันที่เก็บประจุใน C ใกล้เคียงกับค่าแรงดันทางแหล่งจ่ายโดยมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่า 1% ที่เวลา $t = 5.R.C$

เวลาไต่ขึ้นและเวลาตก เวลาไต่ขึ้น (Rise time, t) ของสัญญาณคิดจากที่ระดับ 10% ของสัญญาณจนถึง 90 % ของค่าสูงสุดของสัญญาณ พิจารณาจากรูป 1.4 (a) จะได้ว่า

t_r = (t ที่แรงดัน e_C = 90% ของ E) - (t ที่แรงดัน e_C = 10% ของ E)

จากสมการเก็บประจุของตัวเก็บประจุจะได้ว่า

$$e_C = E - (E - E_O)e^{-t/RC}$$

$$(E - E_O)e^{-t/RC} = E - e_C$$

$$e^{-t/RC} = \left(\frac{(E - e_C)}{(E - E_O)}\right)$$

$$e^{t/RC} = \frac{(E - E_O)}{(E - e_C)}$$

$$\frac{t}{RC} = \ln\frac{(E - E_O)}{(E - e_C)}$$

$$t = R.C.\ln\frac{(E - E_O)}{(E - e_C)}$$

ค่า e_C = 90 % ของ E (คือจุด t_2 ของ 2.4 (a))

$$\because t_2 = R.C.\ln\left(\frac{E - 0}{E - 0.1E}\right)$$

$$t = 0.1R.C$$

ดังนั้น $t_r = (t_2 - t_1)$

$$= R.C(2.3 \quad 0.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\because t_r = 2.2.R.C$$

เวลาตก (Fall time) สามารถพิจาณาได้จากค่าเดียวกันเนื่องจากเวลาตกจาก 90% ของ Eลง มาถึง 10 % ของ E

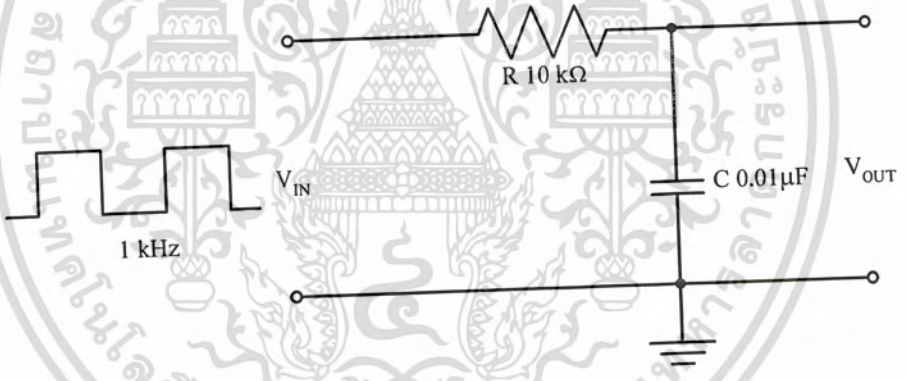
$$\because t_1 = 2.2RC$$

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ 1 ชุด
2. แผงการทดลองที่ 1 การวัดค่าคงตัวเวลา RC 1 แผง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 1.2

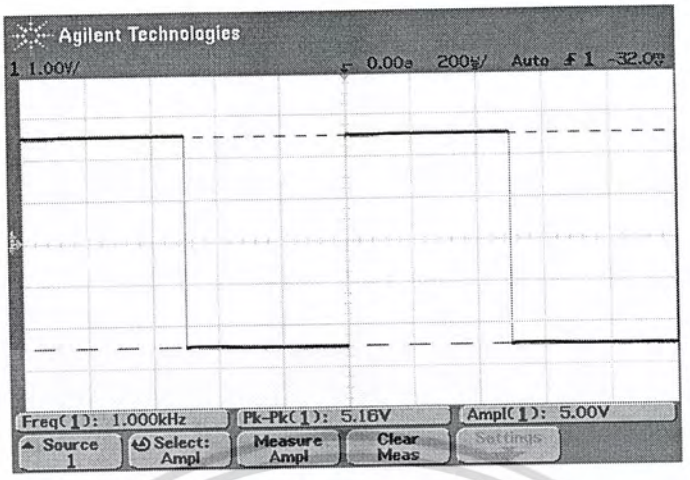


รูปที่ 1.2 วงจร RC Time Constant

2 ป้อนสัญญาณสแควร์เวฟ 1000 Hz 5 Vp-p ให้แก่ V_{IN}

3. ใช้ออสซิลโลสโคปต่อคร่อม C เพื่อวัดและสังเกตรูปคลื่นที่ตกคร่อม C แล้วบันทึกไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

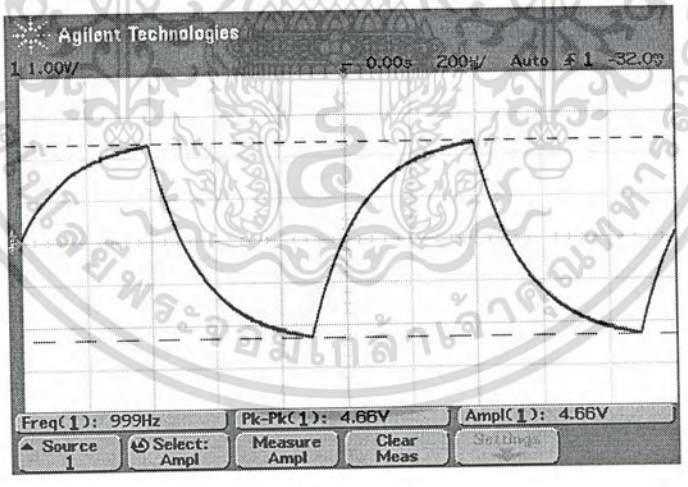


<u>อินพุต</u> Amplitude = ...5.00V.....

Time = ...200 µS... ...

Frequency =.....1 kHz.....

รูปที่ 1.3 ตารางบันทึกผลการทดลองรูปที่ 1.2 อินพุต



<u>เอาต์พุต</u> Amplitude = ...4.66 V.....

Time = ... 200 mS.....

Frequency =.....1 kHz.....

รูปที่ 1.4 ตารางบันทึกผลการทดลองรูปที่ 1.2 เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คำนวณค่าคงตัวเวลาต่างๆ ตามที่กำหนด แล้วอ่านค่าแรงดันจากรูปคลื่นที่วัดได้ด้วยออสซิลโลสโคปตามค่าเวลาที่คำนวณจากค่าคงตัวเวลาแต่ละค่าในตารางแล้วบันทึกไว้

ตารางที่ 1.1 ตารางบันทึกผลการทดลองค่าไทม์-คอนสแตนท์

Time Constant	ค่าเวลาที่คำนวณได้	Charging Voltage
0.5 RC	0.05 mS	1.96 V
0.75 RC	0.075 mS	2.63 V
1.00 RC	0.1 mS	3.16 V
1.25 RC	0.125 mS	3.56 V
1.50 RC	0.15 mS	3.88 V
1.75 RC	0.175 mS	4.13 V
2.00 RC	0.2 mS	4.32 V
4.00 RC	0.4 mS	4.90 V
5.00 RC	0.5 mS	4.966 V

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายถึงผลของค่าคงตัวเวลา (RC) กับการตอบสนองของวงจรต่อสัญญาณด้านเข้าที่เป็นคลื่นสี่เหลี่ยม ว่าทำให้สัญญาณด้านออกของวงจรเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

ตอบ คลื่นสัญญาณด้านออกเปลี่ยนแปลงไปเพราะในวงจรมี R และ C วางอยู่ในวงจร R จะทำหน้าที่จำกัดกระแส และ C จะทำหน้าที่กรองแรงดันในวงจรถ้ามีตัว C หรือ R มากจะทำให้สัญญาณที่ออกมาให้เรียบยิ่งขึ้น

2. จงคำนวณค่าของแรงดันที่ C ที่ประจุได้ใน 1 RC

ตอบ

$$e_C = E(1-e^{-t/RC})$$

$$e_C = 5V(1-e^{-1\cdot RC/RC})$$

$$e_C = 5V(1-e^{-1})$$

$$e_V = 3.16V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

ค่าคงตัวของเวลา (Circuit Time Constant) มีค่าเท่ากับผลคูณของค่า R และ C ในวงจร หรือ $\tau = RC$ หรือ $\tau = CR$ โดยปกติการเก็บประจุของตัวเก็บประจุในวงจร RC จะเริ่มที่เวลา t = 0 จนกระทั่ง C เก็บประจุจนเต็ม คือมีแรงดันตกคร่อมตัวเองเท่ากันค่าแรงดันที่ป้อนให้กับวงจร (ประมาณ 99.3%) จะใช้เวลาทั้งหมดเท่ากับ 5 เท่าของค่าคงตัวเวลาหรือเท่ากับ 5×RC = 5t

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2
วงจรอาร์ซีดิฟเฟอร์เร็นติเอเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถออกแบบวงจรอาร์ซีดิฟเฟอร์รีนติเอเตอร์ได้
2. สามารถหาคุณสมบัติของวงจรอาร์ซีดิฟเฟอร์รีนติเอเตอร์ได้
3. สามารถปฏิบัติการต่อวงจร และ แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

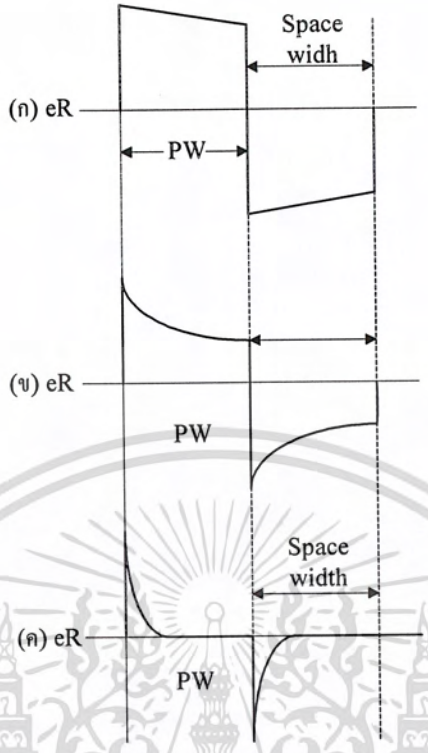
วงจรดิฟเฟอเรนติเอเตอร์ (Differentiator Circuit) คือ วงจรอาร์ซี ที่นำเอาสัญญาณด้านออกมาจากแรงดันตกคร่อมตัวความต้านทาน (e_R) ซึ่งต่างจากวงจรอินทิเกรเตอร์ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างอาร์ซี และความกว้างของพัลส์ยังคงมี 3 ลักษณะคล้ายกับวงจรอินทิเกรเตอร์ ลักษณะของวงจรดิฟเฟอร์เรนติเอเตอร์และรูปคลื่นของแรงดัน อาร์ซี ดังแสดงในรูปที่ 2.1

วงจรดิฟเฟอร์เรนดิเอเตอร์ที่มีค่าคงตัวเวลายาว (Long Time Constant in RC Differentiator) คือ วงจรที่มีค่าอาร์ซี มากว่าหรือเท่ากับ 10 เท่า ของความกว้างของพัลส์ (RC = 10 PW) ดังรูปคลื่นที่แสดงในรูปที่ 2.1 (ก) ระดับของแรงดันเอาต์พุต (e_R) จะเกิดความลาดชันขึ้น มีพื้นที่บางส่วนหายไป นั่นคือ ส่วนที่แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ ในสภาวะที่ตัวเก็บประจุเก็บประจุเพราะว่า $e_R = E \quad e_C$

วงจรดิฟเฟอร์เรนติเอเตอร์ที่มีค่าคงตัวเวลาปานกลาง (Medium Time Constant in RC Differentiator) คือ วงจรที่มีค่าอาร์ซี = PW ลักษณะของสัญญาณด้านออกจะเกิดความลาดเอียงเป็นความชันที่มีค่าสูงขึ้นมาก เพราะมีค่าคงตัวเวลาลดลง แรงดันที่ตัวเก็บประจุเก็บประจุได้จะมีค่ามากขึ้นทำให้ e_C มีค่าลดลงความโค้งของสัญญาณเกิดจากค่าของแรงดัน E ลบกับค่าของแรงดันในการเก็บประจุ (e_C) นั้นเองแสดงดังรูปที่ 2.1 (ข)

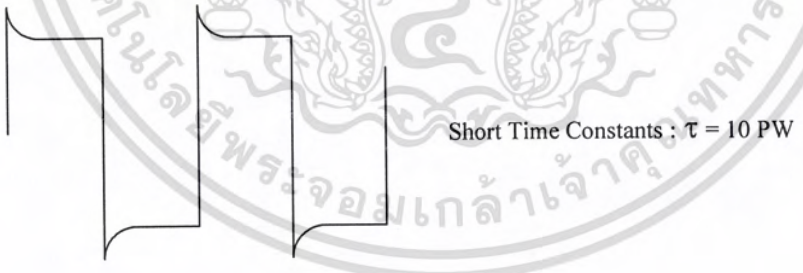
วงจรดิฟเฟอรเรนติเอเตอร์ที่มีค่าคงตัวเวลาสั้น (Short Time Constant in RC Differentiator) คือ วงจรที่มีค่าอาร์ซี น้อยกว่าค่าความกว้างของพัลส์มากประมาณ 10 เท่า หรือน้อยกว่า RC เท่ากับ 1/10 PW รูปคลื่นที่เกิดขึ้นนั้นเป็นลักษณะพัลส์ ที่มีขอบมุมคมมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ค)

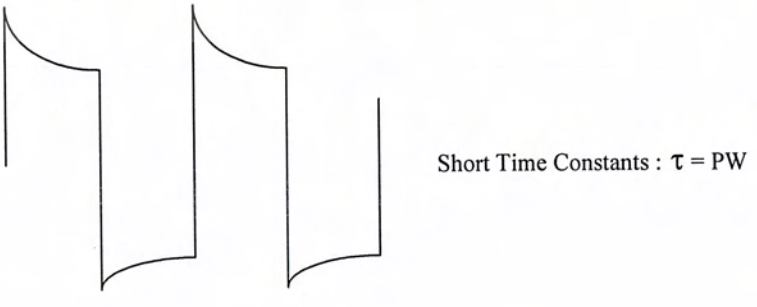
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



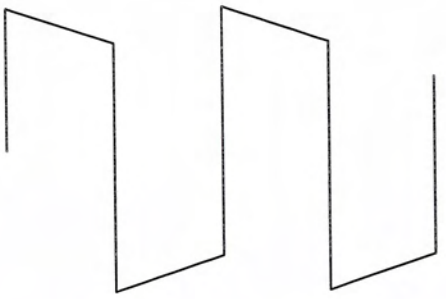
รูปที่ 2.1 วงจรอาร์ซีที่มีค่าคงตัวเวลาต่างกันและรูปคลื่นของแรงดันด้านออก ที่ด้านเข้าเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม

1. สัญญาณ Output ที่ τ ค่าต่างๆ





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

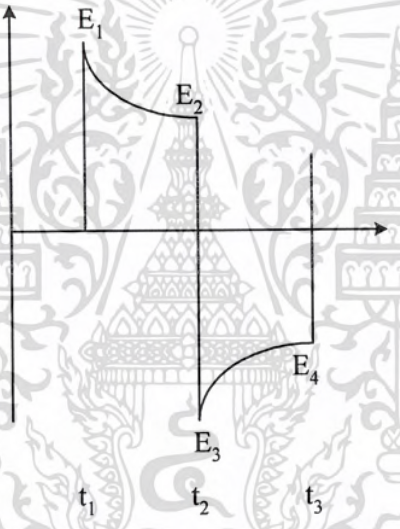


Short Time Constants : $\tau = \frac{1}{10}\,\mathrm{PW}$

$\tau = R.C$ หน่วยเป็นวินาที

2. สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

การหาค่า ณ จุดหยุดนิ่ง



รูปที่ 2.2 การหาค่า ณ จุดหยุดนิ่ง

จาก $e_r = E.\varepsilon^{-t/Rc}$

ดังนั้น $E_2 = E_1.\varepsilon^{t/RC}$

$E_4 = E_3.\varepsilon^{-t/RC}$

ที่ t_1 และ t_2 $E_1 - E_4 = E$ $E_1 = E + E_4$

$E_2 - E_3 = E$ $E_3 = E_2 - E$

ดังนั้น $E_2 = E_1.\varepsilon^{t/RC} = (E + E_4).\varepsilon^{t/RC}$

$E_4 = E_3.\varepsilon^{t/RC} = (E_2 - E).\varepsilon^{t/RC}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ 1 ชุด
2. แผงการทดลองที่ 2 อาร์ซีดิฟเฟอร์เร็นติเอเตอร์ 1 แผง

ลำดับขั้นการทดลอง

นำการ์ดต่อเข้ากับชุดปฏิบัติการทดลองแล้ว

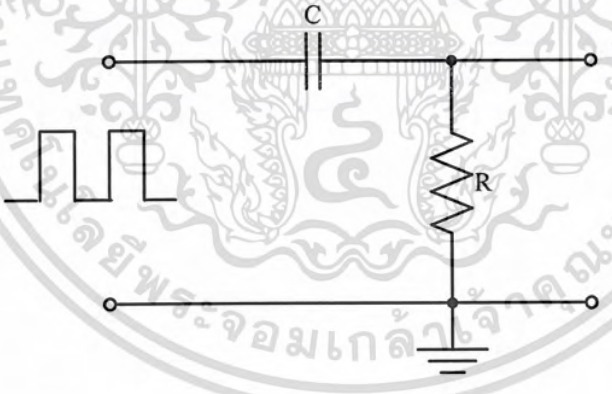
1.ต่อวงจรดังรูปที่ 2.3

1.1 Medium Time Constant Circuit R = 47 kΩ และ C= 0.1 μF

1.2 Long Time Constant Circuit R = 4.7 kΩ และ C = 0.1 μF

1.3 Short Time Constant Circuit R = 470 kΩ และ C = 0.1 μF

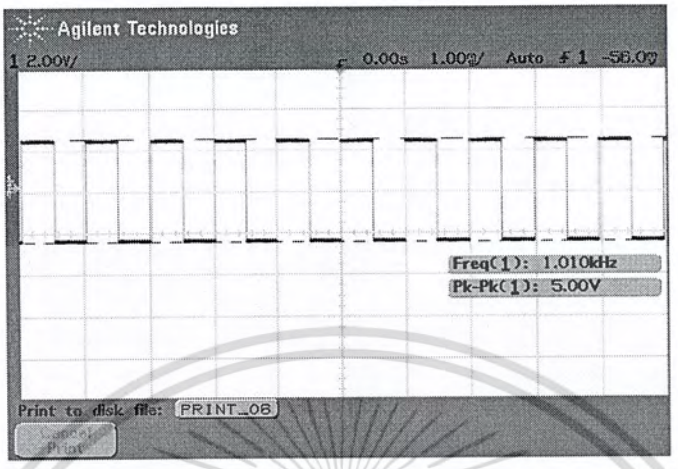
2. คลิกปุ่มทดลองวัดสัญญาณ จากนั้นตั้งออสซิลโลสโคป ดังนี้ ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม 5 V p-p ความถี่ = 1 kHz ให้ที่อินพุตของวงจร ใช้ออสซิลโลสโคป แชนเนล 1 วัดแรงดัน V_{IN} และ แชนเนล 2 วัดแรงดัน V_{OUT} บันทึกผลการทดลองในตาราง



รูปที่ 2.3 วงจรอาร์ซีดิฟเฟอร์เร็นติเอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

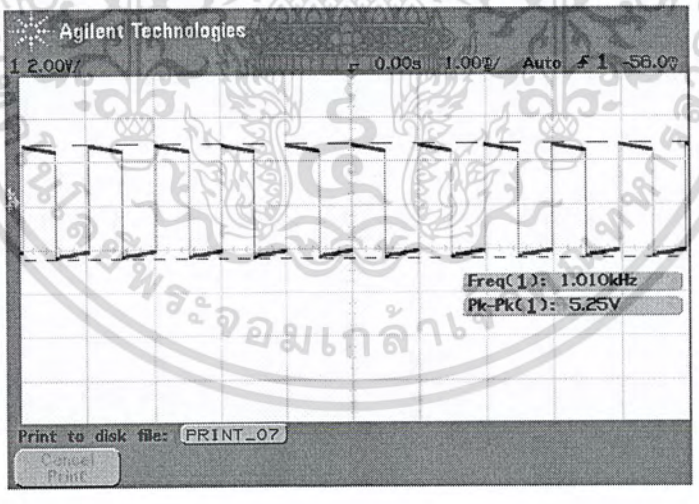
R = 47 kΩ



อินพุต = 5 Vp-p

Time = 1mS Frequency = 1 kHz

รูปที่ 2.4 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Medium Time Constant สัญญาณ V_{IN}



เอาต์พุต = 5.25 Vp-p

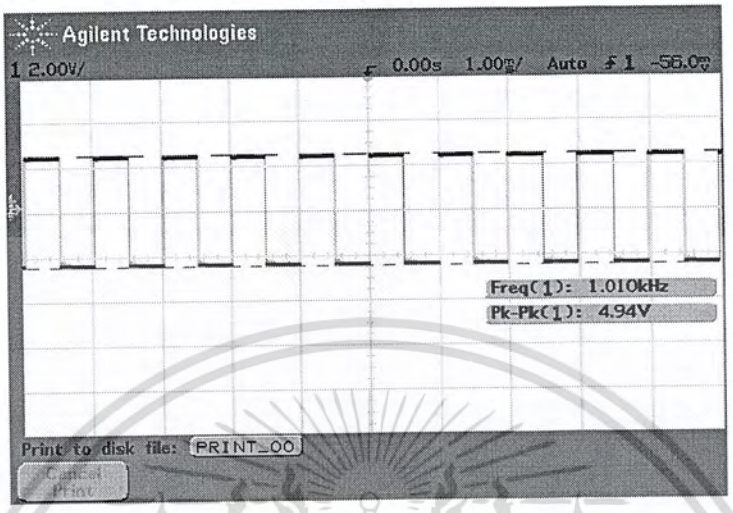
Time = 1mS Frequency = 1 kHz

รูปที่ 2.5 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Medium Time Constant สัญญาณ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เปลี่ยน R_1 เป็น Long Time Constant แล้วทำซ้ำข้อ 2

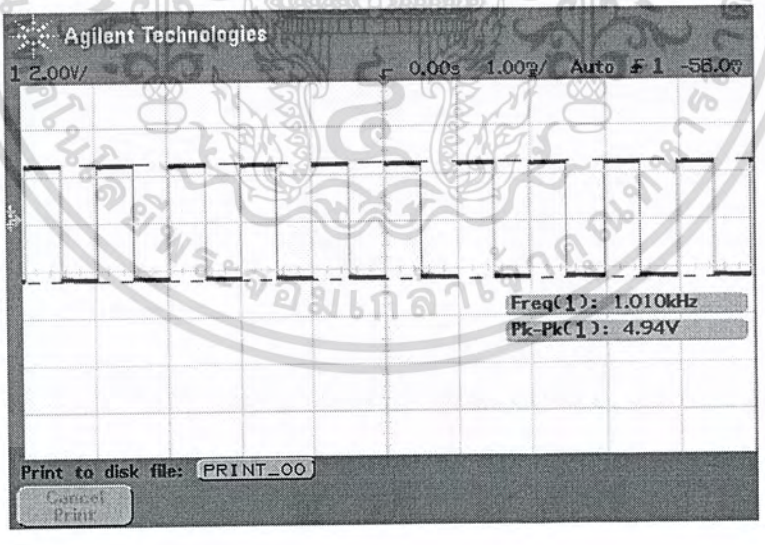
R = 4.7 kΩ



อินพุต = 5 Vp-p

Time = 1mS Frequency = 1 kHz

รูปที่ 2.6 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Long Time Constant สัญญาณ V_{IN}



เอาต์พุต = 4.94 Vp-p

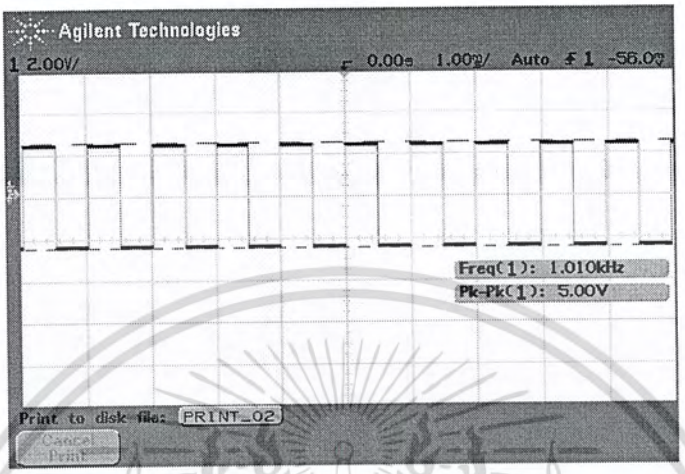
Time = 1mS Frequency = 1 kHz

รูปที่ 2.7 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Long Time Constant สัญญาณ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปลี่ยน R_1 เป็น Short Time Constant แล้วทำซ้ำข้อ 2

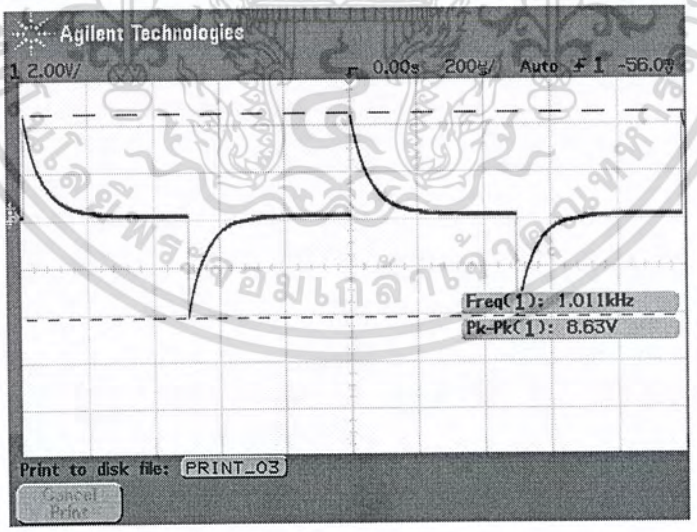
$R = 470\ k\Omega$



อินพุต = 5 Vp-p

Time = 1mS Frequency = 1 kHz

รูปที่ 2.8 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Short Time Constant สัญญาณ V_{IN}



เอาต์พุต = 8.63 Vp-p

Time = 1mS Frequency = 1 kHz

รูปที่ 2.9 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Short Time Constant สัญญาณ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. ถ้าเปลี่ยนค่า Amplitude ของสัญญาณ Input จะมีผลกระทบอย่างไรกับสัญญาณ Output

ตอบ Output จะมีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเล็กลงขึ้นอยู่กับการปรับ Amplitude ของสัญญาณ Input

2. จงยกตัวอย่างการนำวงจรอาร์ – ซี ดิฟเฟอร์เร็นติเอเตอร์ ไปใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมหรือวงจรที่เกี่ยวข้องกับการกำเนิดสัญญาณพัลส์

ตอบ – ใช้ในการสื่อสารต่างๆ เช่น โทรทัศน์, โทรศัพท์, วิทยุ

- ใช้สร้างเครื่องตรวจสอบจับสัญญาณคลื่น
- ใช้สร้างเครื่องสร้างชีพจรการหายใจ ทางด้านการแพทย์
- ใช้ในการสร้างสัญญาณ เช่น ไฟจราจร

สรุปผลการทดลอง

ตอบ ในวงจรอาร์-ซี ดิฟเฟอร์เร็นติเอเตอร์สามารถใช้งานในด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้หลายด้าน ตัว R ในวงจรจะทำหน้าที่จำกัดกระแสไม่ให้สัญญาณที่จ่ายเข้าไปมีมากเกินไป ตัว C ในวงจรสามารถคายประจุและเก็บประจุได้

ตัว C จะเก็บประจุก็ต่อเมื่อมีแรงดันจ่ายให้ และจะคายประจุก็ต่อเมื่อไม่มีแรงดันจ่ายให้ แต่ในวงจรก็ยังมีแรงดันอยู่ ทำให้วงจรสามารถกำเนิดสัญญาณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 3
วงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถออกแบบวงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์ ได้
2. สามารถหาคุณสมบัติของวงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์ ได้
3. สามารถปฏิบัติการต่อวงจร และ แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

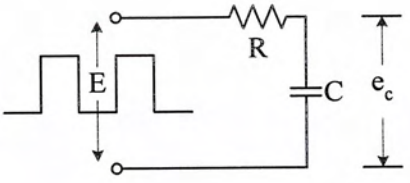
วงจรอินทิเกรเตอร์เป็นการใช้วงจรอาร์ซีให้ทำหน้าที่อินทิเกรตสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยม โดยนำความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ RC และค่า PW เป็นตัวกำหนดรูปร่างของรูปคลื่น อินทิเกร-เตอร์ ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ 3 กรณี ดังแสดงในรูปที่ 3.1

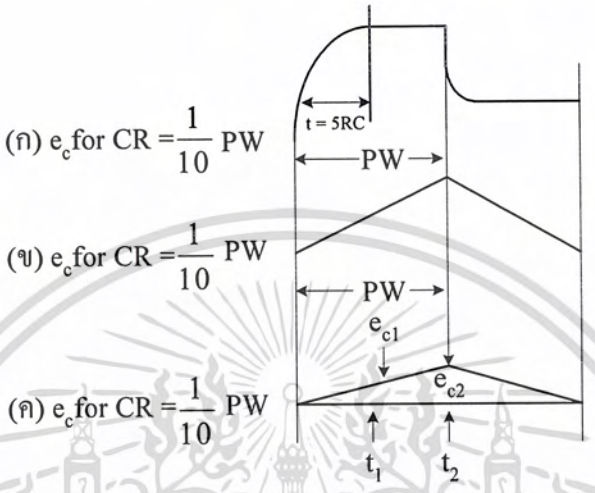
วงจรอินทิเกรเตอร์ที่มีค่าคงตัวเวลาสั้น (Short Time Constant in RC Integrator Circuits) คือ วงจรอาร์ซีที่มีค่าของอาร์ซีน้อยกว่าค่า PW โดยปกติอยู่ระหว่าง RC = PW/10 รูปคลื่นด้านออกที่ได้จะแสดงในรูป 3.1 (ก) ขนาดสูงสุดของแรงดันด้านออกจะมีค่าประมาณ 99.3% ของ E เพราะว่าค่าคงตัวเวลาสั้นทำให้การเก็บและการคายประจุของตัวเก็บประจุใช้เวลาน้อย รูปคลื่นมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปคลื่นด้านเข้า

วงจรอินทิเกรเตอร์ที่มีค่าคงตัวเวลาปานกลาง (Medium Time Constant in RC Integrator Circuits) คือ วงจรอาร์ซี ที่มีค่าของอาร์ซี เท่ากับค่าของ PW รูปคลื่นที่ได้จะเป็นรูปคลื่นอินทิเกรเตอร์ชัดเจน ดังรูป 3.1 (ข) ดังนั้นค่า RC = PW ค่าแรงดันสูงสุดจะไม่เกิน 63.2% ของ E รูปคลื่นด้านออกเริ่มมีรูปร่างคล้ายรูปสามเหลี่ยม (Triangular Shape)

วงจรอินทิเกรเตอร์ที่มีค่าคงตัวเวลายาว (Long Time Constant in RC Integrator Circuits) คือวงจร อาร์ซี ที่มีค่าคงตัวเวลามากกว่าค่า PW โดยปกติกำหนดให้มากกว่า 10 เท่า คือ อาร์ซี เท่ากับ 10 PW รูปคลื่นด้านออกจะเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยม แต่ขนาดของแรงดันจะมีค่าต่ำกว่าค่าของ E มาก ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.1 แสดงวงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์ และรูปคลื่นด้านออกของวงจร

(ก) ค่าคงตัวเวลาสั้น (Short Time Constant)

(ข) ค่าคงตัวเวลาปานกลาง (Medium Time Constant)

(ค) ค่าคงตัวเวลายาว (Long Time Constant)

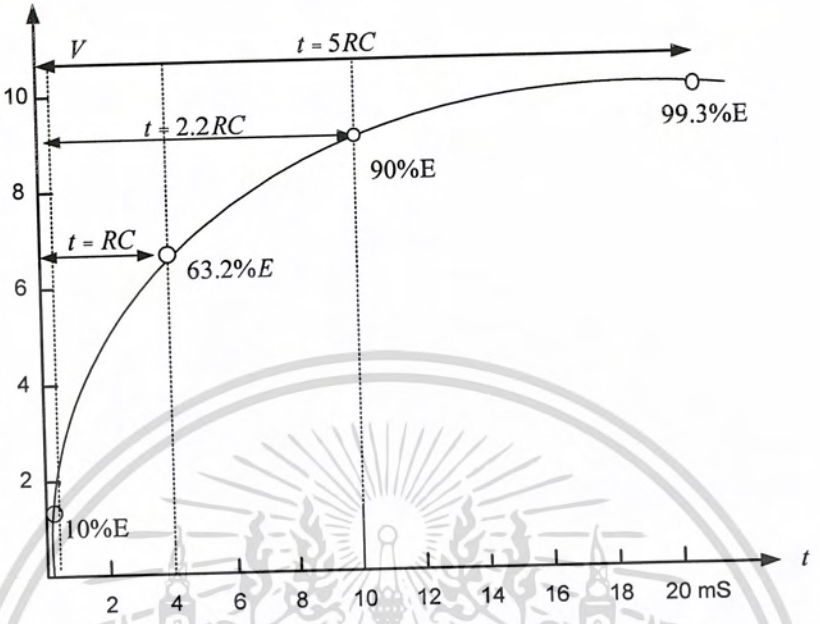
<u>หมายเหตุ</u> $\tau = R \cdot C$ หน่วยเป็น วินาที (Second)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

สมการ Charge $\ell_c = E - (E - E_0) \bullet \varepsilon^{-t/RC}$

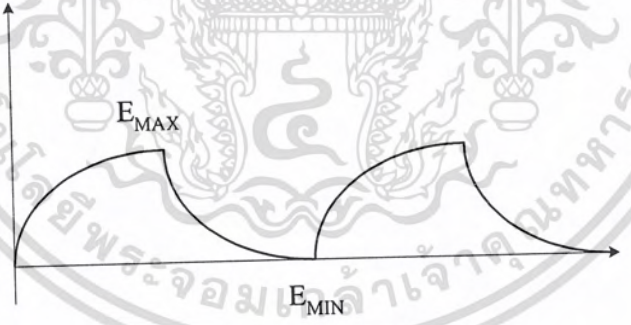
สมการ Discharge $\ell_c = E \bullet \varepsilon^{-t/RC}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 RC และ t สัมพันธ์กับ e_C

การหาค่า ณ จุดหยุดนิ่ง (Settled Condition)



รูปที่ 3.3 การหาค่า ณ จุดหยุดนิ่ง

หา E_{MAX}

$$E_{\max} = \frac{E}{1+\varepsilon^{-t/RC}}$$

หา E_{MIN}

$$E_{\min} = E_{\max}\varepsilon^{t/RC} = E - E_{\max}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	1	ชุด
2. แผงการทดลองที่ 3 วงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์	1	แผง

ลำดับขั้นการทดลอง

1.นำแผงการทดลองที่ 3 มาต่อกับชุดปฏิบัติการทดลองและต่อวงจรดังรูป

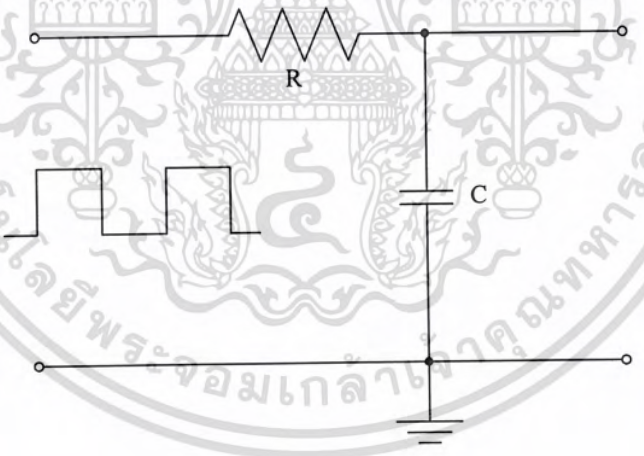
1.1 Medium Time Constant Circuit R = 10 kΩ C = 0.1 μF

1.2 Long Time Constant Circuit R = 100 kΩ C = 0.1μF

1.3 Short Time Constant Circuit R = 1 kΩ C = 0.1 μF

2. คลิกปุ่มทดลองวัดสัญญาณ จากนั้นตั้งออสซิลโลสโคป ดังนี้

ป้อนสัญญาณสแควร์เวฟ 5 Vp-p ความถี่ที่ 1 kHz ให้ที่อินพุตของวงจรแล้วคำนวณหาเวลาของหนึ่งคาบ (Period) ใช้ออสซิลโลสโคป แชนเนล 1 วัดแรงดัน V_{IN} และแชนเนล 2 วัดแรงดัน V_{OUT} บันทึกผลการทดลองในตาราง



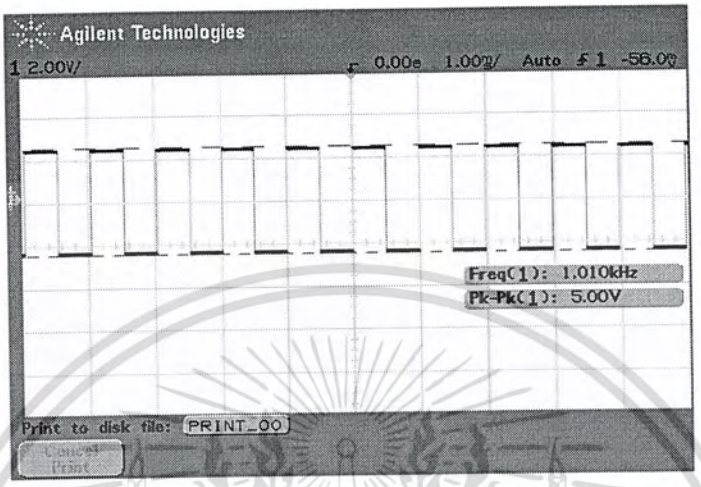
รูปที่ 3.4 วงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์

Period = 1mS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณหาค่าไทม์-คอนสแตนท์ วัดและบันทึกรูปคลื่นอินพุตและเอาต์พุต 1 ไซเกิล

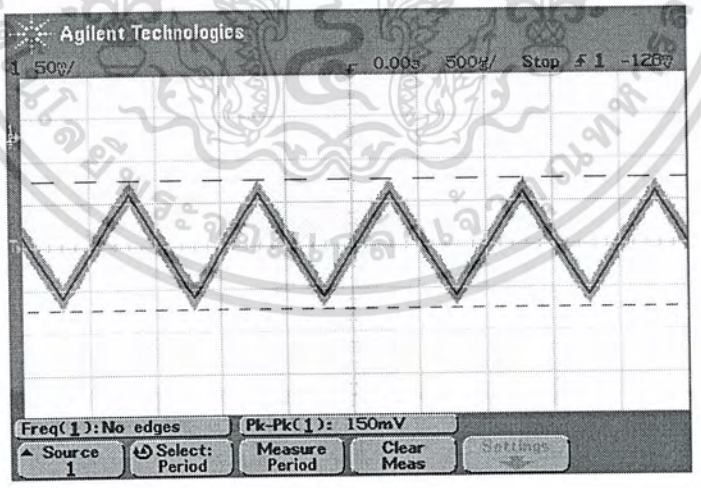
$R = 10\ k\Omega$



อินพุต = 5 Vp-p

Time = $100x10^{3}x0.1x10^{-6} = 10mS$

รูปที่ 3.5 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Medium Time Constant สัญญาณ V_{IN}



เอาต์พุต = 158.873mV Vp-p

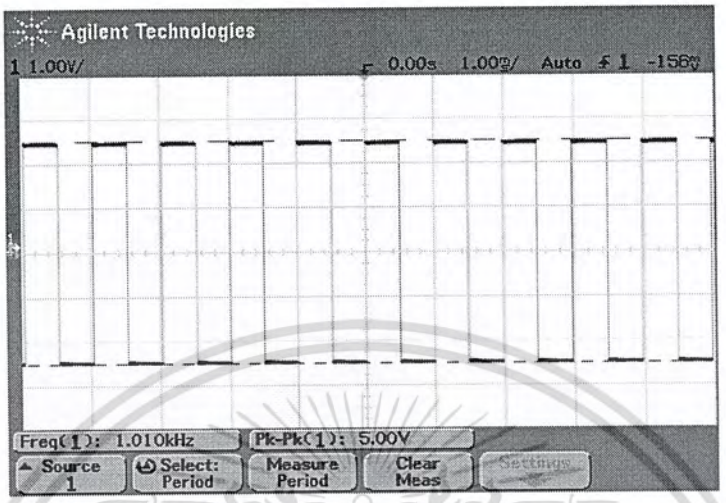
Time = $100x10^{3}x0.1x10^{-6} = 10mS$

รูปที่ 3.6 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Medium Time Constant สัญญาณ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปลี่ยน R_1 เป็น Long Time Constant แล้วทำซ้ำข้อ 2

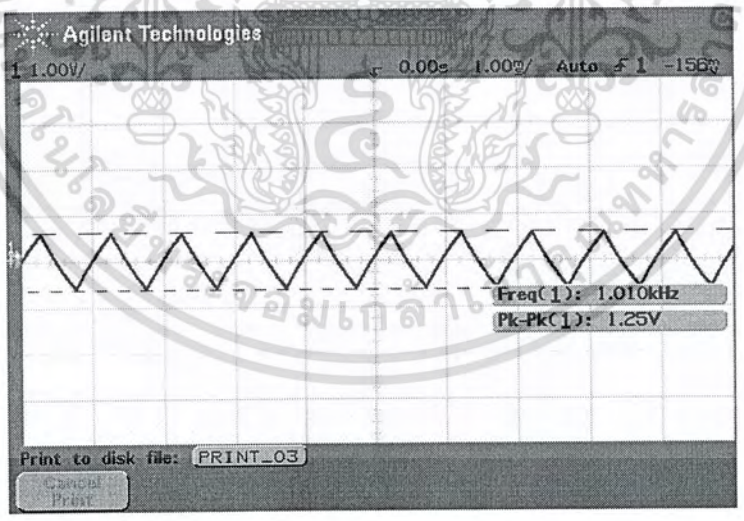
$R = 100\ k\Omega$



อินพุต = 5 Vp-p

Time = $10x10^{3}x0.1x10^{-6}$ = 1mS

รูปที่ 3.7 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Long Time Constant สัญญาณ V_{IN}



เอาต์พุต = 1.25 Vp-p

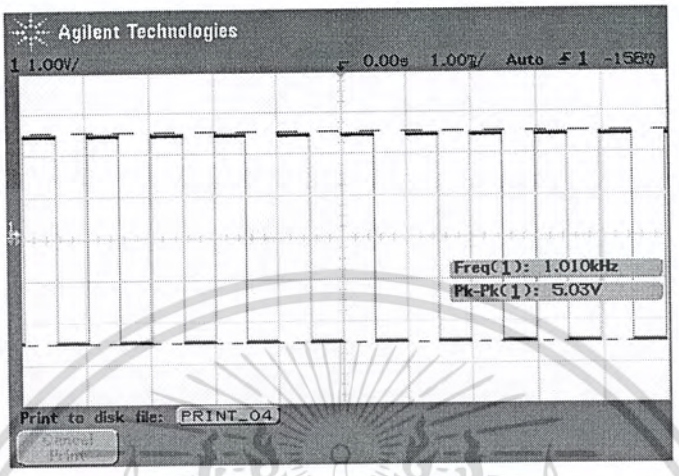
Time = $10x10^{3}x0.1x10^{-6}$ = 1mS

รูปที่ 3.8 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Long Time Constant สัญญาณ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปลี่ยน R_1 เป็น Short Time Constant แล้วทำซ้ำข้อ 2

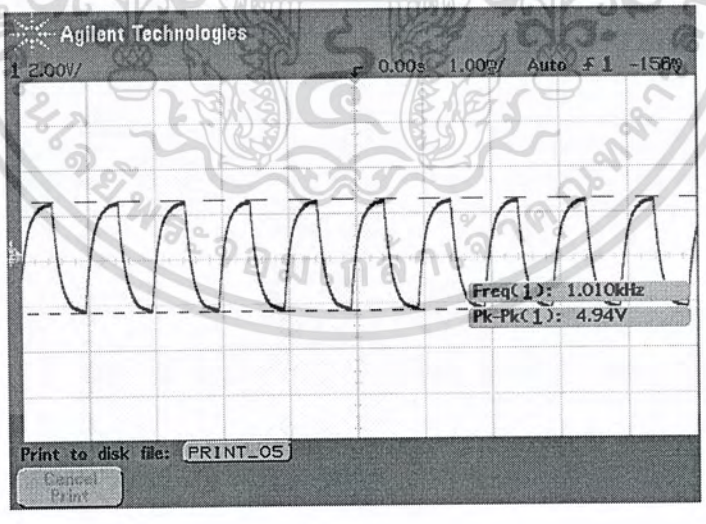
$R = 1\ k\Omega$



อินพุต = 5 Vp-p

Time = $1x10^{3}x0.1x10^{-6} = 0.1mS$

รูปที่ 3.9 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Short Time Constant สัญญาณ V_{IN}



เอาต์พุต = 4.94 Vp-p

Time = $1x10^{3}x0.1x10^{-6} = 0.1mS$

รูปที่ 3.10 ผลการทดลองวัดสัญญาณ Short Time Constant สัญญาณ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. เมื่อกำหนดให้วงจรอินติเกรเตอร์มีค่า R = 10 kΩ, C = 0.047 μF คงคำนวณหาค่าแรงดัน V_{OUT} สูงสุดเมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ 1 เท่าของค่าคงตัวเวลา (τ)

ตอบ 10 kΩ × 0.047 μF

τ = 0.47 mS **Ans**

2. ถ้าเปลี่ยนค่า Amplitude ของสัญญาณ Input จะมีผลกระทบอย่างไรกับสัญญาณ Output

ตอบ จะมีผลขึ้นอยู่กับว่า Amplitude ที่ป้อนเข้ามามากรูปสัญญาณก็จะขยายสูงขึ้น แต่ถ้าป้อนเข้ามาน้อยรูปสัญญาณก็จะหดลง

3. ถ้าเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณ Input (เพิ่มขึ้น หรือ ลดลง) จะมีผลกระทบกระทบอย่างไรกับสัญญาณ Output

ตอบ สัญญาณ Output ที่ได้จากการปรับความถี่ของสัญญาณ Input รูปสัญญาณที่ได้จะมีขนาดเล็ก เมื่อลดความถี่ลง และสัญญาณจะกว้างขึ้นเมื่อเพิ่มความถี่ขึ้น

สรุปผลการทดลอง

ในวงจรอาร์ซีอินติเกรเตอร์รูปคลื่นที่ออกมา ตัว C จะเก็บประจุหรือคายประจุได้เร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับตัวความต้านทานในวงจร สัญญาณพัลส์ที่ออกมาจะเกือบเป็นเส้นตรง เพราะการจ่ายแรงดันผ่านตัวความต้านทานมาก่อนทำให้ตัวความต้านทานมาก่อนทำให้ตัวความต้านทานนั้นจำกัดกระแสได้มากขึ้นเมื่อผ่านตัว R ไปทำให้กระแสที่ไหลลดลงไปยังตัวเก็บประจุ ตัวเก็บประจุก็จะทำการเก็บประจุและคายประจุได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 4
วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่น

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นได้อย่างถูกต้อง
2. สามารถปฏิบัติการต่อวงจรที่กำหนด และทดสอบการทำงานของวงจร ได้

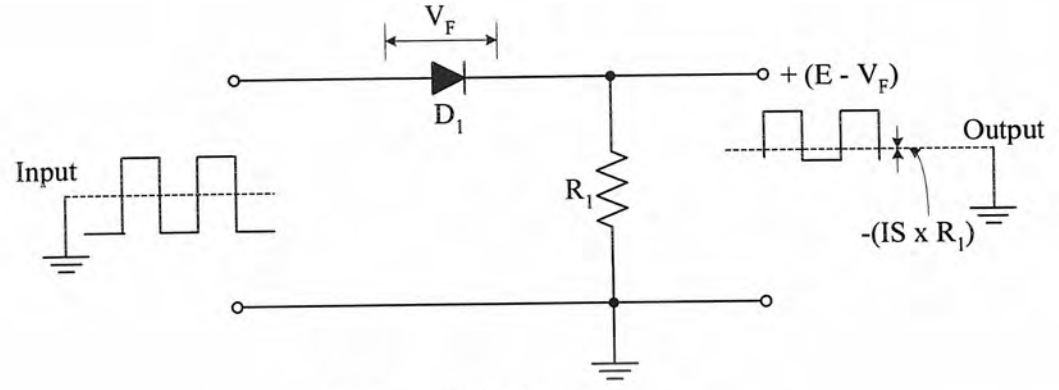
ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นแบบไดโอดอนุกรม (Diode Series Clipper Circuits) วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นแบบอนุกรม คือ วงจรที่ต่อไดโอดอนุกรมกับสัญญาณด้านเข้า ไดโอด คือ สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการขริบรูปคลื่น) แบ่งตามลักษณะการต่อได้ 2 แบบ คือ

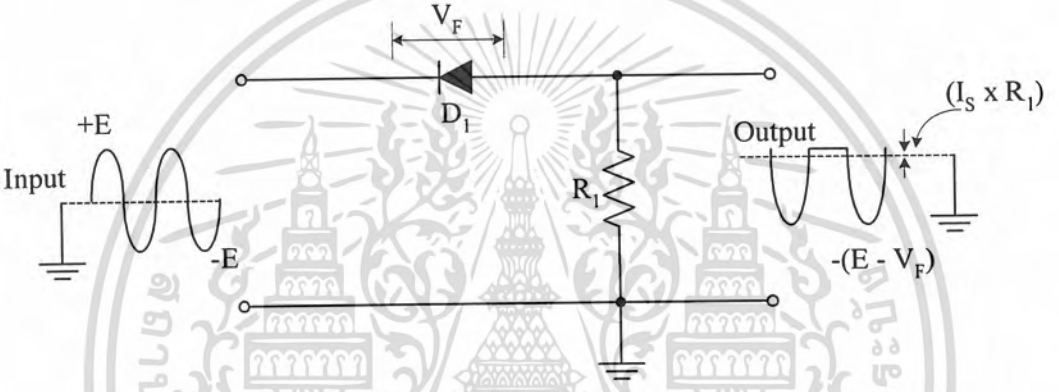
1. วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นด้านลบแบบอนุกรม (Negative Series Clipper) เป็นวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นด้านลบของด้านเข้าออกไป โดยการต่อแอโนดของไดโอด D_1 เข้ากับด้านเข้า โดยด้านเข้ามีขนาดแรงดัน E ขนาดแรงดันด้านออกทางด้านบวกมีค่าเท่ากับ + $(E - V_F)$ และขนาดแรงดันด้านออกทางด้านลบมีค่าเท่ากับ - $(I_S \times R_1)$ เมื่อ I_S คือ ค่ากระแสรั่วไหล เมื่อไดโอดได้รับไบอัสกลับดังรูปที่ 4.1 (ก)

2. วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นด้านบวกแบบอนุกรม (Positive Series Clipper) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ข) โดยต่อไดโอดอนุกรมให้ขั้วแคโทดต่อเข้ากับสัญญาณด้านเข้า กำหนดให้สัญญาณด้านเข้าเป็นไซน์มีขนาดแรงดันเท่ากับ E เมื่อวัดรูปคลื่นด้านออกที่ตกคร่อม R_1 จะได้ว่าขนาดสัญญาณด้านออกด้านบวกมีค่าเท่ากับ + $(I_S \times R_1)$ และขนาดสัญญาณด้านออกทางด้านลบเท่ากับ - $(E - V_F)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Nagative Series Clipper



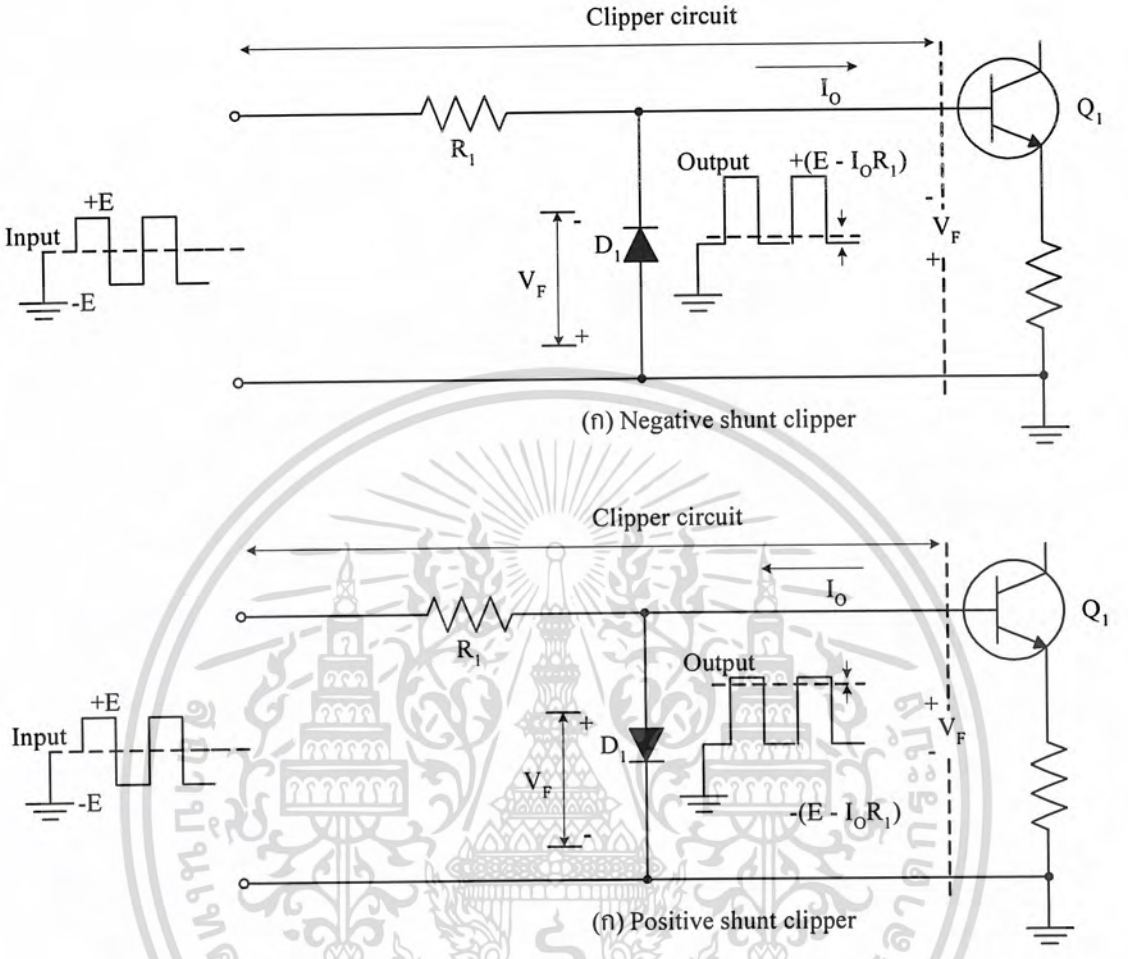
(ข) Positive Series Clipper

รูปที่ 4.1 วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นแบบไดโอดขนานแบบ Negative และ Positive

วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบไดโอดขนาน (Diode Shunt clip Circuit) ทั้งแบบขริบรูปคลื่นด้านบวกและขริบรูปคลื่นด้านลบใช้ต่อด้านเข้าของทรานซิสเตอร์ (Transistor Switch) เพื่อป้องกันรอยต่อระหว่างเบส และ อิมิตเตอร์ไม่ให้ทะลุ เนื่องจากได้รับไบอัสกลับสูงกว่าค่าที่กำหนดในคู่มือทรานซิสเตอร์

วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นแบบขนานไดโอดมีไบอัส (Bias Shunt Clipper) เมื่อต้องการขริบขนาดของรูปคลื่นด้านเข้าตามระดับแรงดันที่ต้องการ ซึ่งวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นแบบขนานไดโอดในรูปที่ 4.2 ไม่สามารถทำได้ เราสามารถสร้างได้โดยใช้ไดโอด D_1 ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงบวก (Positive Bias Voltage, V_{B1}) เพื่อกำหนดขนาดของแรงดันด้านออกทางด้านบวก โดยค่าแรงดันสูงสุดทางด้านบวกจะเท่ากับ + (V_{B1} + V_F) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก)

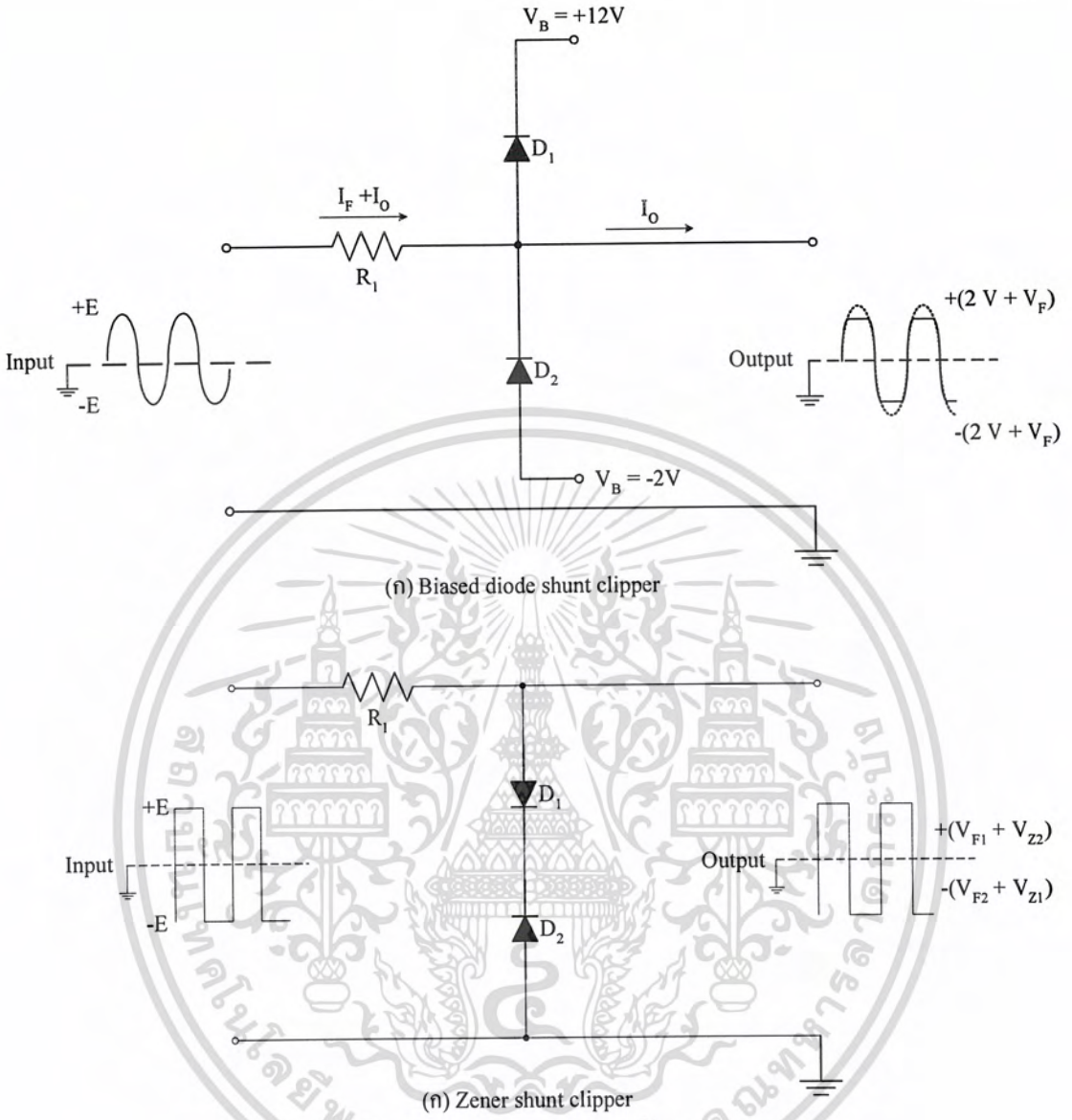
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นไดโอดขนาน แบบ Negative และ Positive

วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบขนานที่ไบอัสโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode Shunt Clipper) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ข) โดยต่อซีเนอร์ไดโอด 2 ตัว D_1 และ D_2 จะทำให้ขนาดของแรงดันออกทางด้านบวกสูงสุดเท่ากับ $+ (V_{F1} + V_{F2})$ และขนาดของแรงดันด้านเข้าต่ำสุดเท่ากับ $- (V_{F2} + V_{Z1})$ และ V_{F1}, V_{F2} แรงดันไบอัสตรง วงจรนี้ทำงานได้เหมือนกับวงจรรูป 4.3 (ก) แต่ไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายภายนอกเป็นตัวไบอัสให้ใช้ซีเนอร์ไดโอดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นแบบขนานไดโอด

(ก) มีไบอัส โดยใช้แหล่งจ่ายไฟตรงภายนอก

(ข) มีไบอัส โดยใช้ซีเนอร์ไดโอด

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	1	ชุด
2. แผงการทดลองที่ 4 วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่น	1	แผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

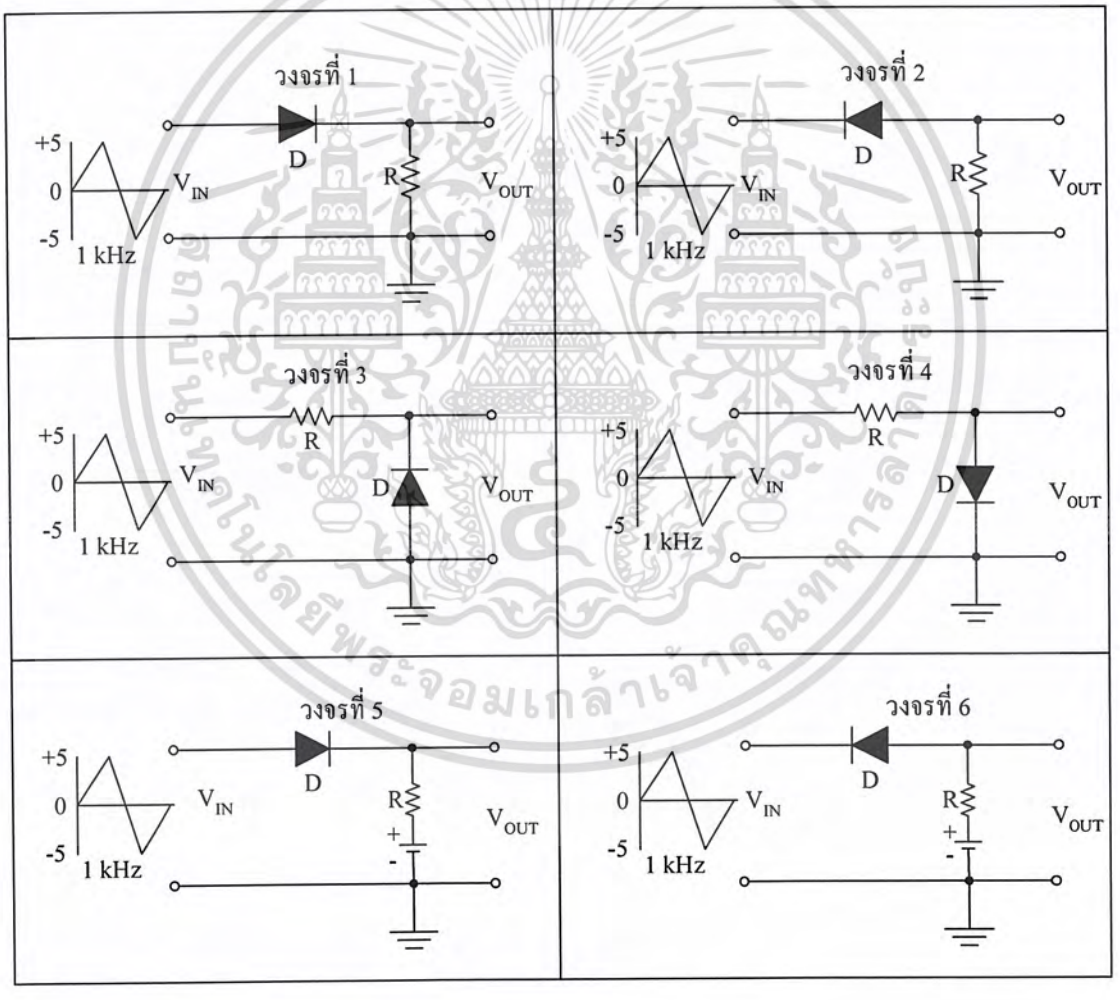
ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำแผงการทดลองที่ 4 มาต่อกับชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์แล้วต่อวงจรดังรูปที่ 4.4 โดยกำหนดให้ ค่า R = 100 kΩ

1.1 คลิกปุ่มทดลองวัดสัญญาณและตั้งออสซิลโลสโคปดังนี้ แชนแนล 1 และ 2 V/div =5V T/div = 0.5 mS ป้อนสัญญาณ Sawtooth Wave 5V p-p ความถี่ = 1 kHz ให้ที่อินพุตของวงจร

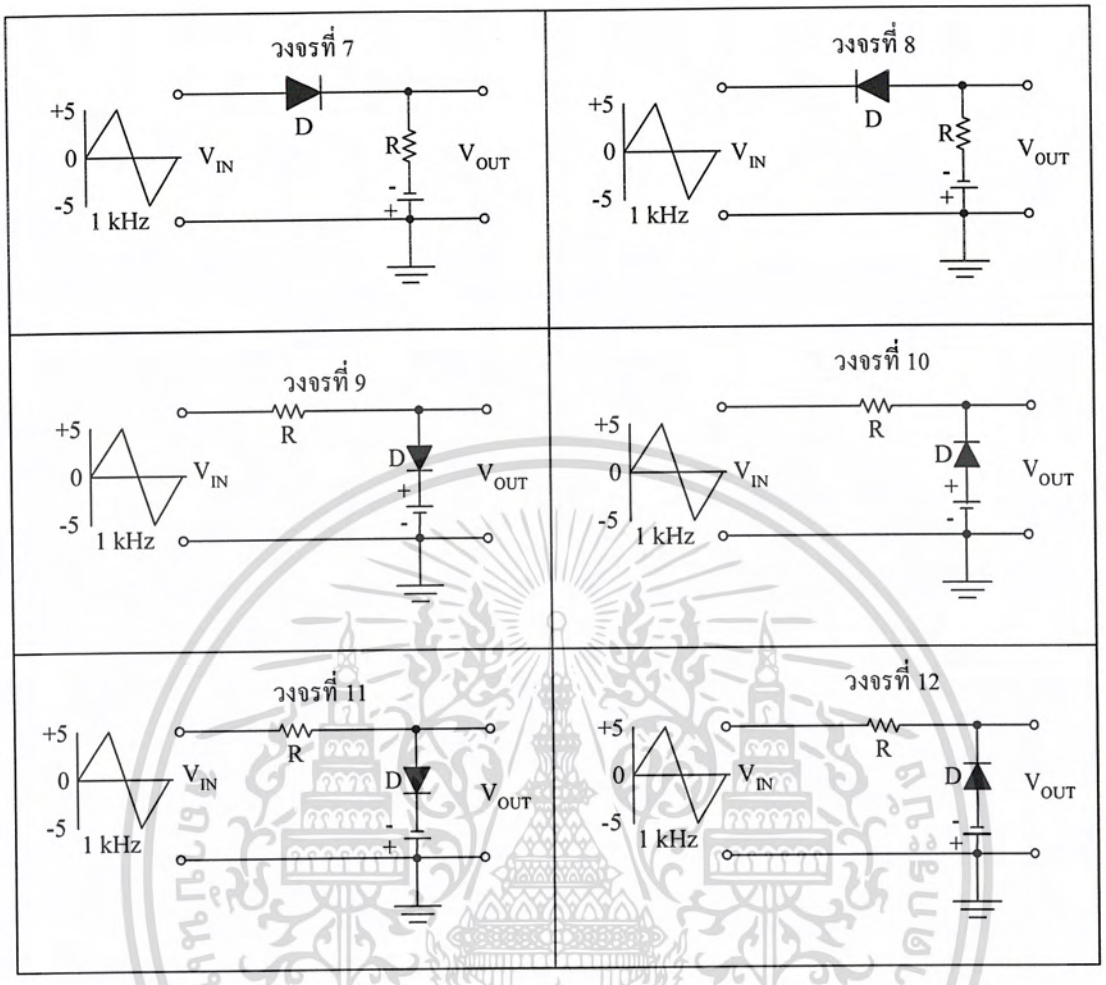
1.2 แชนแนล 1 วัดรูปคลื่น V_{IN} และ แชนแนล 2 วัดรูปคลื่น V_{OUT} บันทึกรูปคลื่นที่วัดได้ลงในตาราง

2. ทำการทดลอง ตามข้อ 1.1 ถึง ข้อ 1.2 โดยต่อวงจรตามรูปที่ 2-12



รูปที่ 4.4 วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบต่างๆ

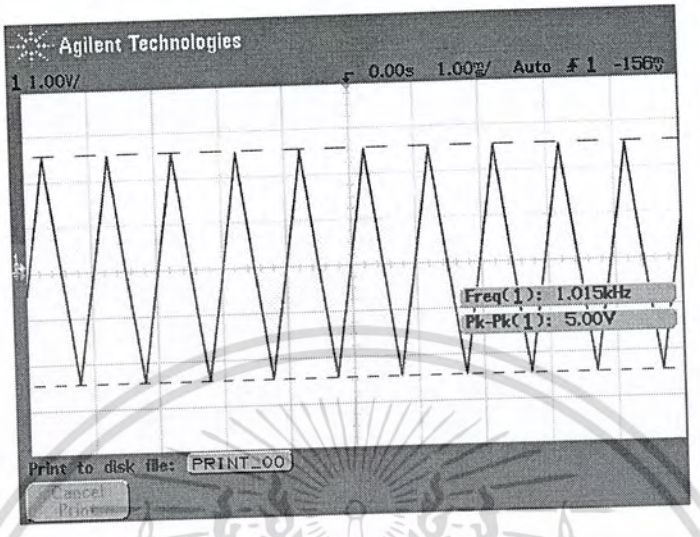
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



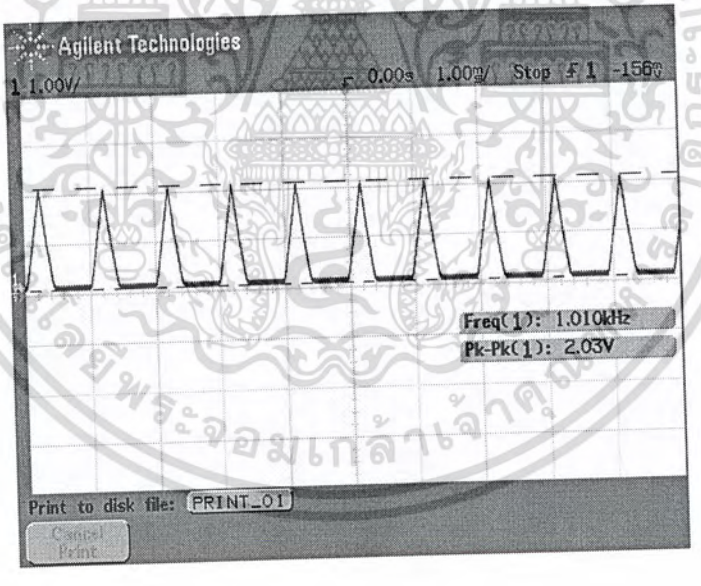
รูปที่ 4.4 (ต่อ) วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ต่อสัญญาณ Sawtooth Wave เข้าที่อินพุตของวงจรที่ 1 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.6



อินพุต = ...5... Vp-p

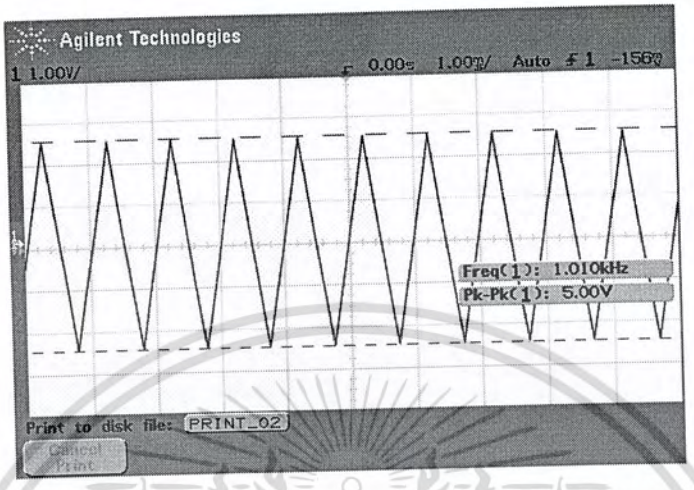


เอาต์พุต = ...2.03.....Vp-p

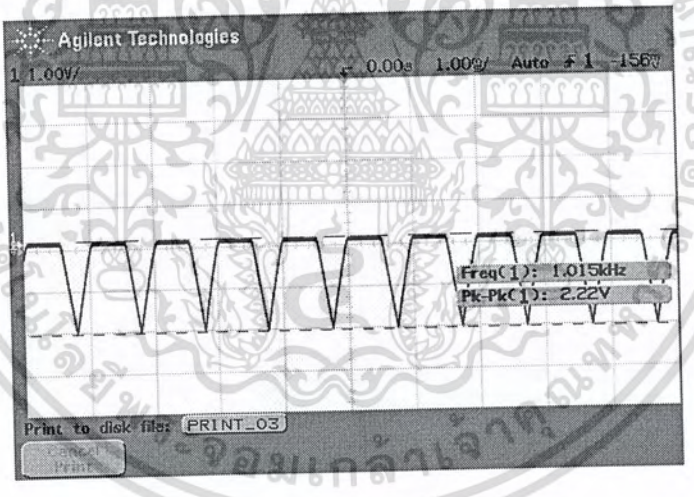
รูปที่ 4.6 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการทดลองวงจรที่ 2 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูป ที่ 4.7



อินพุต = ...5.... Vp-p

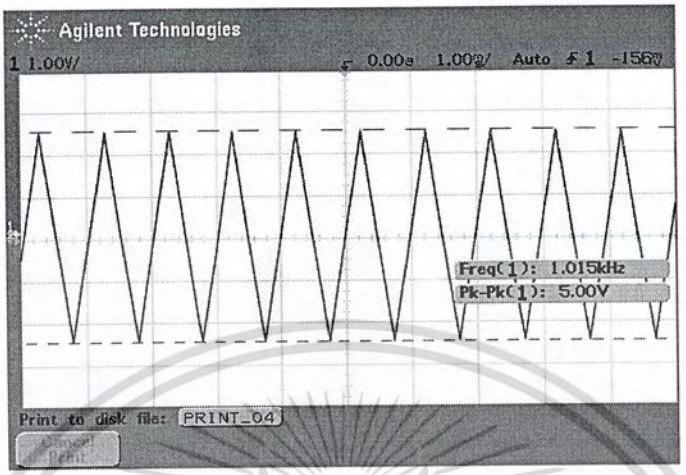


เอาต์พุต = ...2.22.....Vp-p

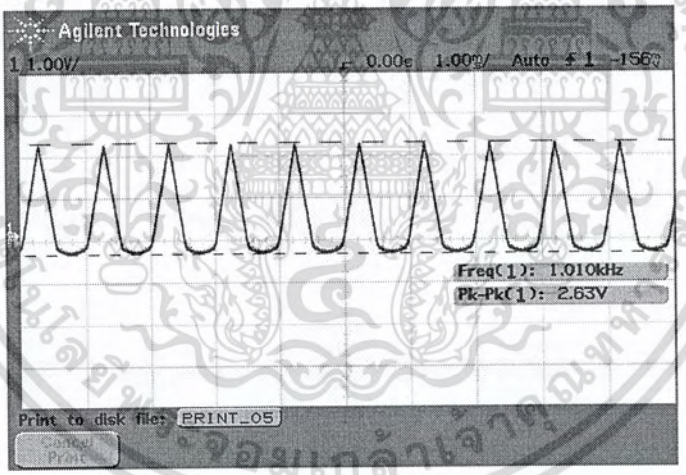
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการทดลองวงจรที่ 3 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.8



อินพุต = 5 Vp-p

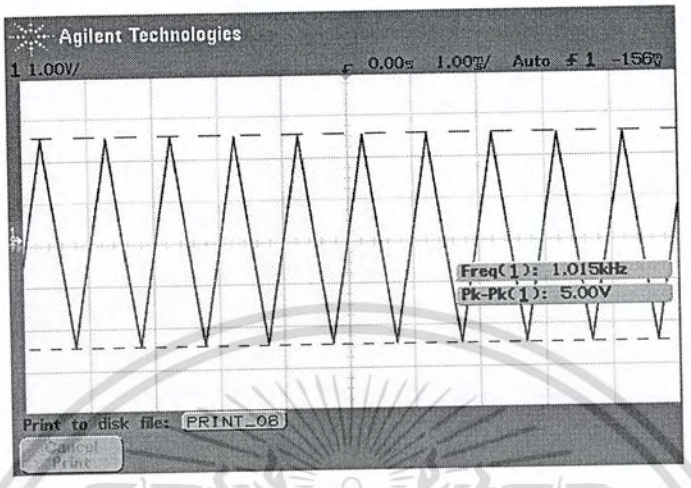


เอาต์พุต = 2.63 Vp-p

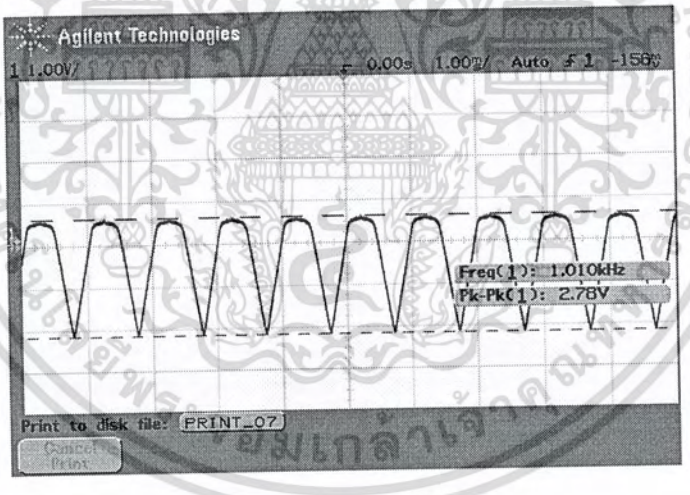
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการทดลองวงจรที่ 4 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.9



อินพุต = ...5..... Vp-p

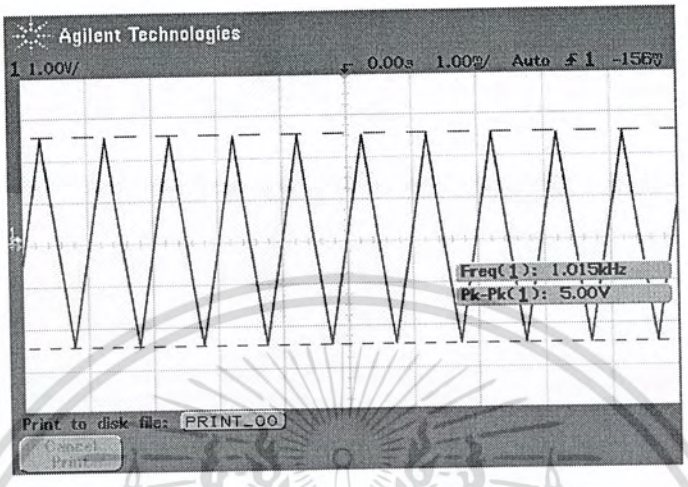


เอาต์พุต = ...2.78.....Vp-p

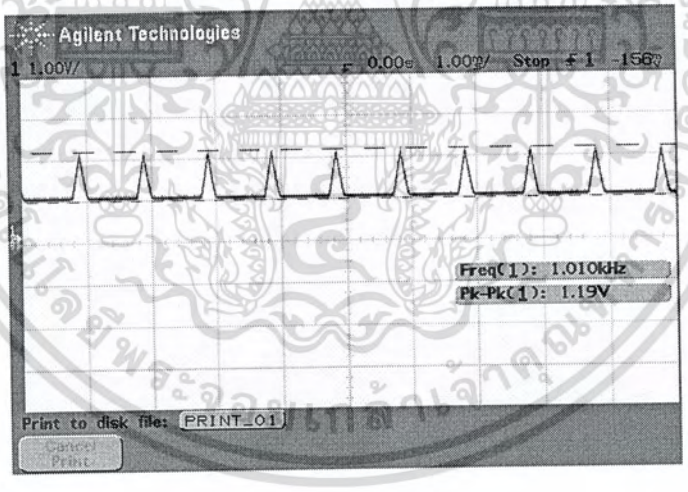
รูปที่ 4.9 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำการทดลองวงจรที่ 5 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.10



อินพุต = ...5.... Vp-p

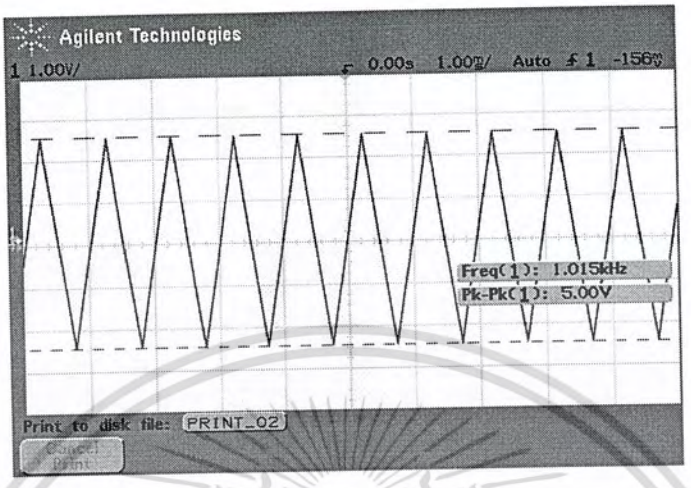


เอาต์พุต = ...1.19....Vp-p

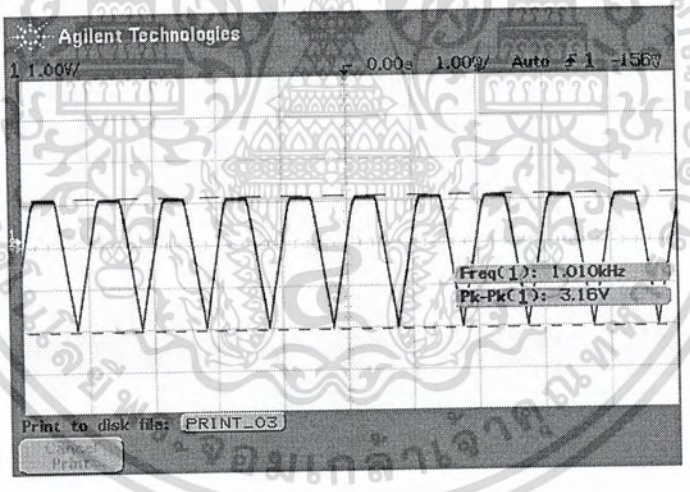
รูปที่ 4.10 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำการทดลองวงจรที่ 6 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.11



อินพุต = ...5..... Vp-p

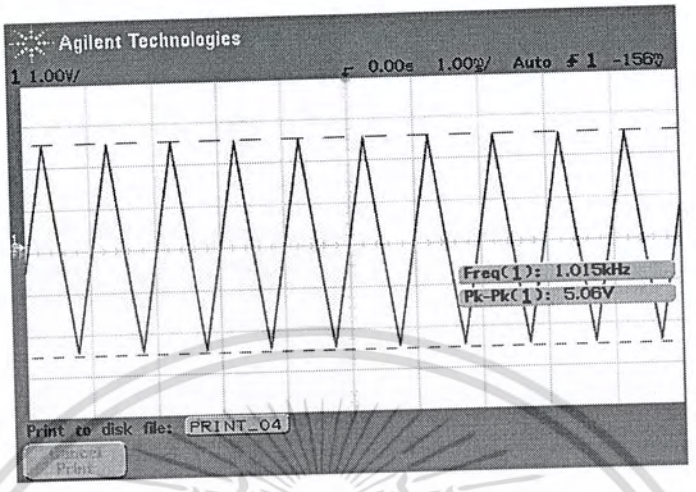


เอาต์พุต = ...3.16.... Vp-p

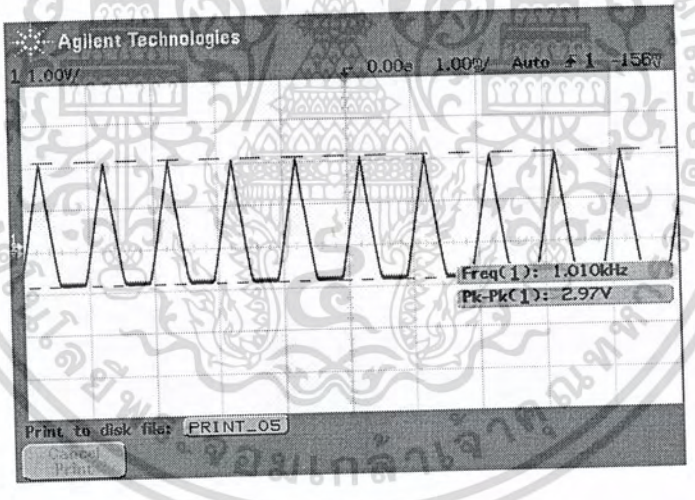
รูปที่ 4.11 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ทำการทดลองวงจรที่ 7 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.12



อินพุต = 5 Vp-p

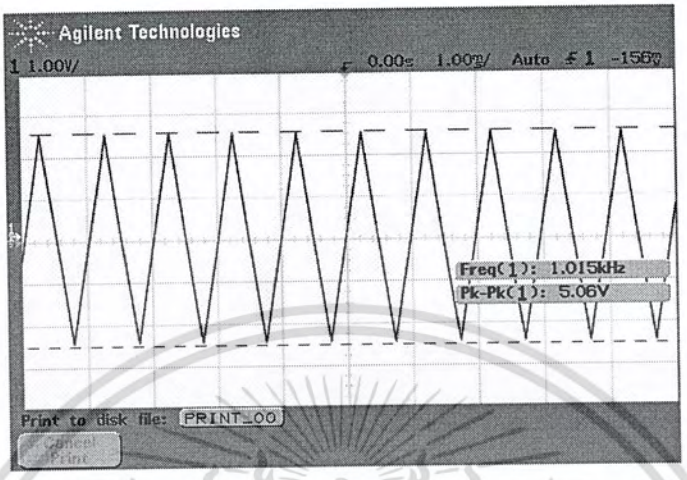


เอาต์พุต = 2.97 Vp-p

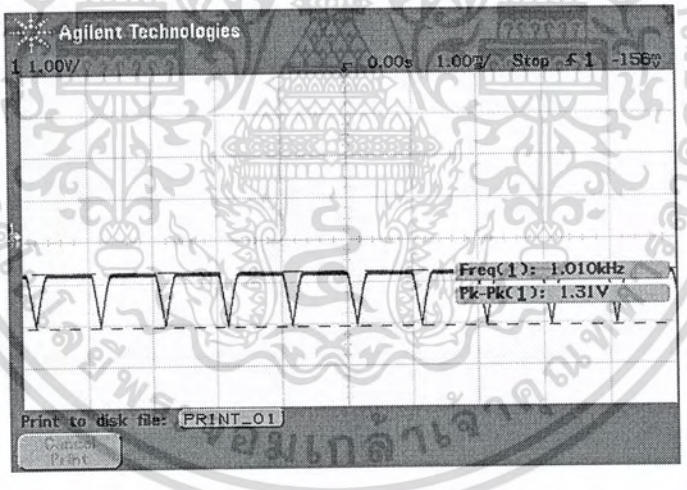
รูปที่ 4.12 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ทำการทดลองวงจรที่ 8 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.13



อินพุต = ...5... Vp-p

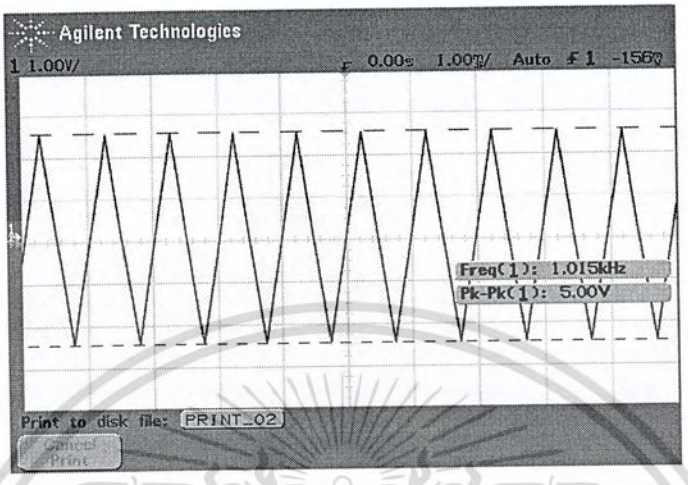


เอาต์พุต = ...1.31...Vp-p

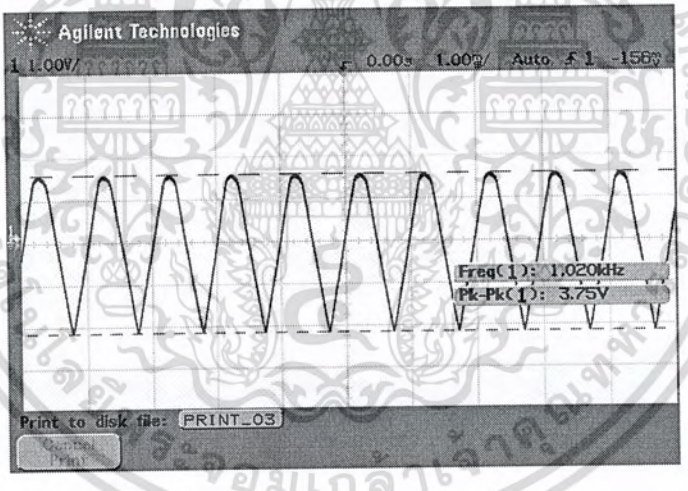
รูปที่ 4.13 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ทำการทดลองวงจรที่ 9 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.14



อินพุต = 5 Vp-p

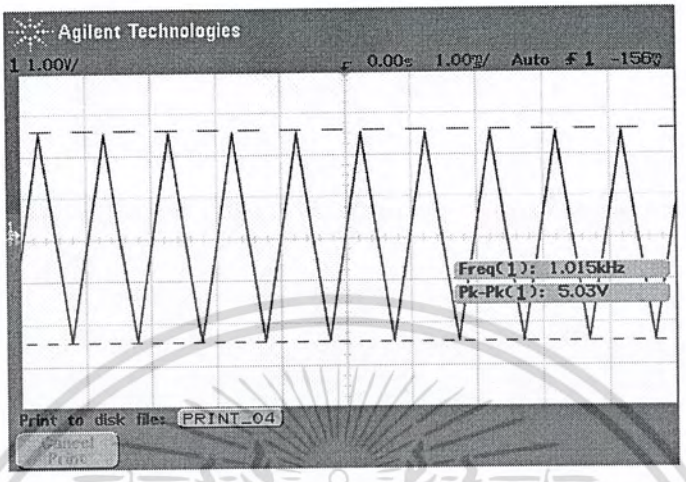


เอาต์พุต = 3.75 Vp-p

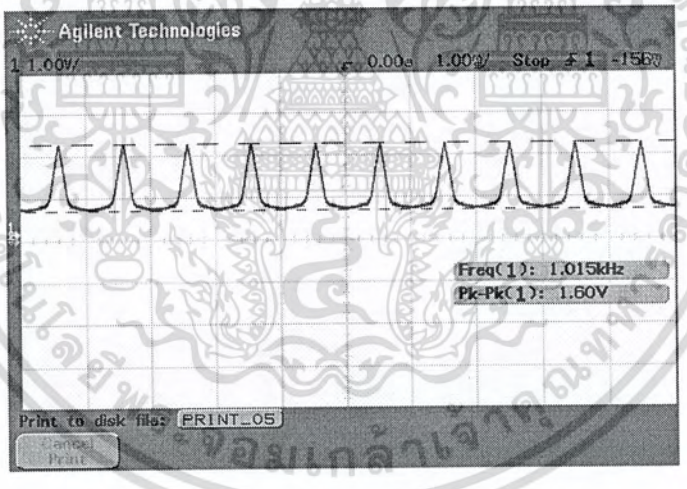
รูปที่ 4.14 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ทำการทดลองวงจรที่ 10 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.15



อินพุต = ...5.... Vp-p

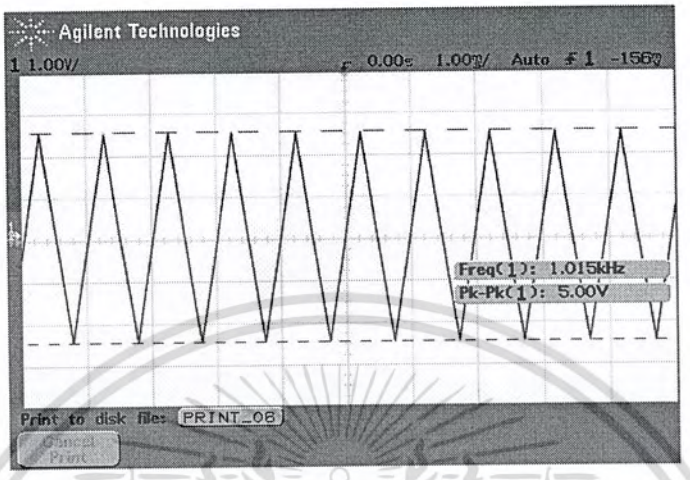


เอาต์พุต = ...1.60....Vp-p

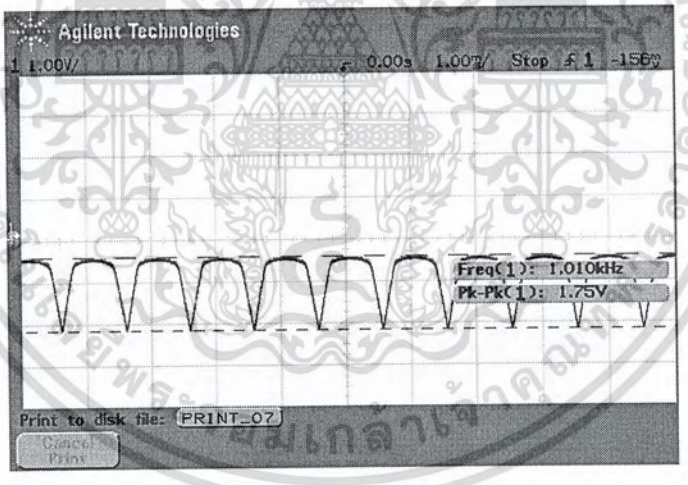
รูปที่ 4.15 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ทำการทดลองวงจรที่ 11 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.16



อินพุต = 5 Vp-p

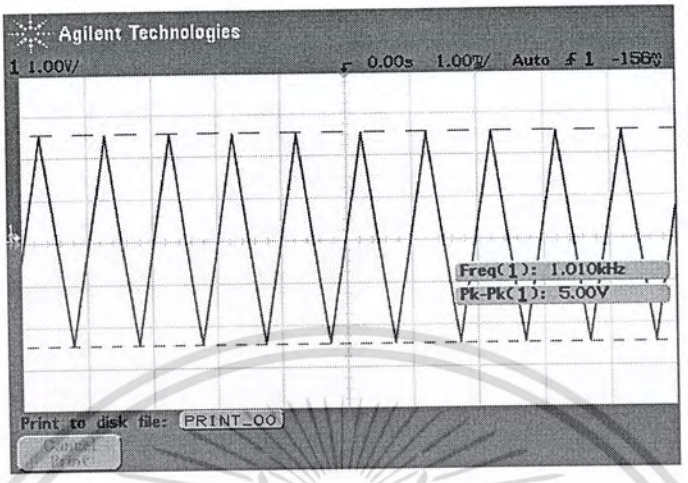


เอาต์พุต = 1.75 Vp-p

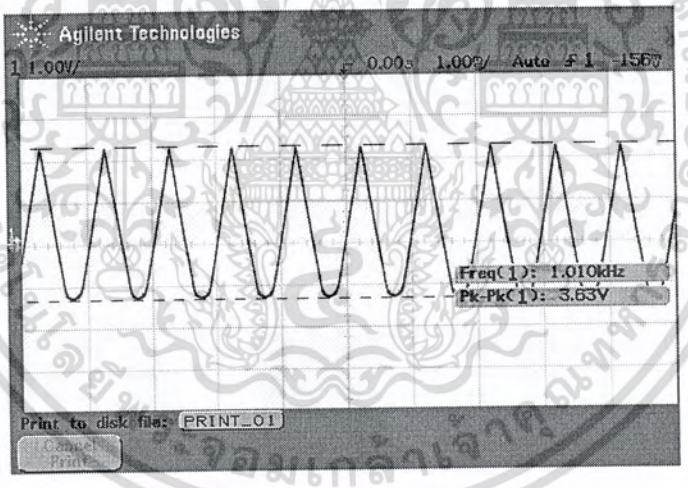
รูปที่ 4.16 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ทำการทดลองวงจรที่ 12 แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1.1-1.2 และบันทึกรูปคลื่นลงในรูปที่ 4.17



อินพุต = 5 Vp-p



เอาต์พุต = 3.63 Vp-p

รูปที่ 4.17 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} และ V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงยกตัวอย่างการนำเอาวงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่น ไปใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์หรืออิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรมมาอย่างน้อย 1 ตัวอย่าง และอธิบายการทำงานของวงจรมาพอเข้าใจ

ตอบ วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณรูปคลื่นสามารถนำไปใช้งานได้หลายประเภท เช่น การเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ โดยใช้ไดโอดมาควบคุมอยู่ในวงจร ไดโอดจะทำการตัดกระแสด้านไดด้านหนึ่งรูปพัลส์ที่ออกมาจะเป็นครึ่งหนึ่ง

2. ถ้าเปลี่ยนตัวความต้านทานจาก 100 kΩ เป็น 1 kΩ มีผลต่อสัญญาณเอาต์พุตอย่างไร

ตอบ รูปคลื่นที่เกิดจากตัวความต้านทานที่มีค่า 1 kΩ รูปสัญญาณเอาต์พุตจะถูกขริบมากกว่าตัวความต้านทานที่มีค่า 100 kΩ

สรุปผลการทดลอง

ตอบ วงจรตัดรูปคลื่นสัญญาณคลื่นโดยใช้ไดโอดเป็นตัวกำหนดขนาดของแรงดันทางด้านออกทางออกและทางลบ ใช้เพื่อป้องกันรอยต่อระหว่างขาเบสและอิมิตเตอร์ทะลุเนื่องจากการได้รับไบอัสสูงกว่าค่าที่กำหนดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 5

วงจรยกระดับสัญญาณ

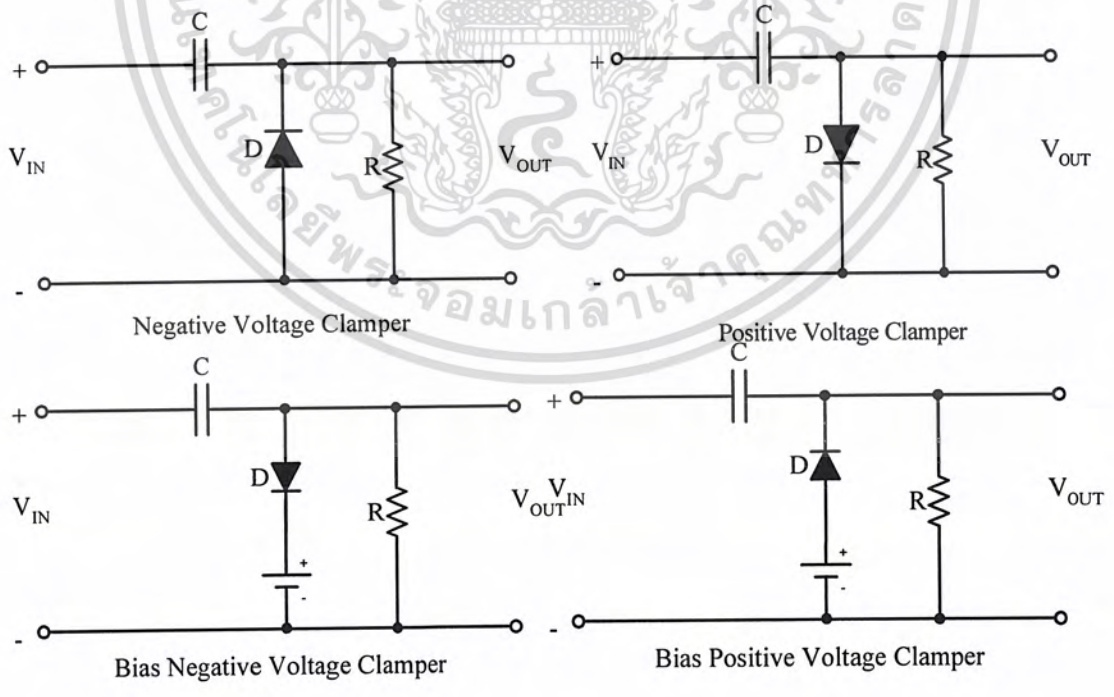
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรยกระดับสัญญาณที่ใช้ไดโอดและตัวเก็บประจุได้
2. สามารถปฏิบัติการต่อวงจรที่กำหนด และทดสอบการทำงานของวงจรได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรยกระดับสัญญาณ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

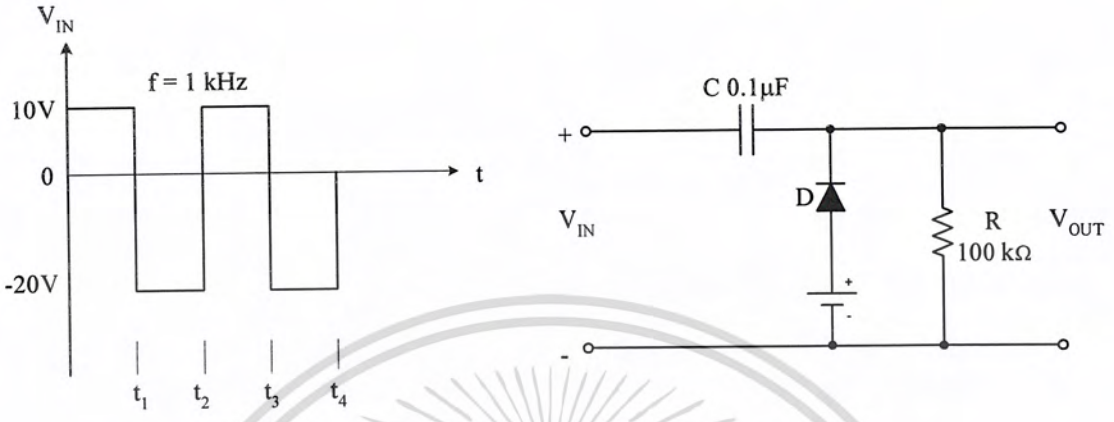
1. Positive Voltage Clamper
2. Negative Voltage Clamper
3. Bias Negative Voltage Clamper
4. Bias Positive Voltage Clamper



รูปที่ 5.1 วงจรยกระดับสัญญาณ แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> จงคำนวณหาค่า 5τ และเขียนรูปคลื่น V_O



รูปที่ 5.2 Bias Positive Voltage Clamper

วิธีทำ

$f = 1$ kHz ; $T=1/f$ $= 1/1$ kHz $=1$mS

ดังนั้น $T/2$ (ครึ่งคาบเวลา) $= 0.5$mS

เวลา $0 \rightarrow t_1$ ไม่พิจารณา เพราะไดโอดยังไม่ได้รับไบอัสตรง

เวลา $t_1 \rightarrow t_2$ สัญญาณ V_1 ทำให้ไดโอดอยู่ในสภาวะลัดวงจรมี $Vo_1 = 5V$

$$-20V+V_C - 5V = 0$$

$$V_C = 25V$$

เวลา $t_2 \rightarrow t_3$ แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 5V ไม่มีผลต่อ V_o

$$+10V+25V-V_o = 0$$

$$VO_2 = 35V$$

หาช่วงเวลาคงที่ในการคายประจุ (τ) ของ C

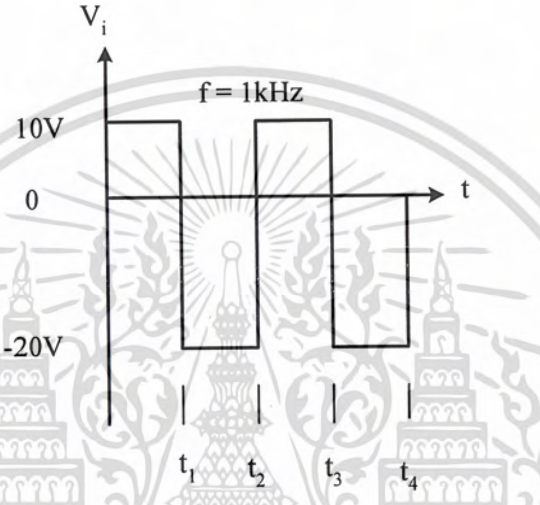
$$R_C = 100\,k\Omega \times 0.1\,\mu F = 10mS$$

เวลาคายประจุทั้งหมด $5\tau = 5 \times 10mS = 50mS$

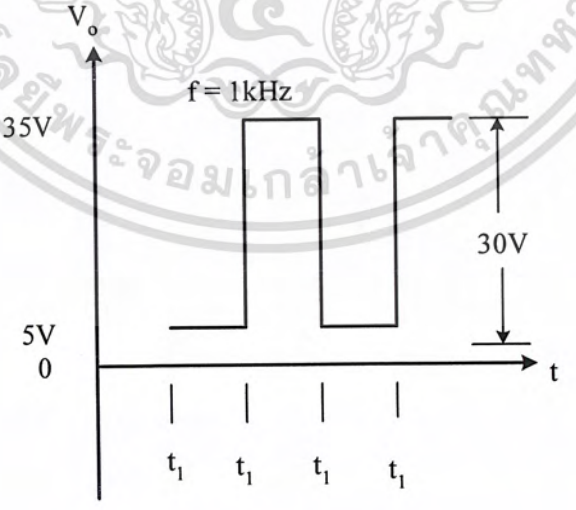
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากช่วง $t_2 \rightarrow t_3$ ใช้เวลา 0.5 mS เป็นเวลาที่ C ยังคงรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาไว้ ในช่วงเวลาการคายประจุ ระหว่างรูปคลื่นของสัญญาณ V_{IN} และการขึ้นลงของรูปคลื่น V_o ขนาด 30 V จึงเหมาะกับการขึ้นลงของรูปคลื่น V_{IN}

<u>สัญญาณInput และ Output</u>



รูปที่ 5.3 สัญญาณ Input ของ Bias Positive Voltage Clamper



รูปที่ 5.4 สัญญาณ Output ของ Bias Positive Voltage Clamper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> จากตัวอย่างที่ 1 ถ้าเปลี่ยนไดโอดเป็นชนิด Silicon มี V_D = 0.7 V จงแสดงวิธีการคำนวณหา ค่า V_C และ V_o พร้อมแสดงรูปสัญญาณ Output ?

$$+ 5V - 0.7\ V - V_{o1} = 0$$

$$V_{o1} = 4.3V$$

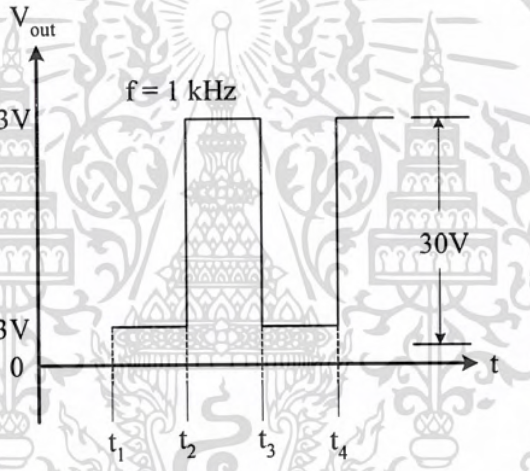
$$- 20 + V_C + 0.7\ V - 5V = 0$$

$$V_C = 24.3V$$

$$+ 10V + 24.3V - V_O = 0$$

$$V_O = 34.3V$$

<u>รูปสัญญาณ Output</u>



รูปที่ 5.5 สัญญาณ Output ของ Bias Positive Voltage Clamper ไดโอดชนิดซิลิกอน

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	1	ชุด
2. แผงการทดลองที่ 5 วงจรยกระดับสัญญาณ	1	แผง
3. มัลติมิเตอร์	1	เครื่อง

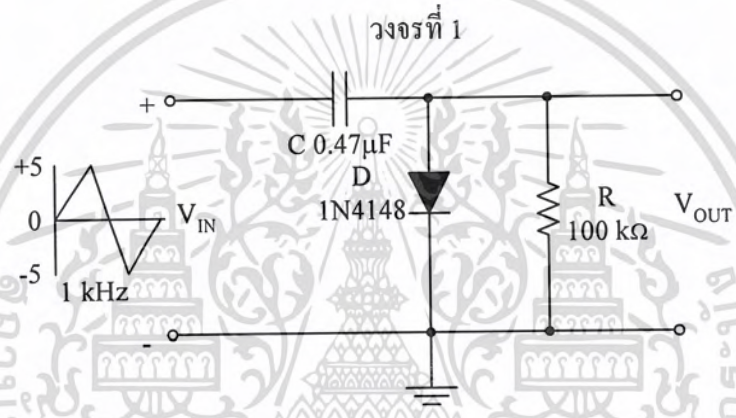
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

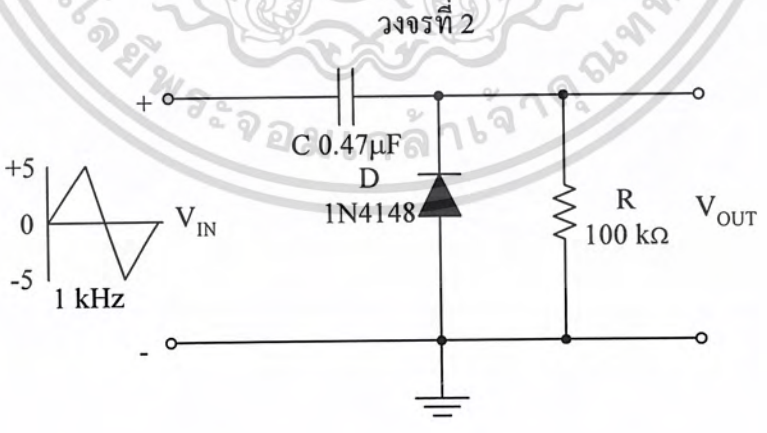
1. นำแผงการทดลองที่ 5 มาต่อกับชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์และต่อวงจรดังรูปที่ 5.6โดยกำหนดให้ค่า Resistor = 100 kΩ, Capacitor = 0.47 μF Diode = 1N4148

2. คลิกปุ่มทดลองวัดสัญญาณและตั้งออสซิลโคปดังนี้ แชนแนล 1 และ 2 V/div = 5 V p-p T/div = 2 mS ตั้งเครื่องกำเนิดสัญญาณ Saw tooth Wave 1000Hz เอาต์พุตขนาด 5 V p-p

3. ใช้ออสซิลโลสโคปแชนแนล 1 วัดรูปคลื่น V_{IN} และ แชนแนล 2 วัดรูปคลื่น V_{OUT} บันทึกผลลงในตาราง

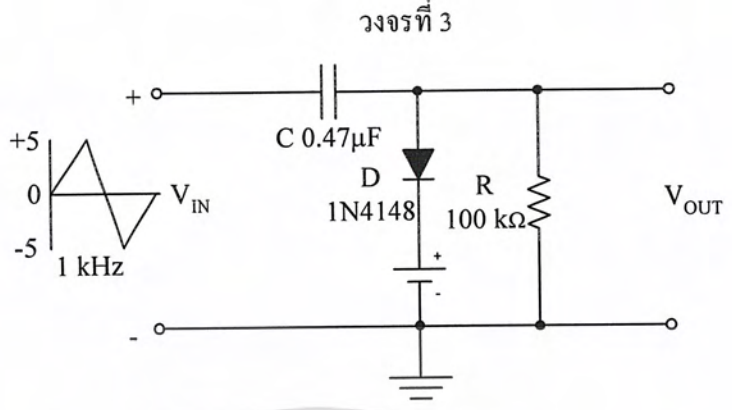


รูปที่ 5.6 วงจรด้านลบ

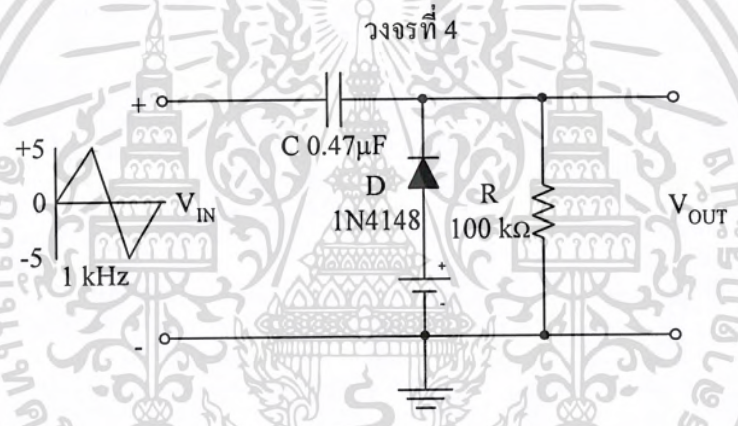


รูปที่ 5.7 วงจรด้านบวก

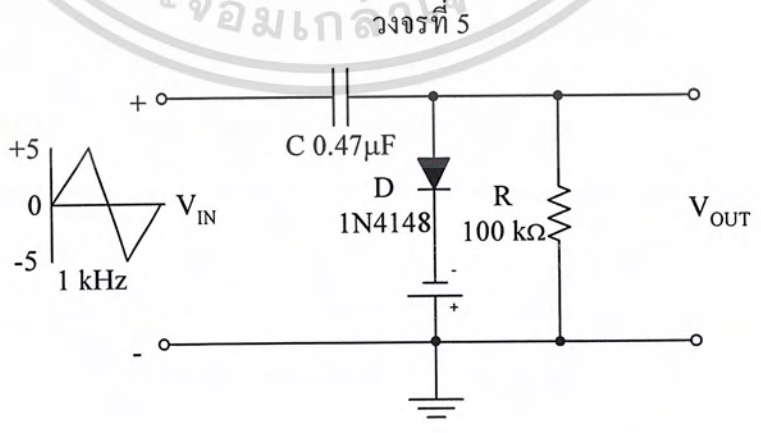
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 วงจรยกระดับสัญญาณที่ปรับระดับแรงดันไฟตรง



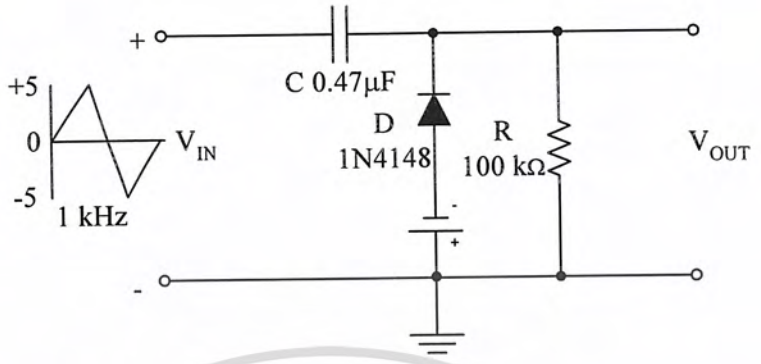
รูปที่ 5.9 วงจรยกระดับสัญญาณที่ปรับระดับแรงดันไฟตรงกลับขั้วไดโอด



รูปที่ 5.10 วงจรยกระดับสัญญาณที่ปรับระดับแรงดันไฟตรง

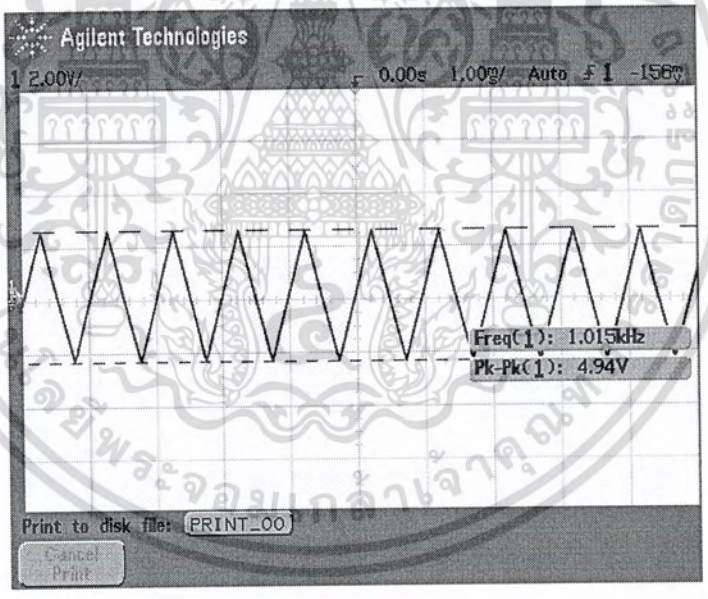
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ 6



รูปที่ 5.11 วงจรยกระดับสัญญาณที่ปรับระดับแรงดันไฟตรงกลับขั้วไดโอด

4. ทำการทดลองตามข้อ 1 ถึง ข้อ 3 โดยต่อวงจรตามรูปที่ 5.6

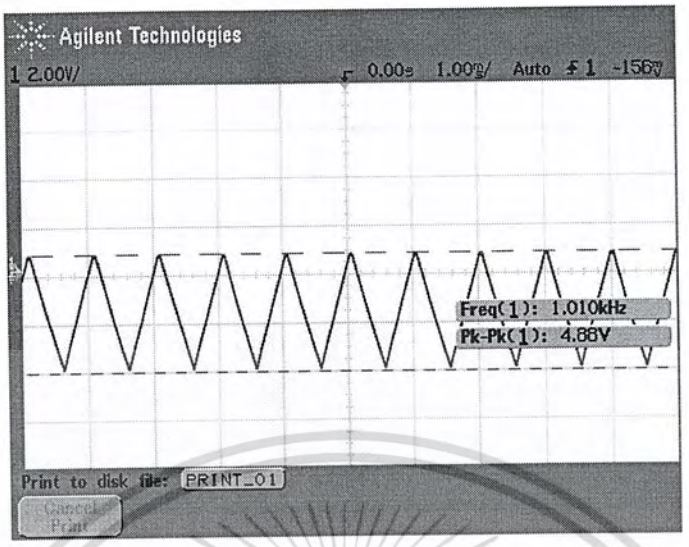


อินพุต = ...5... Vp-p

ความถี่ = ...1... kHz

รูปที่ 5.12 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} ของวงจรรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

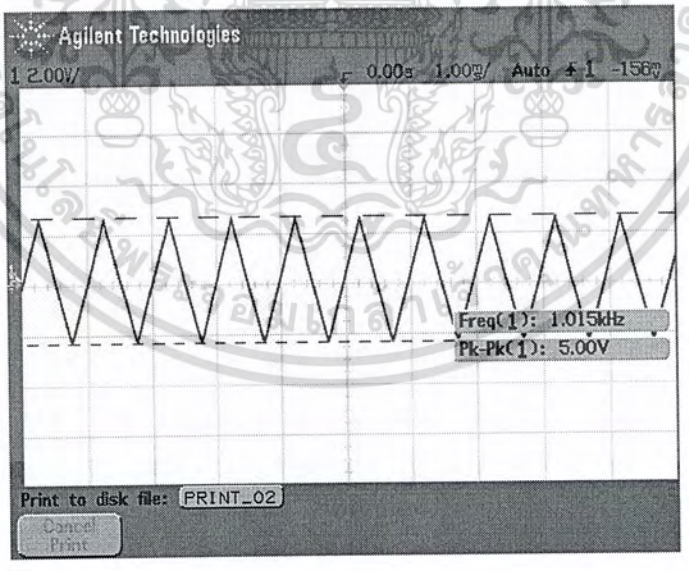


เอาต์พุต = 4.88 Vp-p

ความถี่ = 1 kHz

รูปที่ 5.12 (ต่อ) ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{OUT} ของวงจรรูปที่ 5.6

5. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึง ข้อ 3 โดยต่อวงจรตามรูปที่ 5.7

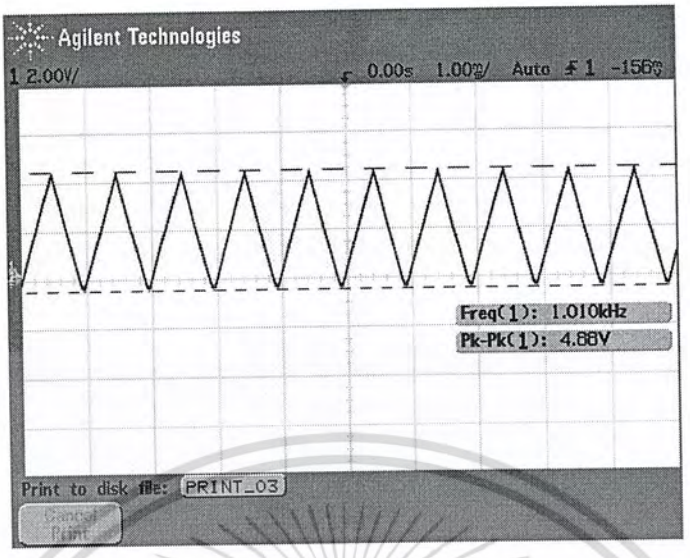


อินพุต = 5 Vp-p

ความถี่ = 1 kHz

รูปที่ 5.13 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} ของวงจรที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

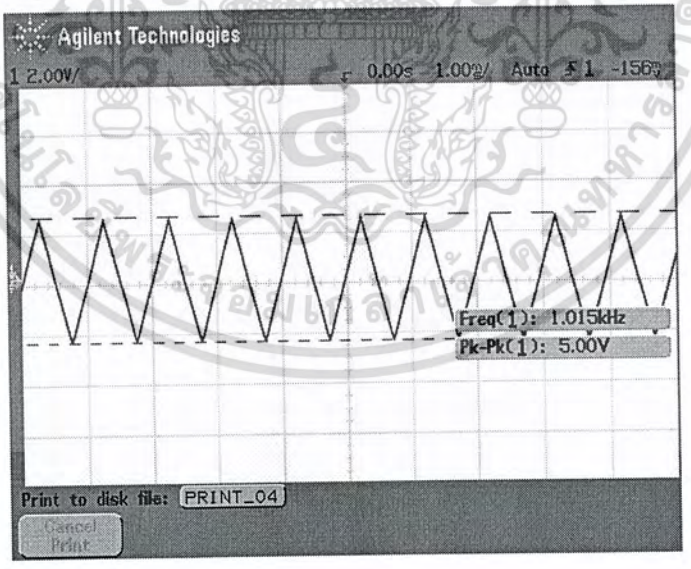


เอาต์พุต = 4.88 Vp-p

ความถี่ = 1 kHz

รูปที่ 5.13 (ต่อ) ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{OUT} ของวงจรที่ 5.7

6. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึง ข้อ 3 โดยต่อวงจรตามรูปที่ 5.8 แล้วป้อนแหล่งจ่าย = 1V

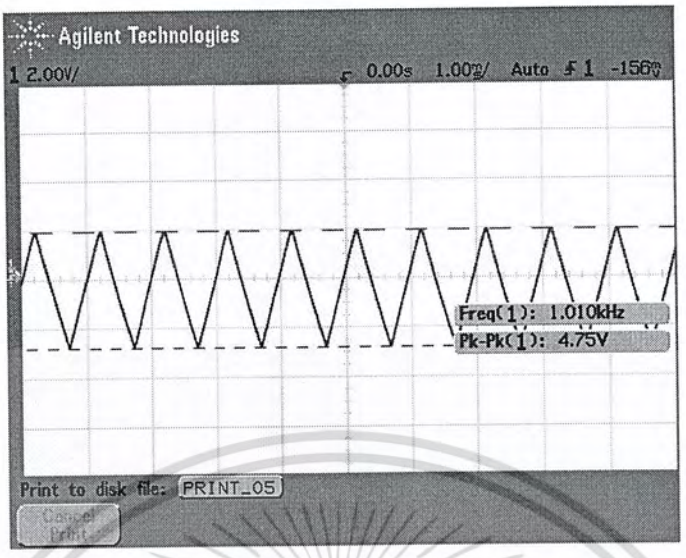


อินพุต = 5 Vp-p

ความถี่ = 1 kHz

รูปที่ 5.14 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} ของวงจรที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

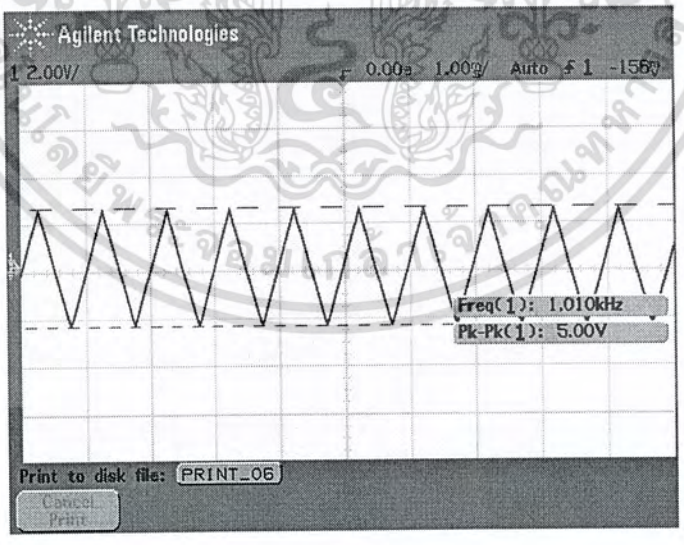


เอาต์พุต = 4.75 Vp-p

ความถี่ = 1 kHz

รูปที่ 5.14 (ต่อ) ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{OUT} ของวงจรที่ 5.8

7. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึง ข้อ 3 โดยต่อวงจรตามรูปที่ 5.9 แล้วป้อนแหล่งจ่าย = 1V

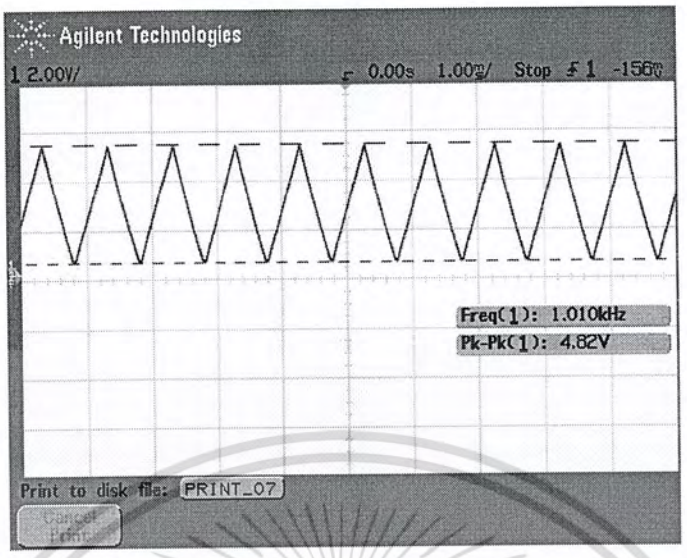


อินพุต = 5 Vp-p

ความถี่ = 1 kHz

รูปที่ 5.15 ผลการทดลองวัด สัญญาณ V_{IN} ของวงจรที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

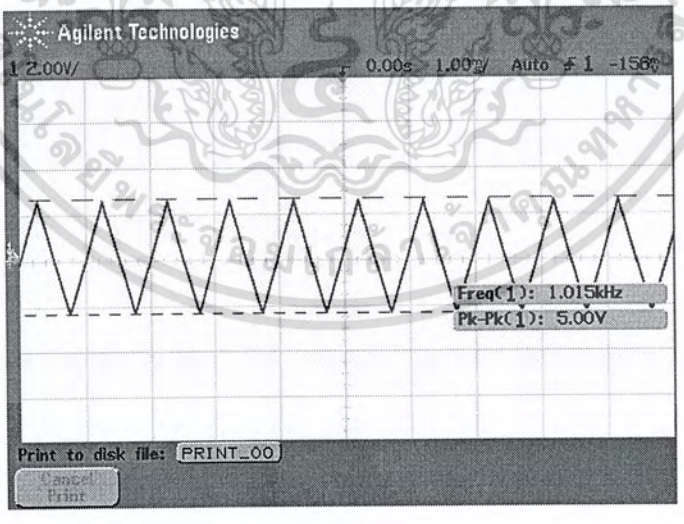


เอาต์พุต = ...4.82.... Vp-p

ความถี่ = ...1.... kHz

รูปที่ 5.15 (ต่อ) ผลการทดลอง สัญญาณ V_{OUT} ของวงจรที่ 5.9

8. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึง ข้อ 3 โดยต่อวงจรตามรูปที่ 5.10 แล้วป้อนแหล่งจ่าย = 1V

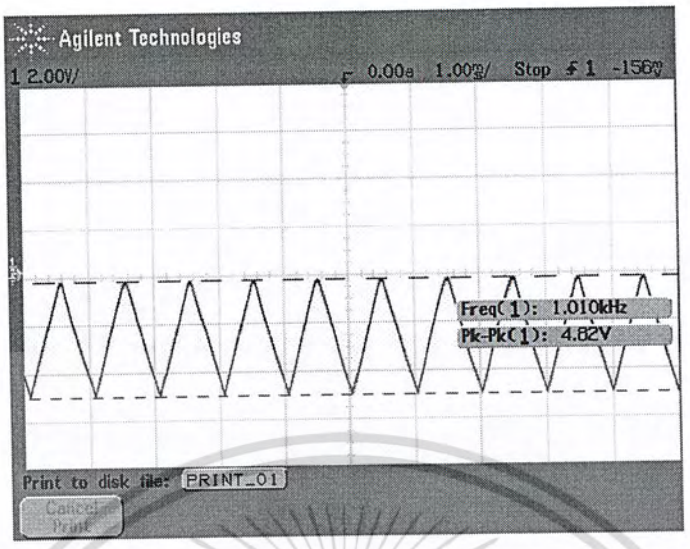


อินพุต = ...5.... Vp-p

ความถี่ = ...1....kHz

รูปที่ 5.15 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} ของวงจรที่ 5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

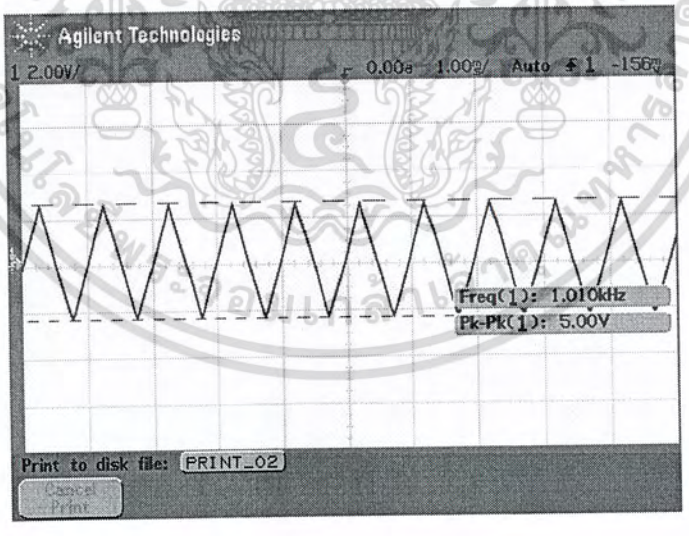


เอาต์พุต = 4.82 Vp-p

ความถี่ = 1 kHz

รูปที่ 5.15 (ต่อ) ผลการทดลอง สัญญาณ V_{OUT} ของวงจรที่ 5.10

9. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึง ข้อ 3 โดยต่อวงจรตามรูปที่ 5.11 แล้วป้อนแหล่งจ่าย = 1V

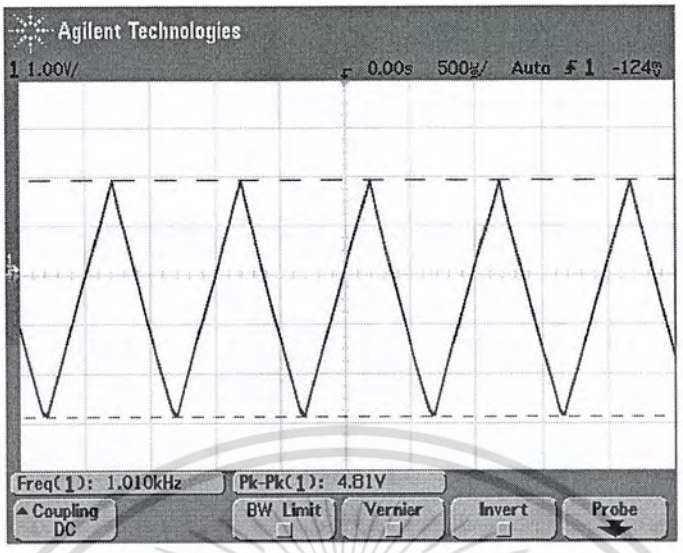


อินพุต = 5 Vp-p

ความถี่ = 1 kHz

รูปที่ 5.16 ผลการทดลอง สัญญาณ V_{IN} ของวงจรที่ 5.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอาต์พุต = 4.81 Vp-p

ความถี่ = 1 kHz

รูปที่ 5.16 (ต่อ) ผลการทดลอง สัญญาณ V_{OUT} ของวงจรที่ 5.11

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการการทำงานของวงจรยกระดับสัญญาณ

ตอบ การทำงานของวงจรยกระดับสัญญาณ ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับไฟตรงของสัญญาณอินพุต ไปอยู่ที่ระดับแรงดันไฟตรงระดับใหม่โดยที่รูปร่างของสัญญาณอินพุตไม่เปลี่ยนแปลง

2. ถ้าเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณ Input (ใช้ R และ C ค่าเดิม) จะมีผลต่อสัญญาณ Output อย่างไร

ตอบ รูปสัญญาณเอาต์พุตจะกว้างหรือแคบขึ้นกับความถี่ของสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา

สรุปผลการทดลอง

เมื่อใช้ไดโอดจะสามารถตรึง ระดับแรงดันทางสัญญาณด้านเข้าที่เป็นรูปคลื่นไฟสลับให้เลื่อนขึ้นด้านบวก และด้านลบได้โดยขนาดของแรงดันเข้าไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 6
ทรานซิสเตอร์สวิตช์และวงจรอินเวอร์เตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรทรานซิสเตอร์สวิตซ์และวงจร Inverter ได้

2. สามารถออกแบบวงจร Inverter Circuit ตามเงื่อนไขที่กำหนด และทดสอบการทำงานของวงจร

ทฤษฎีเบื้องต้น

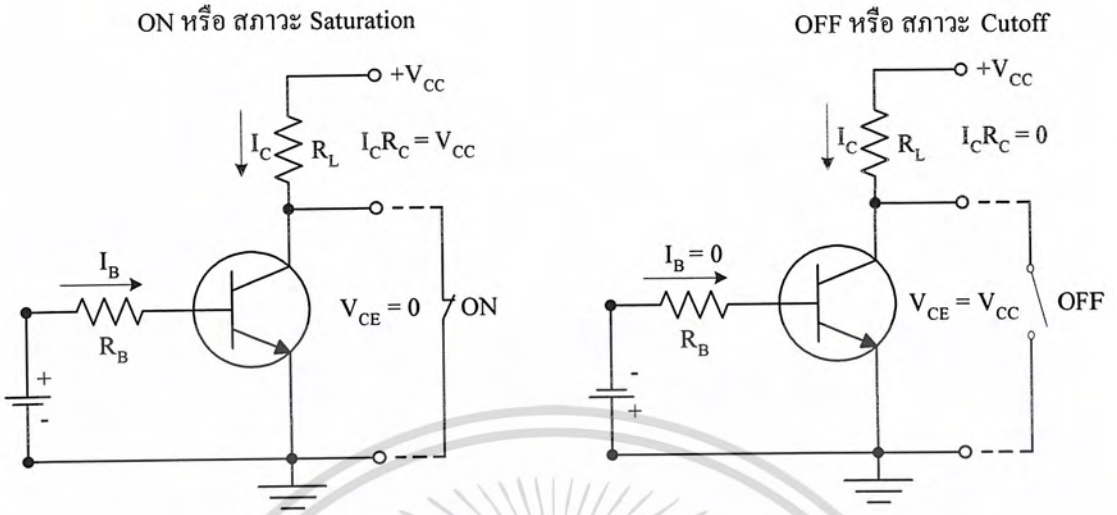
Transistor Switch Circuit

ทรานซิสเตอร์สามารถนำมาใช้เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ โดยควบคุมการทำงานให้อยู่ในย่านอิ่มตัว (Saturation) เมื่อสวิตซ์ปิด (Off) และในย่านคัทออฟ (Cutoff) เมื่อสวิตซ์เปิด (ON) ในขณะที่ทรานซิสเตอร์ได้รับ Reverse Bias จะทำงานเหมือนสวิทช์เปิด "OFF" ดังรูป จุดทำงานจะอยู่ในตำแหน่ง B ของกราฟคุณสมบัติ นั่นคือแรงดันตกคร่อมสวิตซ์ (V_{CC}) จะมีค่าเท่ากับ $-V_{CC}$ และกระแสที่ไหลผ่านสวิตซ์ (I_C) มีค่าเป็นศูนย์

ในทำนองเดียวกันเมื่อทรานซิสเตอร์ได้รับ Forward Bias ทรานซิสเตอร์จะนำกระแส และถ้าให้แรงดันไบอัสมากพอที่จะทำให้ทานซิสเตอร์นำกระแสถึงจุดอิ่มตัว (Saturation) ค่ากระแส I_C ซึ่งเป็นกระแสที่ผ่านสวิทช์จะถูกจำกัดโดยค่า R_L ขณะที่ทรานซิสเตอร์อิ่มตัวนี้ความต้านทานระหว่างขา C และขา E จะมีค่าต่ำมากทำให้แรงดันตกคร่อม V_{CE} มีค่าเป็นศูนย์ (ในทางอุดมคติ) แต่ในความเป็นจริงจะมีค่าประมาณ V_{BE} ของทรานซิสเตอร์แต่ละชนิด

ในวงจร Common Emitter นั้นค่ากระแส I_C จะถูกควบคุมโดย กระแส I_B เพราะว่า $I_C = h_{FE} I_B$ และค่า I_C นี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าแรงดัน V_{BE} ที่ป้อนเป็น Input ด้วย ดังนั้นถ้าแรงดัน V_{BE} เป็นศูนย์หรือได้รับ Reverse Bias ก็จะทำงานในลักษณะสวิทช์ปิด "OFF" แต่ถ้า V_{BE} มีค่าเป็นบวกประมาณมากกว่า 0.7 โวลต์ เพียงเล็กน้อย ทรานซิสเตอร์ก็สามารถนำกระแสได้จนถึงจุดอิ่มตัว คือเป็นสวิทช์เปิด "ON"ได้

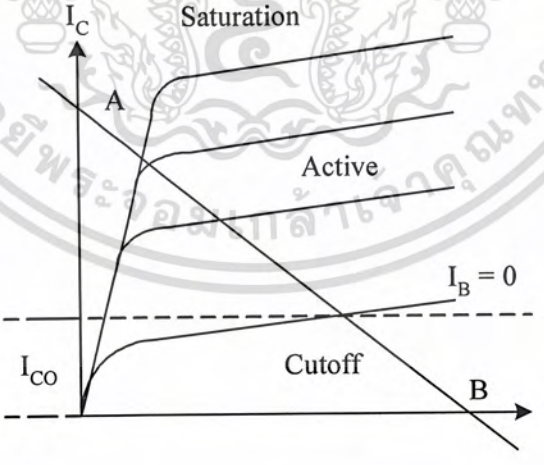
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 แสดงการทำงานของทรานซิสเตอร์ที่สภาวะ ON และ OFF

Transistor มีการทำงานอยู่ 3 สภาวะ คือ

1. Active Regionเป็นย่านที่ Q ทำหน้าที่เกี่ยวกับการขยายสัญญาณ
2. Saturation Region เป็นย่านที่ Q อิ่มตัว $V_{CE} < 0.7V$
3. Cutoff Regionเป็นย่านที่ Q ทำงานอยู่ต่ำกว่าระดับกระแส $I_B = 0$

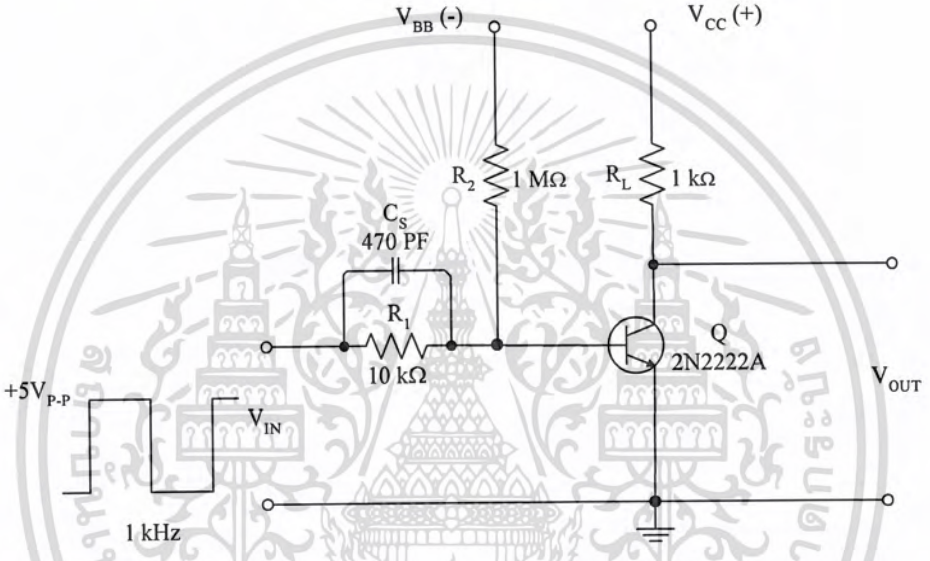


รูปที่ 6.2 แสดงการทำงาน และ ลักษณะคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ เมื่อทำงานเป็นสวิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Inverter Circuit

วงจรกลับสัญญาณ มีลักษณะของวงจรเหมือนกับวงจรทรานซิสเตอร์สวิตซ์ แต่ใช้งานในการกลับเฟสของสัญญาณไฟสลับที่เป็นพัลส์สี่เหลี่ยม หรือสัญญาณไซน์ โดยมีการเพิ่ม Speed U_p Capacitor ทางด้าน Input เพื่อให้ลักษณะของสัญญาณ Output มีช่วงเวลาไต่ขึ้น น้อยลง และต่อ V_{BB} เพื่อลดเวลาสะสมของสัญญาณ Output ทำให้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณ Input มากที่สุด การคำนวณเพื่อกำหนดอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรก็เหมือนกับวงจรทรานซิสเตอร์



รูปที่ 6.3 วงจรกลับสัญญาณโดยใช้ทรานซิสเตอร์

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	1	ชุด
2. แผงการทดลองที่ 6 ทรานซิสเตอร์สวิทช์	1	แผง

ลำดับขั้นการทดลอง

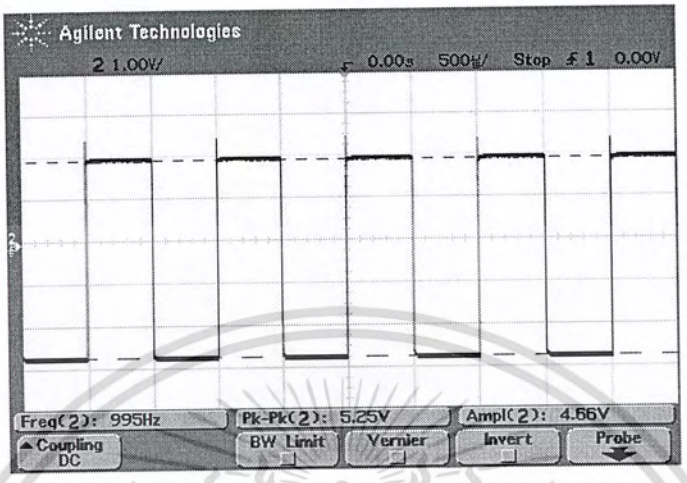
Transistor Switch Circuit

1. ใช้แผงการทดลองที่ 6 และต่อวงจรตามรูป

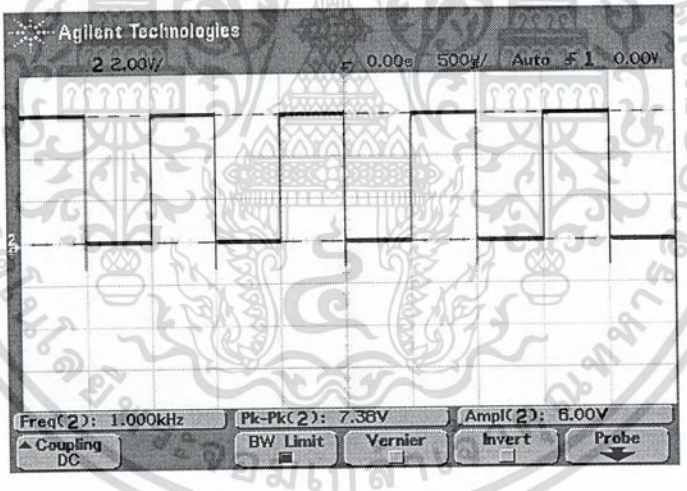
2. จากแผงการทดลองที่ 6 ใช้ Oscilloscope วัดสัญญาณ Input และ สัญญาณ Output ให้ได้สัญญาณ Output ที่เป็น Square Wave (Amplitude ของสัญญาณ Input และสัญญาณ Output ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บันทึกค่าอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ พร้อมสัญญาณ Input และ สัญญาณ Output



อินพุต = 5.25 Vp-p



เอาต์พุต = 7.38 Vp-p

รูปที่ 6.4 ผลการทดลองของวงจร Transistor Switch Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Inverter Circuit

1. จงออกแบบวงจรInverter กำหนดให้ใช้ Transistor เบอร์ 2N3904 โดยให้ $V_{IN} = V_{OUT} =$ 5Vp I_C = 10 mA และ h_{FE} = 100 V_{CC} = 6 V, V_{BB} = -6 V ความถี่ = 1 kHz โดยแสดงวิธีการคำนวณ , เขียนรูปวงจร, บันทึกผลการทดลอง

ลำดับขั้นการคำนวณ (การออกแบบ)

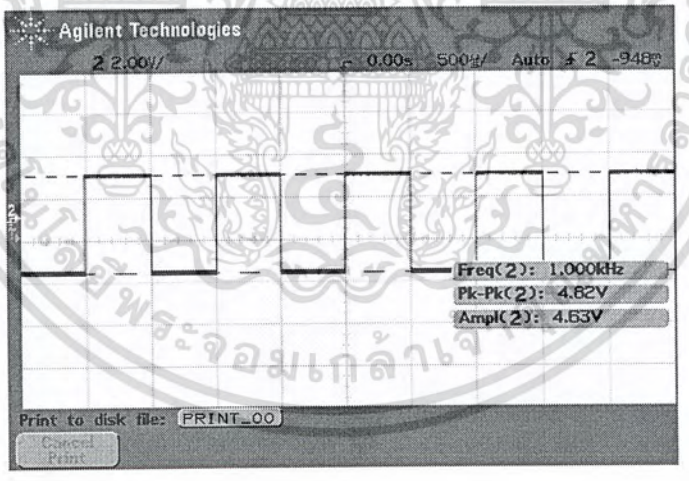
1. หาค่า R_L
2. หาค่า I_B
3. เขียนสมการ ON Equation

$$\frac{e_{in} - V_{BE_{sat}}}{R1} = \frac{V_{BE_{sat}} - V_{BB}}{R2} + I_B$$

4. เขียนสมการ OFF Equation

$$\frac{V_{BE_{off}} - V_{BB}}{R2} = \frac{e_{in} - V_{BE_{off}}}{R1} + I_{CBO}$$

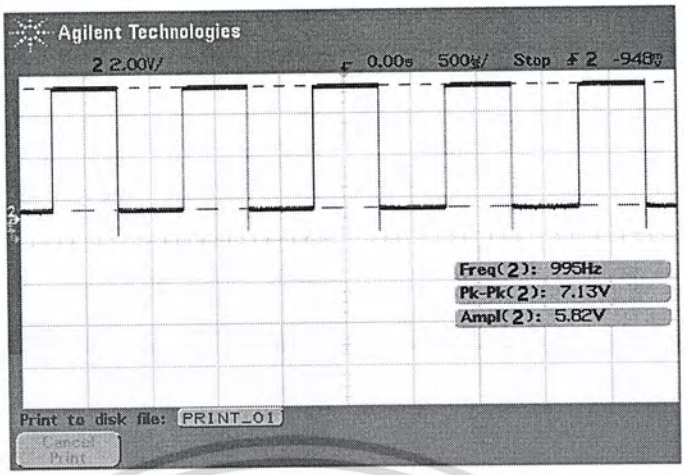
5. แก้สมการON และ OFF เพื่อหาค่า R_1 และ R_2



อินพุต = 4.62 Vp-p

รูปที่ 6.5 ผลการทดลองของวงจร Inverter Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอาต์พุต = ...7.13.... Vp-p

รูปที่ 6.5 (ต่อ) ผลการทดลองของวงจร Inverter Circuit

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกถึงประโยชน์และการนำไปใช้งานของวงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ และวงจรกลับสัญญาณ

ตอบ สามารถวงจรทรานซิสเตอร์สวิตซ์มาใช้ภายในบ้านจะนำมาใช้เป็นสวิตซ์ ปิด-เปิดไฟ หรือนำมาเป็นพวกรีโมทได้

สรุปผลการทดลอง

การทำงานของวงจรกลับสัญญาณและวงจรทรานซิสเตอร์สวิตซ์สามารถนำไปใช้ภายในบ้านและโรงงานอุตสาหกรรมได้หลายรูปแบบ วงจรทรานซิสเตอร์สวิตซ์ จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟบวกโดยผ่านตัวความต้านทานคอลเล็กเตอร์และขาของคอลเล็กเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 7
วงจรจุดชนวนของชมิตต์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถศึกษาหลักการทำงานวงจรจุดชนวนของชมิตช์ ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ได้
2. สามารถหาค่าจุดชนวนขีดบนและจุดชนวนขีดล่างของวงจรจุดชนวนของชมิตต์ได้
3. สามารถทดลองวัดรูปคลื่นขาเข้าและขาออกของวงจรได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

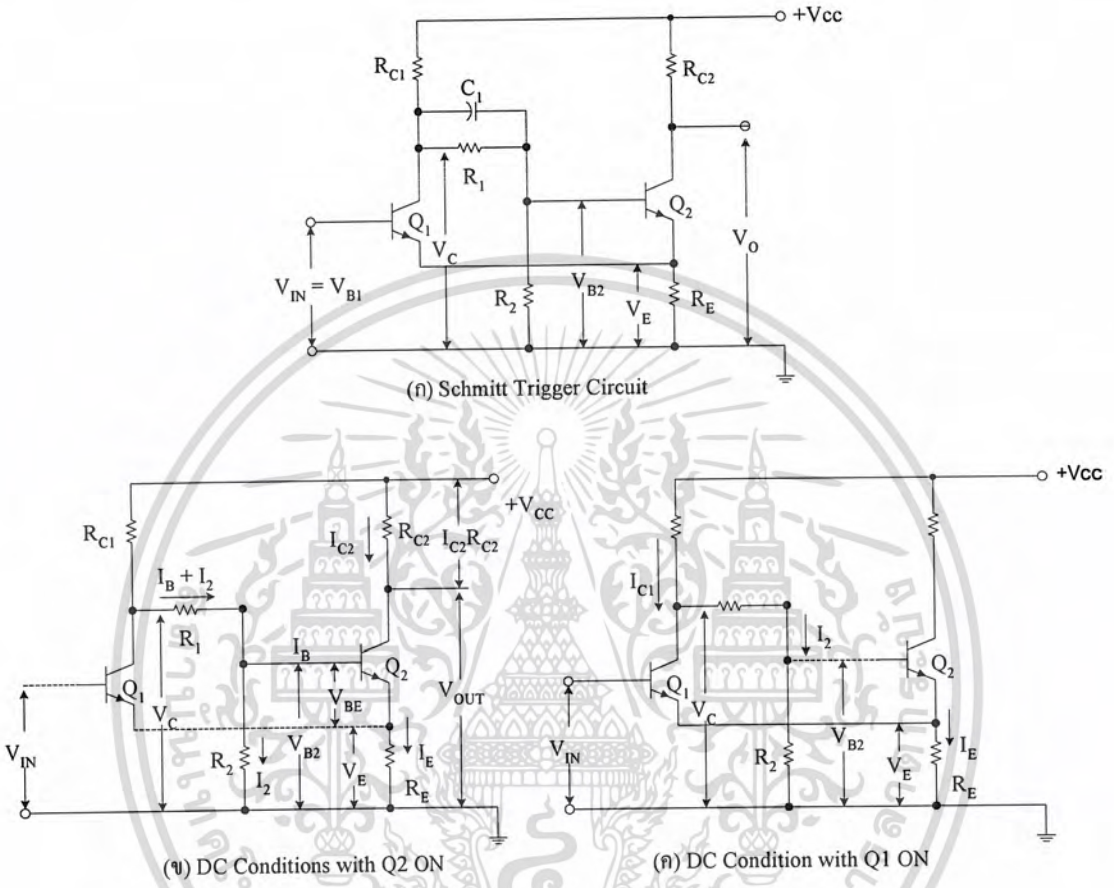
วงจรจุดชนวนของชมิตต์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ (Transistor Schmitt Trigger Circuit) ดังแสดงในรูปที่ 7.1 (ก) ประกอบไปด้วยวงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ 2 วงจรต่ออิมิเตอร์ร่วมกันและด้านออกของทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1 (Q_1) ต่อเข้ากับเบสของทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 (Q_2) ที่อิมิเตอร์จะต่อตัวต้านทานร่วม (Common Emitter Resistor, R_E) ตัวเดียวกัน กำหนดให้แรงดันที่เบสของ Q_1 คือ V_{B1} และแรงดันที่เบสของ Q_2 คือ V_{B2} สำหรับแรงดัน Output ของ Q_1 คือ V_{C1} และแรงดันเอาต์พุตของ Q_2 คือ V_o วงจรจุดชนวนของชมิตต์เป็นวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมโดยวิธีการป้อนสัญญาณแรงดันรูปคลื่นไซน์หรือคลื่นสามเหลี่ยมที่มีขนาดมากกว่าแรงดันที่ตั้งไว้กับวงจรดังกล่าวได้

จากรูปที่ 7.1 (ก) เมื่อจ่ายแรงดัน V_{CC} ให้กับวงจรและไม่ป้อนแรงดันด้านเข้า (V_i) ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะคัตออฟและเกิดกระแสคอลเลคเตอร์ของ Q_2 ผ่าน R_{C1} และผ่าน R_1 เท่ากับ (IB+I2) ดังรูปที่ 7.1 (ข) กระแสดังกล่าวจะไหลเข้าเบส Q_2 (I_B) และแยกไหลผ่าน R_2 (I_2) เกิดแรงดันตกคร่อม $R_2 = V_{B2}$ และทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_2 นำกระแสอิ่มตัว (Q_2 = on) เกิดแรงดันที่รอยต่อเบสและ อิมิตเตอร์ของ Q_2 = VBE เกิดกระแส I_{C2} ไหลผ่าน R_{C2} และผ่านคอลเล็คเตอร์ของ Q_2 มาสู่อิมิตเตอร์ เกิดกระแส I_E ผ่าน R_E และแรงดันตกคร่อม R_E คือ V_E สภาวะที่ Q_2 ทำงานนี้ Q_1 จะไม่ทำงาน (คัตออฟ) แรงดัน V_o เท่ากับ $V_E + V_{CE(sat)} = V_{CC} - I_{C2} R_{C2}$

จากรูปที่ 7.1 (ค) เมื่อปรับแรงดันด้านเข้า (V_i) ที่ป้อนให้เบสของ Q_1 เพียงพอที่จะทำให้เบสของ Q_1 เพิ่มขึ้นจนกระทั้งถึงค่าแรงดันค่าหนึ่ง จะเกิดกระแสเบสไหลเข้า Q_1 เพียงพอที่จะทำให้ Q_1 ซึ่งคัตออฟอยู่ นำกระแสจนอิ่มตัวได้ค่าแรงดันดังกล่าวเรียกว่า UTP (Upper Trigger Point) จากรูปที่ 7.1 (ค) ค่า UPT = $V_E + V_{BE\ (set)} = V_{B2}$ เมื่อ Q_2 ทำงานถึงย่านอิ่มตัวจะเกิดกระแส I_{C1} ไหลผ่าน R_{C1} มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อิมิตเตอร์ของ Q_1 และผ่าน R_E ดังนั้น I_E ในรูป 7.1 (ค) จะเท่ากับ I_{C1} และ $V_{C1} = V_{CE\,(set)} + V_E$ จะเห็นได้ว่ามีกระแสไหลผ่าน Q_2 ดังนั้น Q_2 จะคัตออฟ ในสภาวะแรงดัน V_o จะเท่ากับ V_{CC}



รูปที่ 7.1 วงจรจุดชนวนของชมิตต์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

เมื่อปรับแรงดัน V_{IN} จน Q_1 = on จะทำให้ Q_2 = off ถ้าต้องการเปลี่ยนสภาวะการทำงานของวงจรให้กลับ ดังรูปที่ 7.1 (ข) ทำได้ โดยปรับค่าแรงกัน V_{IN} ให้ลดต่ำกว่าค่าแรงดันค่าหนึ่ง (ซึ่งค่านี้ต่ำกว่าค่า UTP) เรียกว่าจุด LPT (Lower Trigger Point) เพราะเมื่อลดค่าV_{IN} ลงทำให้ I_B ที่ป้อนเข้า Q_1 ลดลงจนกระทั้ง Q_1 คัตออฟ กระแสจะไหลผ่านคอลเลกเตอร์ของ Q_1 จะทำให้เกิดกระแส $I_B + I_2$ ผ่าน R_1 เกิดสภาวะการทำงาน ดังรูปที่ 7.1 (ข) อีกครั้ง

วงจรจุดชนวนของชมิตต์จะทำงาน 2 สภาวะเท่านั้น คือ

1. เมื่อ V_{IN} มากกว่าหรือเท่ากับ UTP ทำให้ Q_1 = on, Q_2 = off
2. เมื่อ V_{IN} น้อยกว่าหรือเท่ากับ LTP ทำให้ Q_1= off, Q_2 = on

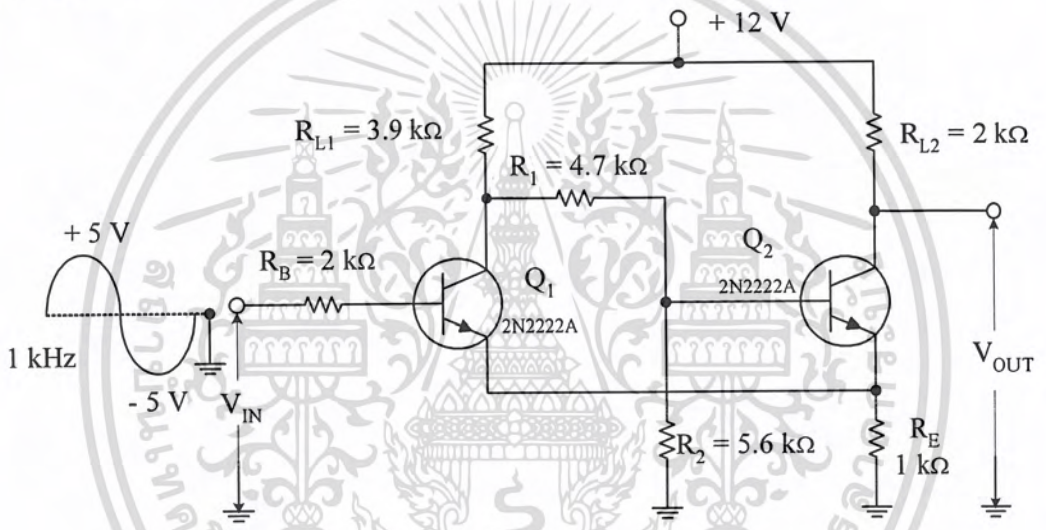
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ 1 ชุด
2. แผงการทดลองที่ 7 (วงจรจุดชนวนของชมิตต์) 1 แผง
3. มัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลอง ดังรูปที่ 7.2 ปรับค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้า V_{IN} ให้เท่ากับ 0 โวลต์



รูปที่ 7.2 วงจรการทดลองข้อ 1 วงจรจุดชนวนของชมิตต์

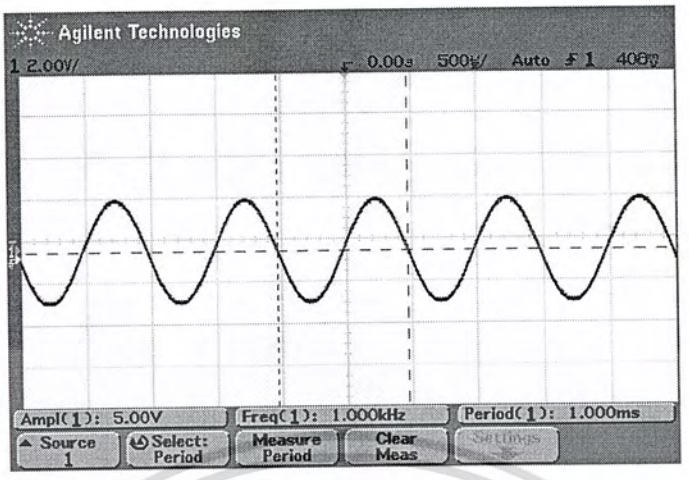
2. คลิกปุ่มทดสอบวัดสัญญาณและตั้งออสซิลโลสโคป ดังนี้

แชนแนล 1 และ 2 : V/div 5 V

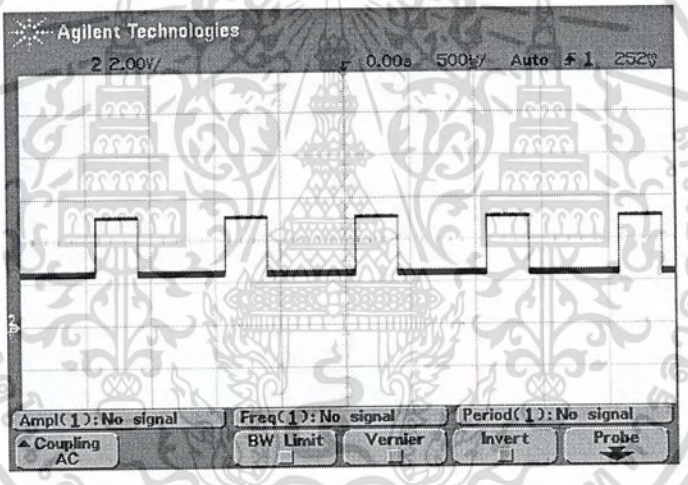
: T/div 0.5 mS

3. ใช้แชนแนล 1วัดรูปคลื่นไซน์ทางด้านเข้าของวงจร V_{IN} (V_1) และแชนแนล 2 วัดรูปคลื่นขาออก V_{OUT} (V_2) ของวงจร บันทึกผลการวัดในกราฟที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณอินพุต



(ข) สัญญาณเอาต์พุต

รูปที่ 7.3 ผลการทดลองของวงจรจุดชนวนของชมิตต์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีสัญญาณขาเข้าเป็นคลื่นไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. วงจรชมิตต์ทริกเกอร์ถูกนำไปใช้งานประโยชน์อย่างไร

ตอบ สามารถนำวงจรชมิตต์ทริกเกอร์ไปใช้ในวงจรที่ต้องการแปลงสัญญาณต่างๆ ให้ออกมาเป็นพัลส์

2. จงอธิบายการทำงานของวงจรจุดชนวนของชมิตต์มาพอเข้าใจ

ตอบ ในขณะที่ไม่มีแรงดันอินพุตใดๆ ทรานซิสเตอร์ Q1 จะมีสถานะเป็น OFF และทรานซิสเตอร์ Q2 จะมีสถานะเป็น ON ขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q2 ทำงานอยู่ในสภาวะอิ่มตัว จะทำให้เกิดมีแรงดันตกคร่อม RE ซึ่งสมมติให้มีค่า VE ดังนั้นแรงดันที่เอาต์พุตขณะเวลา t_1 และก่อนหน้าที่ทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำงาน แรงดันอินพุตจะต้องมีค่ามากกว่า VE_2

สรุปผลการทดลอง

วงจรจุดชนวนของชมิตต์เป็นวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม โดยวิธีการป้อนสัญญาณแรงดันรูปคลื่นไซน์หรือคลื่นสามเหลี่ยมที่มีขนาดมากกว่าค่าแรงดันที่ตั้งไว้กับวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

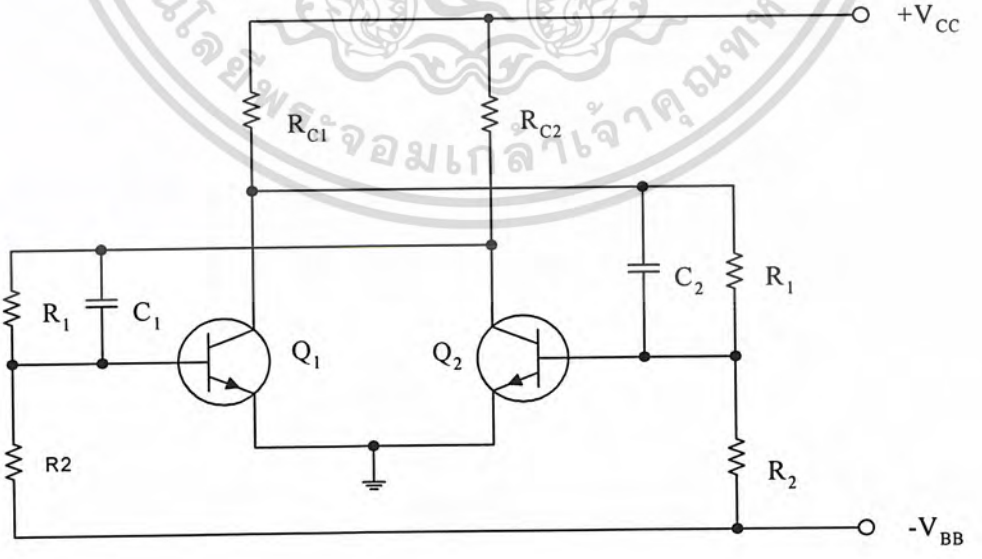
เฉลยใบงานที่ 8
วงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ได้
2. สามารถออกแบบวงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ตามเงื่อนไขที่กำหนดได้
3. สามารถปฏิบัติการต่อวงจรที่กำหนด และทดสอบการทำงานของวงจร ได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรไบสเตเบิลชนิดคอลเลคเตอร์คัปเบิล คือ วงจรที่ใช้สร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมได้ โดยการรับสัญญาณแรงดันจุดชนวนจากภายนอก โครงสร้างภายในประกอบไปด้วยวงจรสวิตช์ 2 วงจร โดยปกติใช้ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการสวิตช์ สำหรับวงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ เป็นวงจรที่มีการทำงาน 2 สภาวะ คือ สภาวะที่ Q_1 = on, Q_2 = off และสภาวะที่ Q_1 = off, Q_2 = on วงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ จะเปลี่ยนสภาวะการทำงานได้ โดยการใช้สัญญาณจุดชนวนจากวงจรจุดชนวนภายนอก (Trigger Circuit) จุดชนวนที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 หรือ Q_2 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แสดงในรูปที่ 8.1



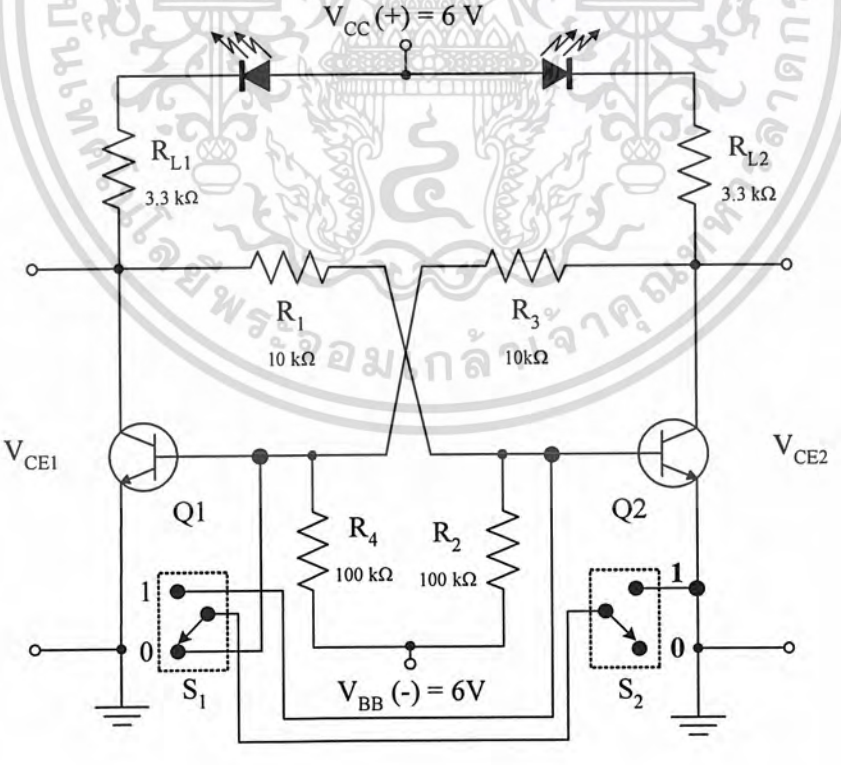
รูปที่ 8.1 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แบบคอลเลกเตอร์คัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1 วงจรไบสเตเบิล ประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ NPN เบอร์เดียวกัน 2 ตัว คือ Q_1 และ Q_2 และค่า $R_{C1} = R_{C2}$, $C_1 = C_2$, $R_1 = R_1$, $R_2 = R_2$

เมื่อพิจารณาวงจรรูปที่ 1 จะเห็นว่า Q_1 เป็นวงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์วงจรที่ 1 และต่อด้านออกของ Q_1 ไปป้อนเข้าที่เบสของสวิตช์ตัวที่ 2 (Q_2) และต่อด้านออกของ Q_2 ไปที่เบสของ Q_1 เช่นกัน เนื่องจากค่าความต้านทานของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวเท่ากัน ดังนั้น เมื่อต่อไบอัสให้วงจรจะเกิดสภาวะการทำงาน คือ ทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งจะทำงานในสภาวะอิ่มตัว (Saturation = on) ทำให้ทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่งทำงานในสภาวะคัตออฟ (Cutoff = off)

การจุดชนวนวงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Bistable Multivibrator Tiggering Circuit) การจุดชนวนวงจรไบสเตเบิลให้เปลี่ยนสภาวะการทำงานของวงจรให้กลับเป็นสภาวะการทำงานตรงข้ามได้ 2 วิธี คือ การให้พัลส์บวกและการให้พัลส์ลบจุดชนวน โดยนำพัลส์บวกจุดชนวนเข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ตัวที่หยุดนำกระแส (off) ให้ทำงานในสภาวะนำกระแสอิ่มตัว (on) หรือนำพัลส์ลบจุดชนวนเข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ตัวที่กำลังทำงานอยู่ (on) ให้หยุดทำงาน ทั้ง 2 วิธีนี้ สามารถต่อวงจรจุดชนวนได้หลายแบบ เช่น วงจรจุดชนวนที่คอลเลกเตอร์ และวงจรจุดชนวนที่ขาเบส เป็นต้น



รูปที่ 8.2 วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นตอนการออกแบบ

1. หาค่า R_L โดยสมมติว่า T_r "ON" $R_L = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$

2. หาค่า I_B $I_B = \frac{I_C}{h_{FE_{\min}}}$

3. หาค่า R_1 และ R_2

สมการ ON Circuit Equation

$$\frac{V_{CC} - V_{BE_{sat}}}{R_L} = \frac{V_{BE_{sat}} - V_{BB}}{R_2} + I_B$$

สมการ OFF Circuit Equation

$$\frac{V_{BE_{OFF}} - V_{BB}}{R_2} = \frac{V_{BB_{sat}} - V_{BE_{OFF}}}{R1} + I_{CBO}$$

แก้สมการ Quadratic โดยใช้สูตร

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4_{ac}}}{2_a}$$

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	1 เครื่อง
2. แผงการทดลองที่ 8 (วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์)	1 แผง
3. มัลติมิเตอร์	1 เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำแผงการทดลองที่ 8 ต่อเข้ากับชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เลื่อนตำแหน่งสวิตซ์ S_1 และ S_2 บนแผงการทดลองที่ 8 เพื่อจุดชนวนวงจรไบสเตเบิล ตามที่กำหนดตำแหน่งไว้ในตารางที่ 8.1 และใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดัน V_{CE1}, V_{BE1}, V_{CE2}, V_{BE2} และบันทึกค่าที่วัดได้ในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง ข้อ 2

ตำแหน่งสวิตซ์		V_{CE1} (โวลต์)	V_{BE1} (โวลต์)	V_{CE2} (โวลต์)	V_{BE2} (โวลต์)
S_1	S_2				
0	0	0.4	0.7	8.17	0.01
0	1	0.3	0.7	8.18	-1.05
1	0	8.19	0.01	0.03	0.7
1	1	8.19	-1.04	0.03	0.7

3. เลื่อนตำแหน่งสวิตซ์ S_1 และ S_2 ตามตารางที่ 8.2 บันทึกผลการติดดับของไดโอดเปล่งแสงลงในตาราง

รูปที่ 8.2 ตารางบันทึกผลการทดลอง ข้อ 3

ตำแหน่งสวิตซ์		LED1	LED2
S_1	S_2		
0	0	ติด	ดับ
0	1	ดับ	ติด
1	0	ดับ	ติด
1	1	ดับ	ดับ

4. จงออกแบบวงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ ให้ V_{CC} = 9V V_{BB} = -9 Q = 2N222A IC = 30mA hfe = 30 I_{B0} = 0.5 μF, $V_{CE(sat)}$ = 0.3, $V_{BE(off)}$ = -0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เลื่อนตำแหน่งสวิตซ์ S_1 และ S_2 บนแผงการทดลองที่ 8 เพื่อจุดชนวนวงจรไบสเตเบิล ตามที่กำหนดตำแหน่งไว้ในตารางที่ 8.3 และใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดัน V_{CE1}, V_{BE1}, V_{CE2}, V_{BE2} และบันทึกค่าที่วัดได้ในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 8.3

ตารางที่ 8.3 ตารางบันทึกผลการทดลอง ข้อ 5

ตำแหน่งสวิตซ์		V_{CE1} (โวลต์)	V_{BE1} (โวลต์)	V_{CE2} (โวลต์)	V_{BE2} (โวลต์)
S_1	S_2				
0	0	0.27	0.74	10.62	0.01
0	1	10.65	0.75	10.62	-2.50
1	0	10.63	0.01	0.27	0.74
1	1	0.26	0.74	10.63	0.75

6. เลื่อนตำแหน่งสวิตซ์ S_1 และ S_2 ตามตารางที่ 8.4 บันทึกผลการติดดับ ของไดโอดเปล่งแสงลงในตาราง

รูปที่ 8.4 ตารางบันทึกผลการทดลอง ข้อ 6

ตำแหน่งสวิตซ์		LED1	LED2
S_1	S_2		
0	0	ติด	ดับ
0	1	ดับ	ติด
1	0	ดับ	ติด
1	1	ติด	ดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายความหมายของวงจร ไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

ตอบ เป็นวงจรที่มีสภาวะคงที่ 2 สภาวะ การเปลี่ยนสภาวะของวงจรจากสภาวะหนึ่งไปยังอีกสภาวะหนึ่งจะเกิดขึ้น เมื่อมีสัญญาณจุดชนวนจากภายนอกวงจรบางครั้งเรียกว่า ฟลิปฟลอป

สรุปผลการทดลอง

วงจรไบสเตเบิลสามารถสามารถนำไปใช้งานอุตสาหกรรมได้หลายรูปแบบ จะทำงานได้ 2 สภาวะคือ ON และ OFF เมื่อมีการจุดชนวนให้วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ให้เปลี่ยนแปลงสภาวะการใช้พัลส์บวกและพัลส์ลบ โดยนำพัลส์บวกจุดที่เบสของทรานซิสเตอร์ที่หยุดนำกระแสเกิด การนำกระแสหรือ ON และนำพัลส์ลบที่จุดของทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่งซึ่งกำลังทำงานอยู่ทำให้มันหยุดทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

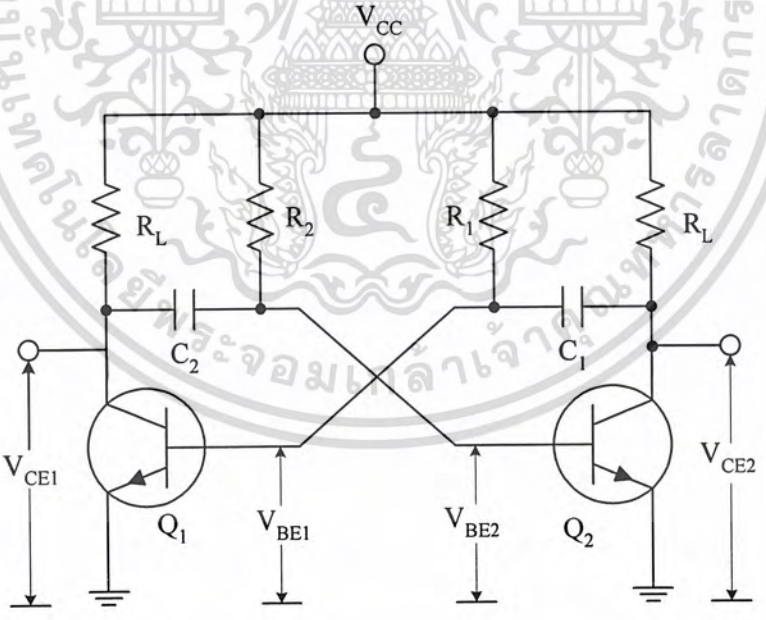
เฉลยใบงานที่ 9
วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจร อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
2. สามารถออกแบบวงจร อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ตามเงื่อนไขที่กำหนดได้
3. สามารถปฏิบัติการต่อวงจรที่กำหนด และทดสอบการทำงานของวงจรได้ถูกต้อง

ทฤษฎีเบื้องต้น

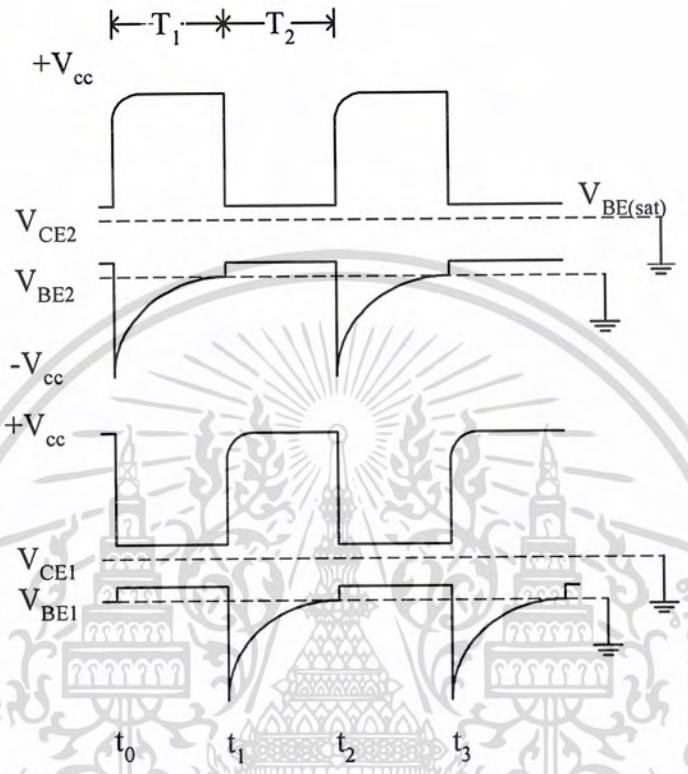
วงจรอะสเตเบิลเป็นวงจรที่ประกอบด้วย วงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วมสองวงจร โดยมีการคัปปลิ้งสัญญาณเอาต์พุตของแต่ละวงจร โดยวงจรอาร์-ซี ทำให้สภาวะการทำงานของวงจรขยายทั้งสองทำงานแบบสภาวะกึ่งคงตัว (Semi-Stable) โดยไม่ต้องมีสัญญาณภายนอกมาทริกเกอร์



รูปที่ 9.1 วงจรอะสเตเบิลแบบคอลเลคเตอร์คัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรจึงอยู่ในลักษณะออสซิลเลเตอร์ ที่ให้กำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม รูปร่างและขนาดต่างๆ แสดงในรูป



รูปที่ 9.2 รูปของสัญญาณที่จุดต่างๆ ในวงจรอะสเตเบิล

ถ้าให้ช่วงเวลาที่ T_2 คัทออฟเป็น t_1 และช่วงเวลาที่ T_1 คัทออฟเป็นเวลา t_2 ดังนั้นเวลา T ใน 1 ไซเคิลก็จะมีค่าเป็น

$$T = t_1 + t_2$$

ซึ่งค่าของ t_1 และ t_2 ขึ้นอยู่กับค่าคงตัวเวลาของ อาร์-ซี แต่ละชุดคือ

$$t_1 = 0.69R1C1$$
$$t_2 = 0.69R2C2$$

ดังนั้น ความถี่การออสซิเลตของวงจรอะสเตเบิลคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = 1\frac{1}{(t_1 + t_2)}$$

$$f = \frac{1}{(0.69R_1C_1 + 0.69R_2C_2)}$$

ในกรณีที่ duty cycle ของสัญญาณเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ หรือ $t_1 = t_2$ จะได้ว่า

$$f = \frac{1}{2t}$$

$$= \frac{1}{2(0.69RC)}$$

$$f = \frac{1}{1.38RC}$$

ลำดับขั้นตอนการออกแบบ

1. คำนวณหาค่า โดยพิจารณาให้ ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะทำงาน

$$R_L = \frac{V_{CC} - V_{CE_{SAT}}}{I_C}$$

2. คำนวณหาค่า โดยพิจารณาจาก ทรานซิสเตอร์ในสภาวะทำงานที่ทำให้ถึงจุดอิ่มตัว

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE_{\min}}}$$

3. หา R_B ($R_B = R_{B_1} = R_{B_2}$)

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE_{sat}}}{I_B}$$

4. หาค่า C_1, C_2

เมื่อ $t_2 - t_1$ =Duration of Output Pulse =.....μS

$$C_2 = \frac{t}{0.693R_{B_1}}$$

เมื่อ ($t_1 - t_0$)=ระยะห่างระหว่าง Output Pulse =.....μ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์

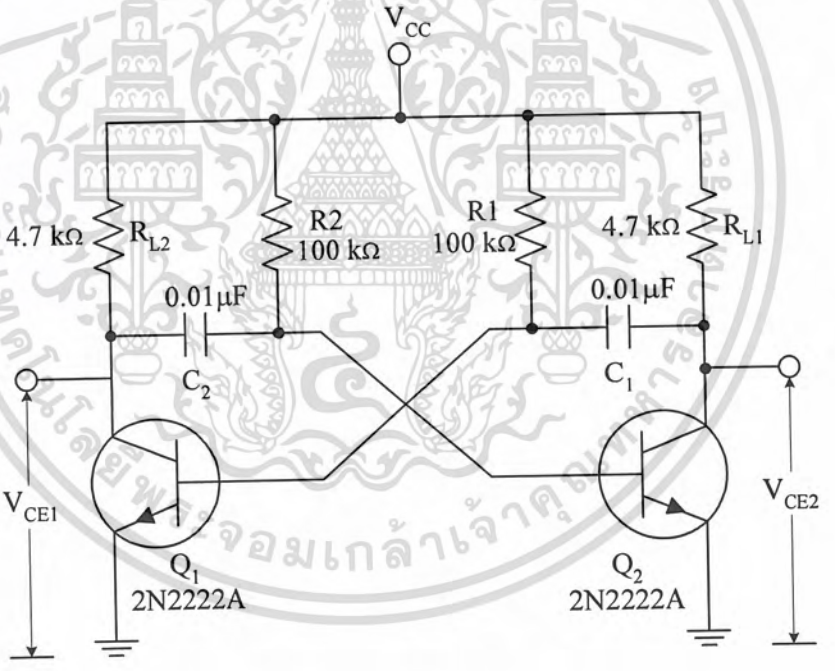
1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
2. แผงการทดลองที่ 9 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ 1 แผง
3. มัลติมิตเตอร์ 1 เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำแผงการทดลองที่ 9 มาต่อกับชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์
2. ต่ออุปกรณ์ตามรูปวงจร ตั้งออสซิลโลสโคป ดังนี้

แชนแนล 1 และ 2 : V/div = 5V

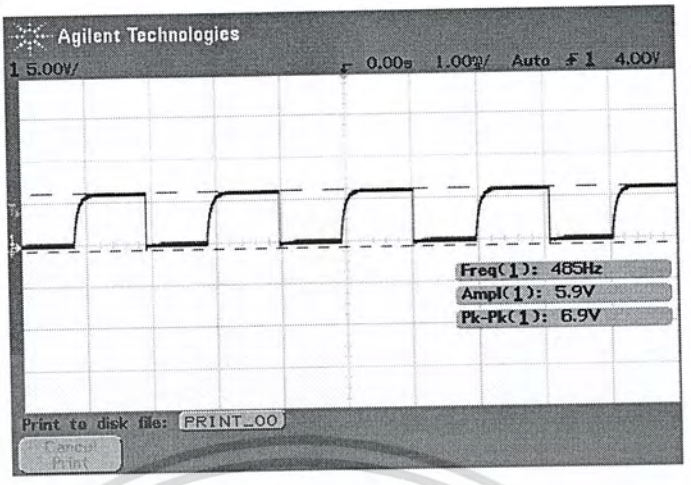
: T/div = 1 mS



รูปที่ 9.3 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

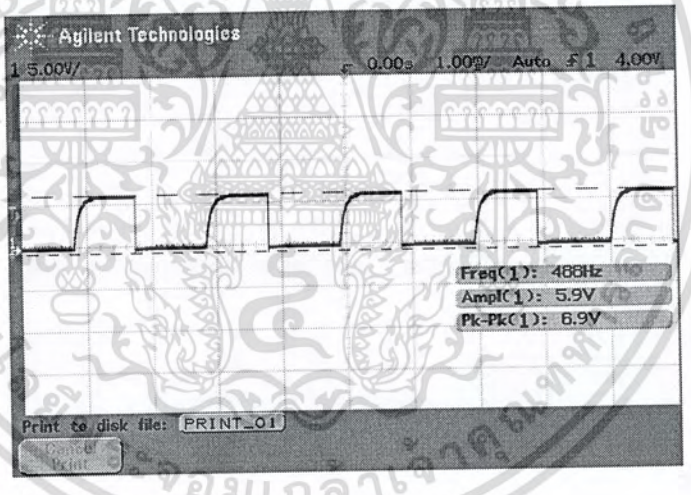
3. ใช้ออสซิลโลสโคปแชนแนล 1 วัดรูปคลื่น V_{CE1} และแชนแนล 2 วัดรูปคลื่น V_{CE2} บันทึกผลการทดลองลงในรูปที่ 9.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



V_{CE1} 6.9 Vp-p

รูปที่ 9.4 ผลการทดลอง V_{CE1}



V_{CE2} 6.9 Vp-p

รูปที่ 9.5 ผลการทดลอง V_{CE2}

4. ให้นักศึกษาออกแบบวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ โดยแสดงวิธีการคำนวณ กำหนดให้มีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 5 Vp-p, V_{CC} = 6 V มีความกว้างของพัลส์ tp = 10 µs Prf = 1kHz Q = 2N3904 I_C = 10 mA, hfe = 100 $V_{BE(on)}$ = 0.75, $V_{CE(sat)}$ = 0.2 และวัดสัญญาณ V_{CE1} และ V_{CE2} พร้อมบันทึกรูปคลื่นสัญญาณลงในตารางบันทึกผลการทดลอง

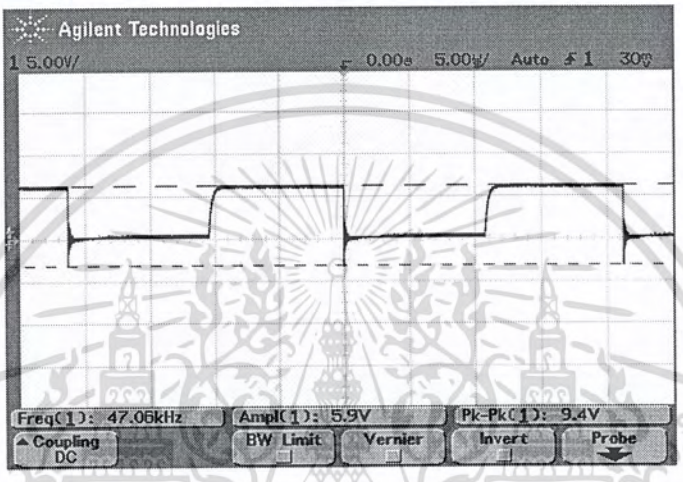
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ต่ออุปกรณ์ตามรูปวงจร ตั้งออสซิลโลสโคป ดังนี้

แชนแนล 1 และ 2 : V/div = 5V

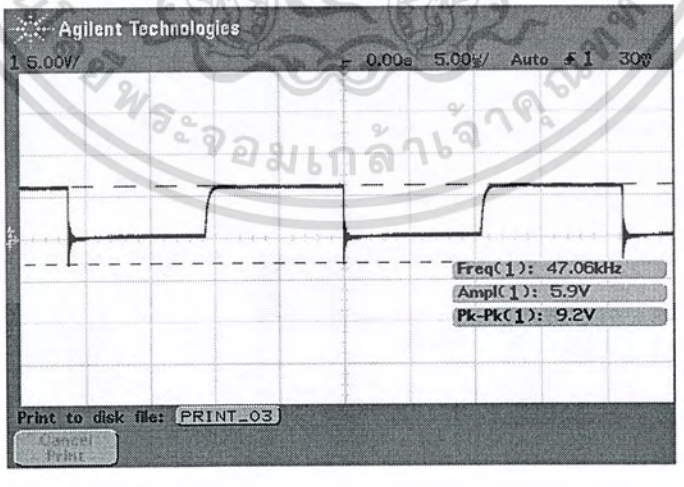
: T/div = 1 mS

6. ใช้ออสซิลโลสโคปแชนแนล 1 วัดรูปคลื่น V_{CE1} และแชนแนล 2 วัดรูปคลื่น V_{CE2} บันทึกผลการทดลองลงในรูปที่ 9.6



V_{CE1} 9.4 Vp-p

รูปที่ 9.6 ผลการทดลอง V_{CE1}



V_{CE2} 9.2 Vp-p

รูปที่ 9.7 (ต่อ) ผลการทดลอง V_{CE2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการทำงานของวงจร วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

ตอบ เป็นวงจรที่ไม่มีสภาวะคงที่ กล่าวคือ วงจรเปลี่ยนสลับไปมาจากสภาวะหนึ่งไปยังอีกสภาวะหนึ่ง และจะกลับสู่สภาวะเดิมอย่างนี้ตลอดเวลา ในแต่ละสภาวะหนึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าคงตัวเวลา RC ของวงจรดังรูปที่ 9.1 บางครั้งเรียกวงจรนี้ว่า ฟรีรันนิ่ง มัลติไวเบรเตอร์ (Free Running Multivibrator)

2. จงอธิบายถึงประโยชน์ และ การนำไปใช้งานของวงจร วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

ตอบ คือ การที่ทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัว จะทำงานเป็นสวิตซ์ ปิด-เปิด สลับกันดังนั้นการนำไปใช้งานสามารถนำไปใช้เป็นสวิตซ์ปิด-เปิด หรือควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง ทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวจะทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ปิดเปิด ความเร็วในการสวิตช์ของวงจรขึ้นกับค่า R_1C_1 และ R_2C_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 10
โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

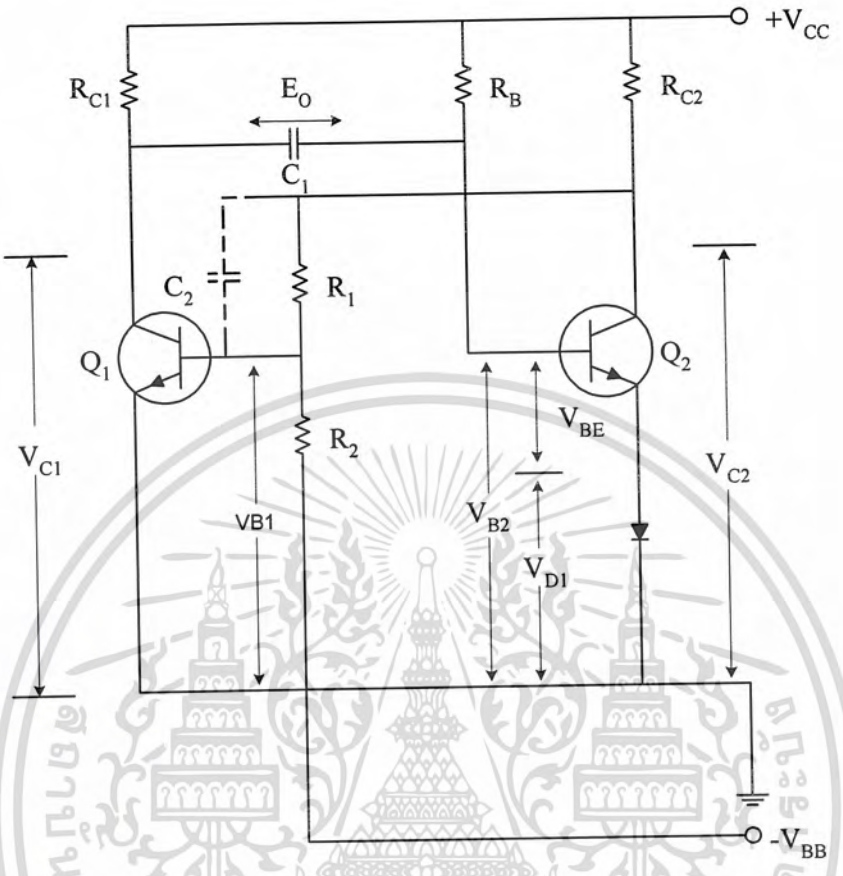
1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบอร์เตอร์ ได้
2. สามารถออกแบบวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบอร์เตอร์ ตามเงื่อนไขที่กำหนดได้
3. สามารถปฏิบัติการต่อวงจรที่กำหนด และทดสอบการทำงานของวงจรได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรโมโนสเตเบิลหรือวงจรวันช็อต (One-shot Multivibrater) เป็นวงจรที่สร้างหรือกำเนิดรูปคลื่นสี่เหลี่ยมครั้งละ 1 พัลส์ โดยต้องมีสัญญาณพัลส์จุดชนวนจากภายนอกเป็นตัวกำหนดจำนวนพัลส์ด้านออก และพัลส์สี่เหลี่ยมที่กำเนิดได้ จากวงจรโมโนสเตเบิลสามารถกำหนด PW ของสัญญาณได้ โดยกำหนดค่าตัวความต้านทาน และ ตัวเก็บประจุจากวงจรโมโนสเตเบิลแบบคอลเลคเตอร์อีกตัวหนึ่ง ดังรูป

การทำงานของวงจรในสภาวะปกติ วงจรโมโนสเตเบิลแบบคอลเลกเตอร์คัปเปิล ดังแสดงในรูปที่ 10.1 ที่ขาเบสของ Q_2 ต่อกับความต้านทาน R_B และต่อกับไบอัส $+V_{CC}$ ดังนั้นจึงมีกระแสในสภาวะอิ่มตัว (Q_2 = on) ดังนั้น $V_{C2} = V_{CE(sat)} + V_{D1}$ (ไดโอด D_1 ต่อเพื่อป้องกันรอยต่ออิมิตเตอร์และเบสของ Q_2) และในสภาวะปกติที่จะเกิดแรงดันไฟฟ้าประจุอยู่ใน C_1 มีค่าเท่ากับ E_o (Eo = V_{CC}-V_{B2}) ดังรูปที่ 10.1 ที่เบสของ Q_1 จะต่อ R_1 ไปที่คอลเลกเตอร์ของ Q_2 และจะต่อ R_2 เข้ากับแหล่งจ่ายไบอัสลบ ทำให้ Q_1 ไม่นำกระแส ผลคือ $V_{C1} = V_{CC}$ สรุปในสภาวะปกติ Q_1 = off, Q_2 = on และสัญญาณเอาต์พุตของวงจร คือ $V_{C2} = V_{CE(sat)} + V_{D1}$ และ $V_{B2} = V_{BE} + V_{D1}$ ซึ่งจะมีค่าเป็นลบประมาณ $V_{B2} = V_{C1} - E_O$ ไม่มีกระแสคอลเลกเตอร์ไหลผ่าน R_{C1} ทำให้ V_{C1} มีค่าประมาณเท่ากับ V_{CC}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

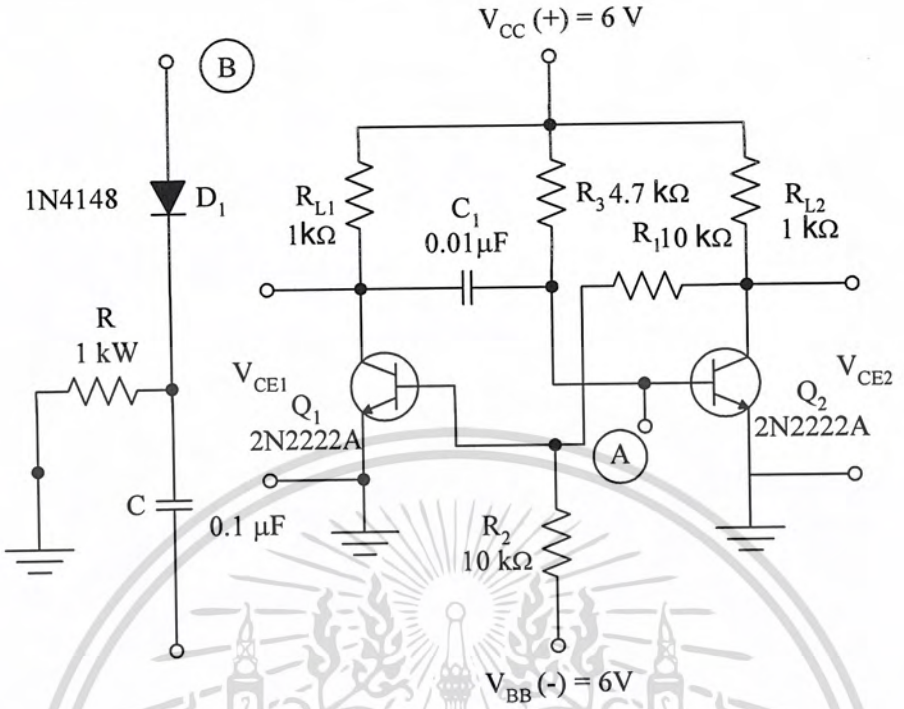


รูปที่ 10.1 วงจรโมโนสเตเบิลแบบคอลเลกเตอร์คัปเปิลในสภาวะปกติไม่มีสัญญาณพัลส์จุดชนวนจากภายนอกมาควบคุมการทำงาน

การทำงานของวงจรในสภาวะที่ได้รับสัญญาณจุดชนวน สัญญาณจุดชนวนที่จะบังคับให้วงจรโมโนสเตเบิลในรูปที่ 10.1 ทำงานได้จะใช้พัลส์จุดชนวนแบบบวก

การจุดชนวนวงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ สัญญาณพัลส์ที่ใช้จุดชนวนให้วงจรโมโนสเตเบิลทำงานได้มี 2 ลักษณะคือ ใช้พัลส์บวกจุดชนวนที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 (ตัวที่ off อยู่) ให้ทำงาน หรือวิธีใช้พัลส์ลบจุดชนวนที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10.2 วงจร โมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

<u>ลำดับขั้นตอนการออกแบบ</u>

1. คำนวณหาค่า R_L โดยพิจารณา T_r ให้สภาวะ "ON"

$$RL = \frac{V_{CC} - V_{CE_{SAT}}}{IC}$$

2. คำนวณหาค่า I_B โดยพิจารณาจาก T_r "ON" ที่ทำให้ I_C ถึงจุด Sat

$$I_B = \frac{Ic}{h_{FE_{\min}}}$$

3. คำนวณหาค่า R ที่ทำให้ได้ I_B ตามข้อ 2

$$V_{CC} = I_B \cdot R + V_{BE_{SAT}}$$

4. เขียน Off Circuit Node Equation

<u>สมการ Off circuit Equation</u>

$$V_{BE_{off}} = [\ \frac{R_1}{R1 + R2}\ ] \times V_{BB}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เขียน On Circuit Node Equation

สมการ ON Circuit Equation

$$\frac{V_{CC}\ V_{BE_{sat}}}{R_L + R_1} = \frac{V_{BE_{sat}}\quad V_{BB}}{R_2} + I_B$$

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
2. แผงการทดลองที่ 10 วงจรโมโนสเตเบิล มัลติเบิลไวเบรเตอร์ 1 แผง
3. มัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำแผงการทดลองที่ 10 ต่อเข้ากับชุดปฏิบัติการทดลองแล้วต่อวงจรดังรูป
2. เมื่อต่อแผงทดลองตามข้อที่ 1 แล้วยังไม่ต้องป้อนสัญญาณ เข้าที่จุด A ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่า V_{CE1} และ V_{CE2} และบันทึกค่า

V_{CE1} = 6.18 โวลต์

V_{CE2} = 0.03 โวลต์

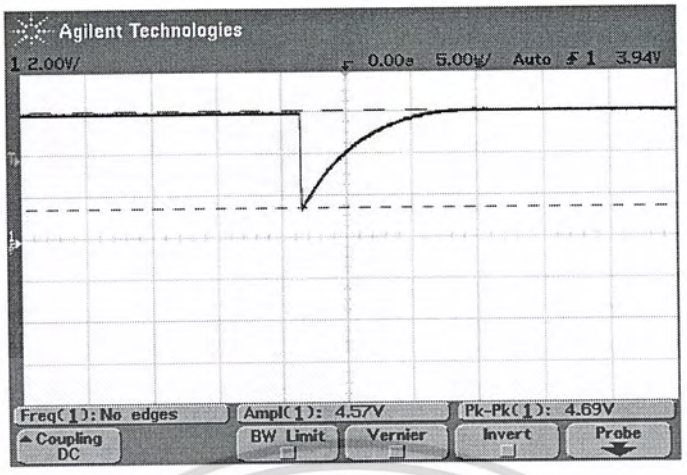
3. คลิกปุ่มทดลองวัดสัญญาณ ตั้งไว้ดังนี้

แชนแนล 1 V/Div = 2 V

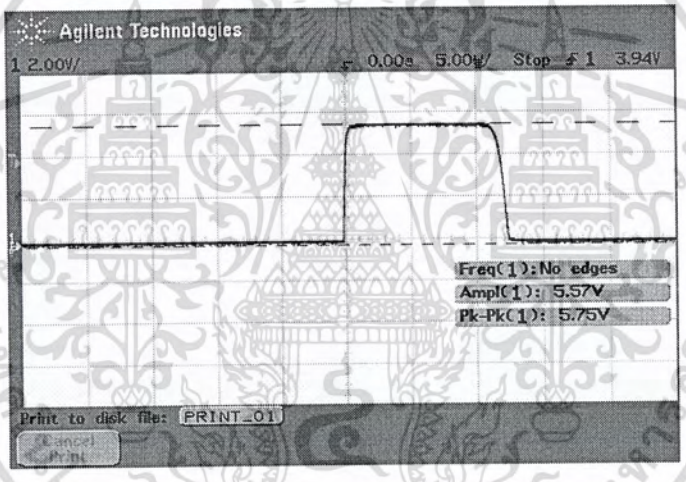
2 V/Div = 2 V ความถี่ = 200 Hz 6 Vp-p

4. นำสัญญาณจากจุด A ต่อเข้ากับจุด B ของวงจรรูปที่ 10.2
5. ใช้ออสซิลโลโคป แชนแนล 1 วัดรูปคลื่น V_{CE1} และแชนแนล 2 วัดรูปคลื่น V_{CE2} แล้วบันทึกผลลงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



V_{CE1} = ...4.75..... Vp-p

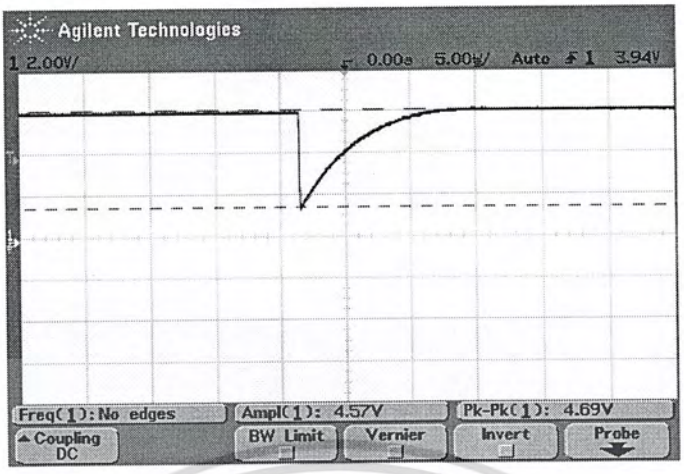


V_{CE2} = ...5.75..... Vp-p

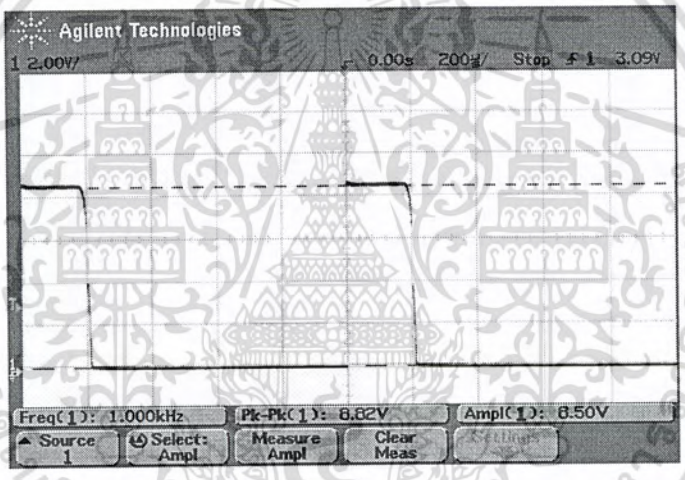
รูปที่ 10.3 ผลการทดลอง วงจร โมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

6. จงออกแบบวงจร โมโนสเตเบิล V_{CC} = 9V, V_{BB} = -9, IC = 20 mA Output pulse duration = 200 µsec Q = 3904 มีค่า hfe = 20 I_{CB0} = 0, $V_{BE(sat)}$ = 0.7, $V_{BE(off)}$ = -0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



V_{CE1} = ...4.69.... Vp-p



V_{CE2} = ...8.50.... Vp-p

รูปที่ 10.4 ผลการทดลองที่คำนวณของวงจร วงจร โมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการทำงานของวงจร โมโนสเตเบิล มัลติเบิลไวเบรเตอร์

ตอบ เป็นวงจรที่มีสภาวะเสถียรและภาวะไม่เสถียร โดยปกติวงจรอยู่ในสภาวะเสถียร เมื่อมีสัญญาณกระตุ้นจากภายนอกวงจร วงจรจะเปลี่ยนจากสภาวะไม่เสถียร และเมื่อหมดเวลาของภาวะไม่เสถียรวงจรจะกลับสู่ภาวะเดิม คือ ภาวะเสถียร ช่วงเวลาของภาวะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับค่าคงตัวเวลาภายในของวงจร

2. จงอธิบายถึงผลกระทบของการต่อวงจร โมโนสเตเบิล มัลติเบิลไวเบรเตอร์ ว่ามีอะไรบ้าง

ตอบ ขึ้นอยู่กับค่าตัวความต้านทาน และค่าตัวเก็บประจุ

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ รูปที่ออกมาจะมีขนาดกว้างทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับค่าของตัวเก็บประจุ และตัวความต้านทานที่ต่อให้กับวงจรเมื่อค่า C ยิ่งมาก ขึ้นรูปพัลส์ที่ออกมาก็จะกว้างมากขึ้นด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 11
การใช้งานไอซี 555 เป็นอะสเตเบิล

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถสร้างวงจรโมโนสเตเบิลและอะสเตเบิล โดยใช้วงจรรวมเบอร์ 555 ได้
2. สามารถทดลอง กำหนดค่าคาบเวลาของสัญญาณด้านออกของวงจรได้
3. สามารถทดลองหาความสัมพันธ์ของค่าคงตัวเวลาของวงจร กับความถี่ของสัญญาณด้านออกได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรอะสเตเบิลที่ใช้ไอซี เบอร์ 555 (555 Astable Multivibrator) สร้างได้ โดยต่อขา 2 (Trigger Input) เข้ากับขา 6 (Threshold) ซึ่งต่อ C_A อยู่ เพื่อให้แรงดันที่เปลี่ยนแปลงของ C_A ป้อนเข้ากระตุ้นการทำงานของวงจรแทนสัญญาณจุดชนวนจากภายนอก พิจารณาจากรูปที่ 11.1(ก) และเพิ่ม R_B เป็นตัวต้านทานที่ใช้ในการเก็บและการคายประจุของ C_A โดยต่อเข้ากับขา 7 (Discharge)

การทำงานของวงจร เมื่อ V_{CA} ต่ำกว่า 1/3 VCC แรงดันที่ขาลบของออปแอมป์ เปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 2 จะต่ำกว่าแรงดันที่ขาบวก (เพราะ VCA = 1/3VCC) ลอจิกด้านออกของออปแอมป์ตัวที่ 2 จะเป็น high และฟลิปฟลอปจะอยู่ในสภาวะ Set ทำให้ Q เป็น low ขณะนี้ Q_1 จะ off และ C_A จะทำการเก็บประจุผ่าน R_A และ R_B เมื่อ C_A เก็บประจุจนแรงดันเท่ากับ $2/3V_{CC}$ ที่ขาบวกของออปแอมป์ เปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 1 จะมีแรงดันต่ำกว่าที่ขาลบ ด้านออกของออปแอมป์ตัวที่ 1 จะเป็น high ทำให้สถานะของฟลิปฟลอปเป็น Reset ผล คือ Q = high และทรานซิสเตอร์ Q_1 = on ทำให้ C_A คายประจุผ่าน Q_1 ที่ R_B และ C_A จะคายประจุจนกระทั่งแรงดัน $V_{CA} = 1/3V_{CC}$ ที่จุดนี้ด้านออกของฟลิปฟลอปเป็น low ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะ off อีกครั้ง กระบวนการนี้จะเกิดต่อเนื่องตลอดไป ผลที่ได้รับคือ V_o ที่ขา 3 ของไอ.ซี. 555 เป็นรูปพัลส์สี่เหลี่ยมที่มี PW = t_1 ดังรูปที่ 11.1 (ก)

การออกแบบวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้ไอซี 555 คือ การคำนวณค่า R_A, R_B และ C_A ที่เหมาะสมกับความถี่ของ V_o ที่ต้องการ โดยพิจารณาที่ C_A เก็บประจุจะมีกระแส I_C ผ่าน (R_A + R_B) จากแรงดัน $1/3V_{CC}$ จนถึง $2/3V_{CC}$ ดังนั้น E_o จะเท่ากับ $1/3V_{CC}$ และ $2/3V_{CC}$ และแรงที่จ่ายให้กับตัวเก็บประจุ $E = V_{CC}$ จากสมการ

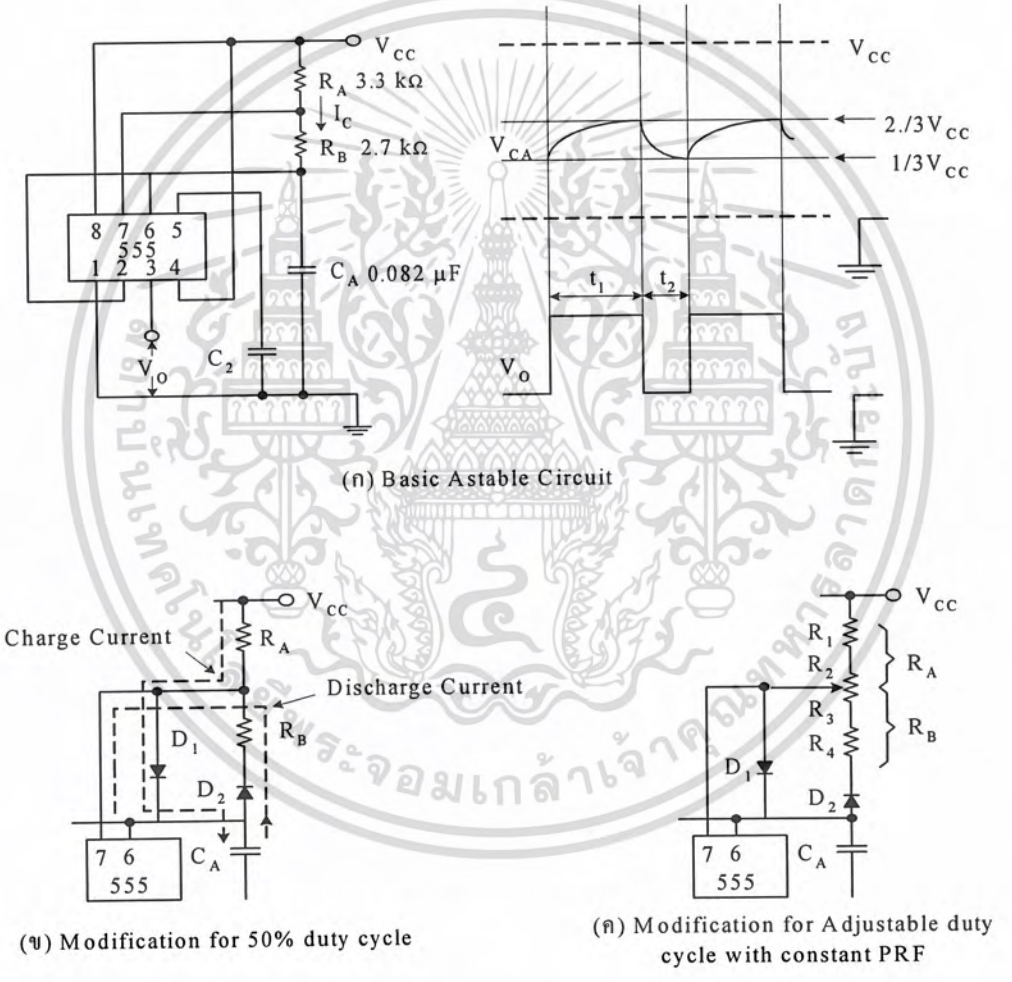
$$t_1 = 0.693\ C_A\ (R_A + R_B) \qquad (11.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ C_A คายประจุ ค่าของ $R_o = 2/3V_{CC}$, $e_C = 2/3V_{CC}$ และ $E = 0$ เมื่อแทนค่าเหล่านี้ลงในสมการจะได้ว่า

$$t = 0.693\, C_A R_B \qquad (11.2)$$

จากสมการ 11.1 จะพิจารณาได้ในรูปที่ 11.1 (ก) กระแสในการเก็บประจุจะไหลผ่าน $(R_A + R_B)$ แต่เมื่อพิจารณาสมการ 11.2 จะเห็นว่ากระแสในการคายประจุจะผ่านเฉพาะ R_B และไหลเข้าขา 7 ของไอซี 555



รูปที่ 11.1 (ก) วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ ที่ใช้วงจรรวมเบอร์ 555

(ข) ทิศทางของกระแส Charge และ Discharge ของ C_A

(ค) วงจรการปรับค่า Duty Cycle ของ V_o

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์

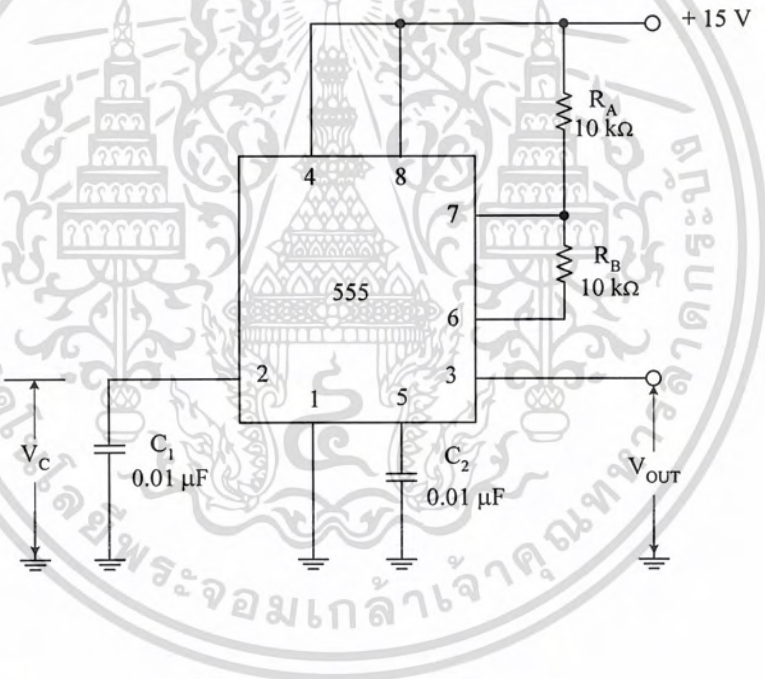
1. ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
2. แผงการทดลองที่ 11 การใช้งานไอซี 555 เป็นอะสเตเบิล 1 แผง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำแผงการทดลองที่ 11. มาต่อกับชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิค
2. ต่อวงจรตามรูปวงจร ตั้งออสซิลโลสโคป ดังนี้

แชนแนล 1 และ 2 : V/Div = 2 V

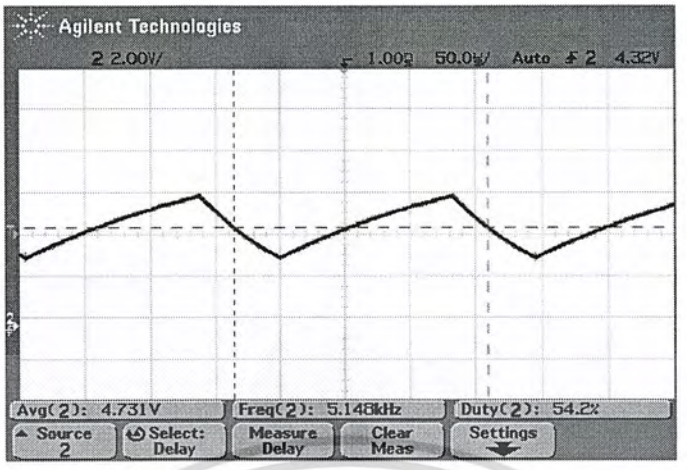
: V/Div = 50 μF



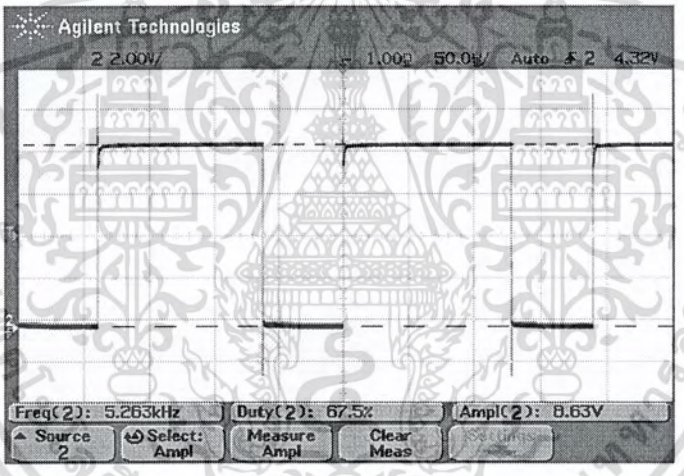
รูปที่ 11.2 วงจรการทดลองข้อ 1

3. ใช้ออสซิลโลสโคปแชนแนล 1 วัดสัญญาณ V_C เทียบกราวด์ และ แชนแนล 2 วัดสัญญาณ V_{OUT} และบันทึกรูปสัญญาณที่ได้ลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 11.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



V_C

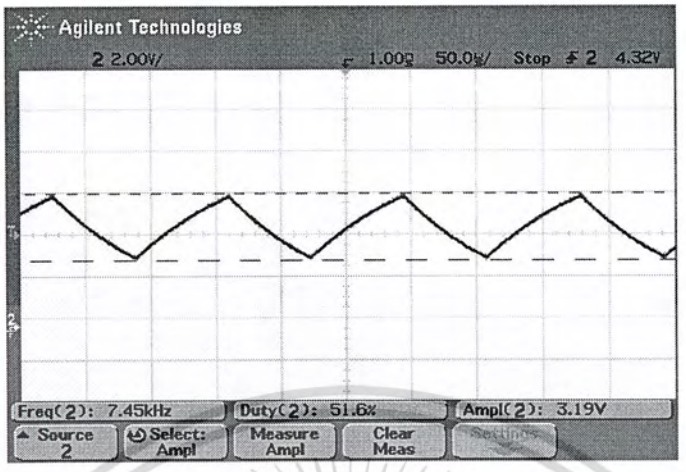


V_{OUT}

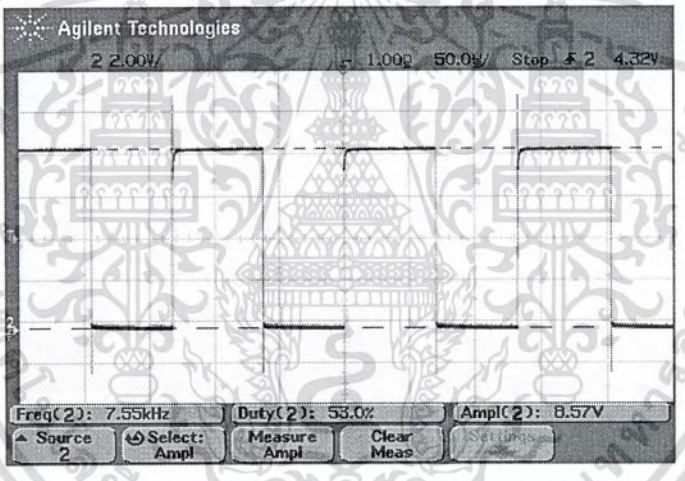
รูปที่ 11.3 ตารางผลการทดลองวงจรอะสเตเบิล ที่ใช้วงจรรวมเบอร์ 555 เมื่อ $R_A = 10\ k\Omega$

4. เปลี่ยนค่า R_A ใหม่เป็น 1 kΩ ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง บันทึกผลการวัดรูปคลื่น V_C และเทียบกราวด์ และ V_{OUT} ลงในตารางการทดลองที่11.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



V_C



V_{OUT}

รูปที่ 11.4 ตารางผลการทดลองวงจรอะสเตเบิล ที่ใช้วงจรรวมเบอร์ 555 เมื่อ $R_A = 1\ k\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงคำนวณหาค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ของรูปคลื่น Vout เมื่อ R_A = 10 kΩ และ R_B = 10 kΩ

1.1 เมื่อ R_A = 10 kΩ, R_B = 10 kΩ

Duty Cycle = **67.5%**

1.2 เมื่อ R_A = 1 kΩ, R_B = 10 kΩ

Duty Cycle = **53.0%**

2. ความถี่ด้านออกของสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่ได้ จากวงจรอะสเตเบิลที่ใช้วงจรรวมเบอร์ 555 เปลี่ยนแปลงได้ เพราะเหตุ

ตอบ อยู่ที่การกำหนดค่าของแรงดัน V_{CC} และค่าของตัวเก็บประจุ

สรุปผลการทดลอง

วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้ไอซี 555 ขาอินพุตคือขา 2 ต่อร่วมกับขา 6 โดยตรง วงจรไม่ต้องการสัญญาณจุดชนวนจากภายนอกในการเปลี่ยนสภาวะแต่ละครั้ง การเปลี่ยนสภาวะของวงจรขึ้นกับการสะสมประจุและคายประจุของ C_1 โดยตัวเก็บประจุ C_1 สะสมประจุผ่านทาง R_1, R_2 และคายประจุผ่านทาง R_1, R_2 และคายประจุผ่านทาง R_2 ลงกราวด์ที่ขา 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน
ชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

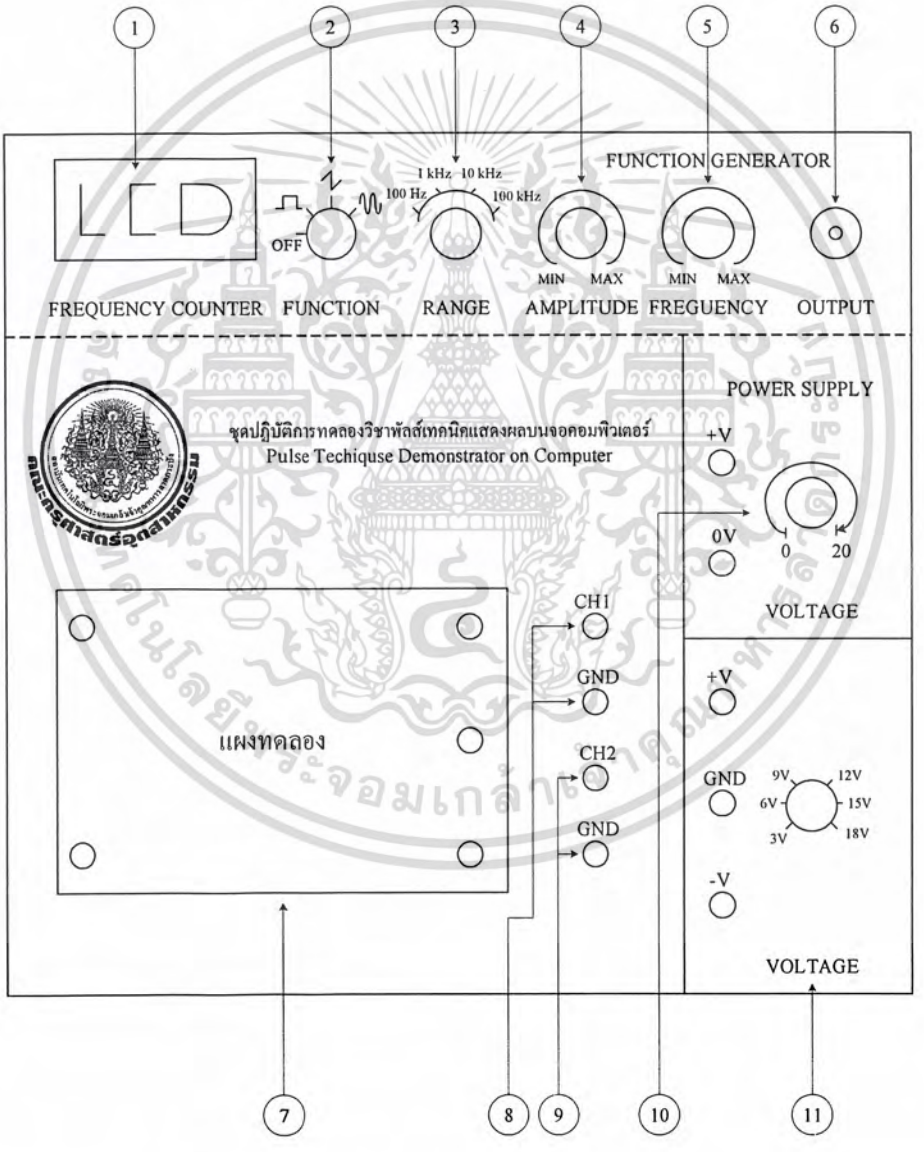
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำแนะนำเบื้องต้น

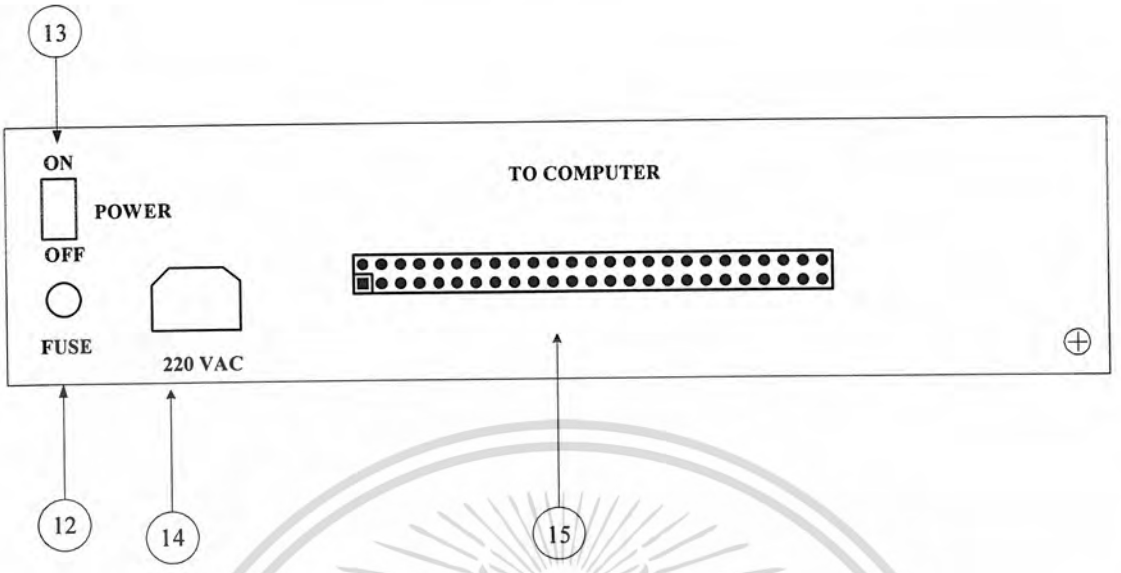
ก่อนที่จะลงมือใช้งานชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจ เพื่อผลการทดลองที่ถูกต้อง และ เป็นการป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูปที่ ช.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ช.2 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของชุดปฏิบัติการทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ด้านบน

จากรูปที่ ช.1 และ ช.2 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

(1) จอแสดงแอลซีดีแสดงการนับค่าความถี่ที่ป้อนให้กับวงจร

(2) ปุ่มปรับฟังก์ชั่นของวงจรกำเนิดความถี่ใช้สำหรับเลือกรูปสัญญาณ ไซน์ สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม

(3) ปุ่มปรับย่านความถี่ของวงจรกำเนิดความถี่ ใช้สำหรับเลือกย่านความถี่ที่จะป้อนให้กับแผงการทดลอง

(4) ปุ่มปรับแอมปลิจูดของวงจรกำเนิดความถี่ ใช้สำหรับปรับระดับแรงดันที่ต้องการป้อนให้กับแผงการทดลอง

(5) ปุ่มปรับความถี่ของวงจรกำเนิดความถี่ ใช้สำหรับปรับความถี่ที่ต้องการป้อนให้แผงการทดลอง

(6) ปุ่ม Output ใช้สำหรับทดลองกับออสซิลโลสโคปภายนอก

(7) แผงทดลอง

(8) จุดวัดสัญญาณแชนแนล 1 เพื่อใช้สำหรับวัดรูปคลื่นสัญญาณแสดงผลบนหน้าจอออสซิลโลสโคปที่ปรากฏบนคอมพิวเตอร์

(9) จุดวัดสัญญาณแชนแนล 2 เพื่อใช้สำหรับวัดรูปคลื่นสัญญาณแสดงผลบนหน้าจอออสซิลโลสโคปที่ปรากฏบนคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

⑩ ปุ่มปรับแรงดันไฟ 0-20 โวลต์ เพื่อป้อนให้กับแผงทดลอง

⑪ ปุ่มปรับแรงดันไฟแบบค่าคงที่ ±3โวลต์, 6โวลต์, 9โวลต์, 12โวลต์, 15โวลต์, 18 โวลต์ เพื่อป้อนให้กับแผงการทดลอง

⑫ ฟิวส์

⑬ สวิตซ์ปิด – เปิด การทำงานของเครื่อง

⑭ ปลั๊กไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์

⑮ จุดเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์

3. การติดตั้งและการใช้งาน

3.1 ความต้องการของระบบ

1. ไมโครคอมพิวเตอร์เพนเทียมทรี 700 MHz
2. หน่วยความจำอย่างน้อย 128 MB
3. พื้นที่ว่างบนฮาร์ดดิสก์ 60 เมกะไบต์
4. มีไดร์ฟซีดีรอม 1 ไดร์ฟ
5. มีสล็อต PCI 1 ช่อง
6. เครื่องพิมพ์

3.2 ทำการเสียบการ์ดอินเตอรเฟสลงไปในสล็อต PCI และตรวจสอบความเรียบร้อย

3.3 ทำการติดตั้งไดร์ฟเวอร์ของการ์ด

3.4 ทำการติดตั้งโปรแกรม Pulse โดยทำตามขั้นตอนจนเสร็จ

3.5 นำชุดปฏิบัติการทดลองต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

3.6 เสียบปลั๊กไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ พร้อมเปิดสวิตซ์การทำงานของชุดปฏิบัติการ

3.7 เปิดโปรแกรม Pulse Project ขึ้นมา

3.8 หน้าจอคอมพิวเตอร์จะปรากฏหน้าจอของชุดปฏิบัติการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย ใบงานที่ 1-11 ให้เลือก

3.9 ทำการกดปุ่มเลือกใบงานที่ต้องการทดลอง หน้าจอจะปรากฏใบงานที่ต้องการทดลอง

3.10 นำแผงการทดลองที่จะทดลองมาประกอบกับชุดปฏิบัติการทดลอง

3.11 ปรับค่าต่างๆ ของแผงการทดลองตามใบงานบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

3.12 ทำการทดลองและวัดค่าต่างๆ ตามใบงานการทดลองที่ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาเกี่ยวกับการใช้งาน ชุดปฏิบัติทดลองพัลส์เทคนิคแสดงผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ สามารถตรวจสอบแนวทางแก้ปัญหาเบื้องต้น ได้จากตารางข้างล่างนี้

อาการ	สาเหตุและ/หรือวิธีแก้ไข
ชุดปฏิบัติการไม่ทำงาน	ตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง, เปิดสวิตซ์, ตรวจสอบฟิวส์
การ์ดอินเตอร์เฟสไม่ทำงาน	ตรวจสอบการติดตั้งไดร์ฟเวอร์, ตรวจสอบแอลอีดีหลังการ์ดว่าติดทั้ง 2 ดวงหรือไม่
โปรแกรมทำงานไม่สมบูรณ์	ทำการติดตั้งโปรแกรมใหม่
พิมพ์ใบงานไม่ได้	ตรวจสอบการติดตั้งเครื่องพิมพ์

5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

5.1 การดูแลรักษา

1) ไม่ควรเก็บชุดทดลองในที่อุณหภูมิสูง หรือมีความชื้นสูง ควรวางไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิพอเหมาะ

2) เช็ดทำความสะอาดชุดทดลองด้วยผ้านุ่ม อย่าใช้สารใดๆ ที่เป็นตัวทำลาย เพราะทำให้ชุดทดลองเป็นรอยเสียหายได้

3) ทุกครั้งที่ทำการทดลองเสร็จให้เก็บอุปกรณ์รวมทั้งสายต่อวงจรให้เรียบร้อย

5.2 ข้อควรระวัง

1) ระวังความชื้นอันอาจจะทำให้วงจรภายในชุดทดลองเกิดความเสียหายได้

2) ตรวจสอบวงจรที่ต่อให้ถูกต้องก่อนจ่ายไฟเข้าระบบ มิฉะนั้นอาจทำความเสียหายให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่ออยู่ได้

3) ขณะทำการทดลองไม่ควรอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
วงจรกำเนิดความถี่	แสดงรูปสัญญาณไซน์ ,สี่เหลี่ยม , สามเหลี่ยม
	สามารถผลิตความถี่ตั้งแต่ 100Hz -10 kHz
	สามารถปรับแอมปลิจูดตั้งแต่ 0 – 12 Vp-p
แหล่งกำเนิดแรงดันแบบปรับค่าได้ 0 - 15 โวลต์	กำเนิดแรงดันได้ตั้งแต่ 0 - 15 V
แหล่งกำเนิดแรงดันบวกลบแบบเลือกค่าได้	กำเนิดแรงดัน +3 โวลต์, -3 โวลต์, +6 โวลต์, -6 โวลต์, +9 โวลต์, -9 โวลต์, +12 โวลต์, -12 โวลต์, +15 โวลต์, -15โวลต์, +18 โวลต์ และ -18 โวลต์
แหล่งกำเนิดแรงดันคงที่	กำเนิดแรงดัน +5 โวลต์, -5 โวลต์, +9 โวลต์, -9 โวลต์, +12 โวลต์ และ -12 โวลต์
ส่วนแสดงผลของวงจรกำเนิดความถี่	สามารถนับความถี่ที่ออกมาจากวงจรกำเนิดความถี่ที่ได้ จอแสดงผลแอลซีดีโมดูล 1 บรรทัด 16 ตัวอักษร แสดงการนับความถี่ 0 – 1 เมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ

รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

intersil™

NOT RECOMMENDED FOR NEW DESIGNS

ICL8038

Data Sheet | April 2001 | File Number 2864.4

Precision Waveform Generator/Voltage Controlled Oscillator

The ICL8038 waveform generator is a monolithic integrated circuit capable of producing high accuracy sine, square, triangular, sawtooth and pulse waveforms with a minimum of external components. The frequency (or repetition rate) can be selected externally from 0.001Hz to more than 300kHz using either resistors or capacitors, and frequency modulation and sweeping can be accomplished with an external voltage. The ICL8038 is fabricated with advanced monolithic technology, using Schottky barrier diodes and thin film resistors, and the output is stable over a wide range of temperature and supply variations. These devices may be interfaced with phase locked loop circuitry to reduce temperature drift to less than 250ppm/°C.

Features

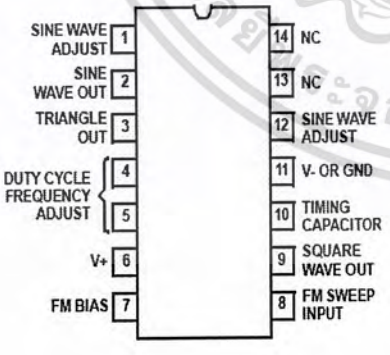
- Low Frequency Drift with Temperature. . . . . 250ppm/°C
- Low Distortion . . . . . 1% (Sine Wave Output)
- High Linearity . . . . . .0.1% (Triangle Wave Output)
- Wide Frequency Range . . . . . .0.001Hz to 300kHz
- Variable Duty Cycle . . . . . 2% to 98%
- High Level Outputs. . . . . TTL to 28V
- Simultaneous Sine, Square, and Triangle Wave Outputs
- Easy to Use - Just a Handful of External Components Required

Ordering Information

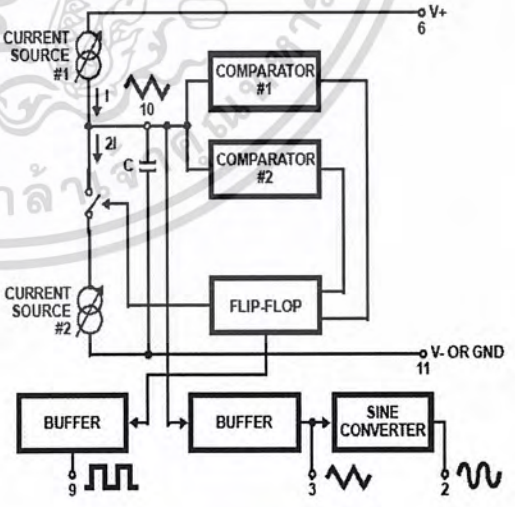
PART NUMBER	STABILITY	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
ICL8038CCPD	250ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld PDIP	E14.3
ICL8038CCJD	250ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld CERDIP	F14.3
ICL8038BCJD	180ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld CERDIP	F14.3
ICL8038ACJD	120ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld CERDIP	F14.3

Pinout

ICL8038
(PDIP, CERDIP)
TOP VIEW



Functional Diagram



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.
1-888-INTERSIL or 321-724-7143 | Intersil and Design is a trademark of Intersil Americas Inc.
Copyright © Intersil Americas Inc. 2001, All Rights Reserved

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage (V- to V+) 36V
Input Voltage (Any Pin) . . . . . V- to V+
Input Current (Pins 4 and 5) 25mA
Output Sink Current (Pins 3 and 9) 25mA

Operating Conditions

Temperature Range
ICL8038AC, ICL8038BC, ICL8038CC . . . . . 0^oC to 70^oC

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	θ_{JA} ($^oC/W$)	θ_{JC} ($^oC/W$)
CERDIP Package	75	20
PDIP Package	115	N/A

Maximum Junction Temperature (Ceramic Package) . . . . . 175^oC
Maximum Junction Temperature (Plastic Package) . . . . . 150^oC
Maximum Storage Temperature Range . . . . . -65^oC to 150^oC
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s) . . . . . 300^oC

Die Characteristics

Back Side Potential . . . . . V-

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

1. θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Electrical Specifications

V_{SUPPLY} = ±10V or +20V, T_A = 25^oC, R_L = 10kΩ, Test Circuit Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	ICL8038CC			ICL8038BC			ICL8038AC			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Supply Voltage Operating Range	V_{SUPPLY}											
	V+	Single Supply	+10	-	+30	+10	-	+30	+10	-	+30	V
	V+, V-	Dual Supplies	±5	-	±15	±5	-	±15	±5	-	±15	V
Supply Current	I_{SUPPLY}	V_{SUPPLY} = ±10V (Note 2)		12	20	-	12	20	-	12	20	mA
FREQUENCY CHARACTERISTICS (All Waveforms)												
Max. Frequency of Oscillation	f_{MAX}		100	-	-	100	-	-	100	-	-	kHz
Sweep Frequency of FM Input	f_{SWEEP}		-	10	-	-	10	-	-	10	-	kHz
Sweep FM Range		(Note 3)	-	35:1	-	-	35:1	-	-	35:1	-	
FM Linearity		10:1 Ratio	-	0.5	-	-	0.2	-	-	0.2	-	%
Frequency Drift with Temperature (Note 5)	$\Delta f/\Delta T$	0°C to 70°C	-	250	-	-	180	-	-	120		ppm/°C
Frequency Drift with Supply Voltage	$\Delta f/\Delta V$	Over Supply Voltage Range	-	0.05	-	-	0.05		-	0.05	-	%/V
OUTPUT CHARACTERISTICS												
Square Wave												
Leakage Current	I_{OLK}	V_9 = 30V	-	-	1	-	-	1	-	-	1	µA
Saturation Voltage	V_{SAT}	I_{SINK} = 2mA	-	0.2	0.5	-	0.2	0.4	-	0.2	0.4	V
Rise Time	t_R	R_L = 4.7kΩ	-	180	-	-	180	-	-	180	-	ns
Fall Time	t_F	R_L = 4.7kΩ	-	40	-	-	40	-	-	40	-	ns
Typical Duty Cycle Adjust (Note 6)	ΔD		2		98	2	-	98	2	-	98	%
Triangle/Sawtooth/Ramp												-
Amplitude	$V_{TRIANGLE}$	R_{TRI} = 100kΩ	0.30	0.33	-	0.30	0.33	-	0.30	0.33	-	xV_{SUPPLY}
Linearity			-	0.1	-	-	0.05	-	-	0.05	-	%
Output Impedance	Z_{OUT}	I_{OUT} = 5mA	-	200	-	-	200	-	-	200	-	Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Specifications V_{SUPPLY} = ±10V or +20V, T_A = 25°C, R_L = 10kΩ, Test Circuit Unless Otherwise Specified **(Continued)**

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	ICL8038CC			ICL8038BC			ICL8038AC			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Sine Wave Amplitude	V_{SINE}	R_{SINE} = 100kΩ	0.2	0.22	-	0.2	0.22	-	0.2	0.22	-	xV_{SUPPLY}
THD	THD	R_S = 1MΩ (Note 4)	-	2.0	5	-	1.5	3	-	1.0	1.5	%
THD Adjusted	THD	Use Figure 4	-	1.5	-	-	1.0	-	-	0.8	-	%

NOTES:

2. R_A and R_B currents not included.
3. V_{SUPPLY} = 20V; R_A and R_B = 10kΩ, f ≡ 10kHz nominal; can be extended 1000 to 1. See Figures 5A and 5B.
4. 82kΩ connected between pins 11 and 12, Triangle Duty Cycle set at 50%. (Use R_A and R_B.)
5. Figure 1, pins 7 and 8 connected, V_{SUPPLY} = ±10V. See Typical Curves for T.C. vs V_{SUPPLY}.
6. Not tested, typical value for design purposes only.

Test Conditions

PARAMETER	R_A	R_B	R_L	C	SW_1	MEASURE
Supply Current	10kΩ	10kΩ	10kΩ	3.3nF	Closed	Current Into Pin 6
Sweep FM Range (Note 7)	10kΩ	10kΩ	10kΩ	3.3nF	Open	Frequency at Pin 9
Frequency Drift with Temperature	10kΩ	10kΩ	10kΩ	3.3nF	Closed	Frequency at Pin 3
Frequency Drift with Supply Voltage (Note 8)	10kΩ	10kΩ	10kΩ	3.3nF	Closed	Frequency at Pin 9
Output Amplitude (Note 10) Sine	10kΩ	10kΩ	10kΩ	3.3nF	Closed	Pk-Pk Output at Pin 2
Triangle	10kΩ	10kΩ	10kΩ	3.3nF	Closed	Pk-Pk Output at Pin 3
Leakage Current (Off) (Note 9)	10kΩ	10kΩ		3.3nF	Closed	Current into Pin 9
Saturation Voltage (On) (Note 9)	10kΩ	10kΩ		3.3nF	Closed	Output (Low) at Pin 9
Rise and Fall Times (Note 11)	10kΩ	10kΩ	4.7kΩ	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 9
Duty Cycle Adjust (Note 11) Max	50kΩ	~1.6kΩ	10kΩ	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 9
Min	~25kΩ	50kΩ	10kΩ	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 9
Triangle Waveform Linearity	10kΩ	10kΩ	10kΩ	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 3
Total Harmonic Distortion	10kΩ	10kΩ	10kΩ	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 2

NOTES:

7. The hi and lo frequencies can be obtained by connecting pin 8 to pin 7 (f_{HI}) and then connecting pin 8 to pin 6 (f_{LO}). Otherwise apply Sweep Voltage at pin 8 ($^2/_3$ V_{SUPPLY} +2V) ≤ V_{SWEEP} ≤ V_{SUPPLY} where V_{SUPPLY} is the total supply voltage. In Figure 5B, pin 8 should vary between 5.3V and 10V with respect to ground.
8. 10V ≤ V+ ≤ 30V, or ±5V ≤ V_{SUPPLY} ≤ ±15V.
9. Oscillation can be halted by forcing pin 10 to +5V or -5V.
10. Output Amplitude is tested under static conditions by forcing pin 10 to 5V then to -5V.
11. Not tested; for design purposes only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test Circuit

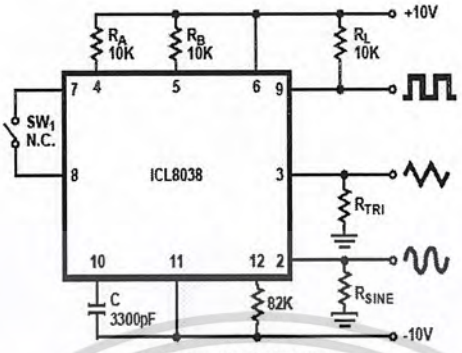
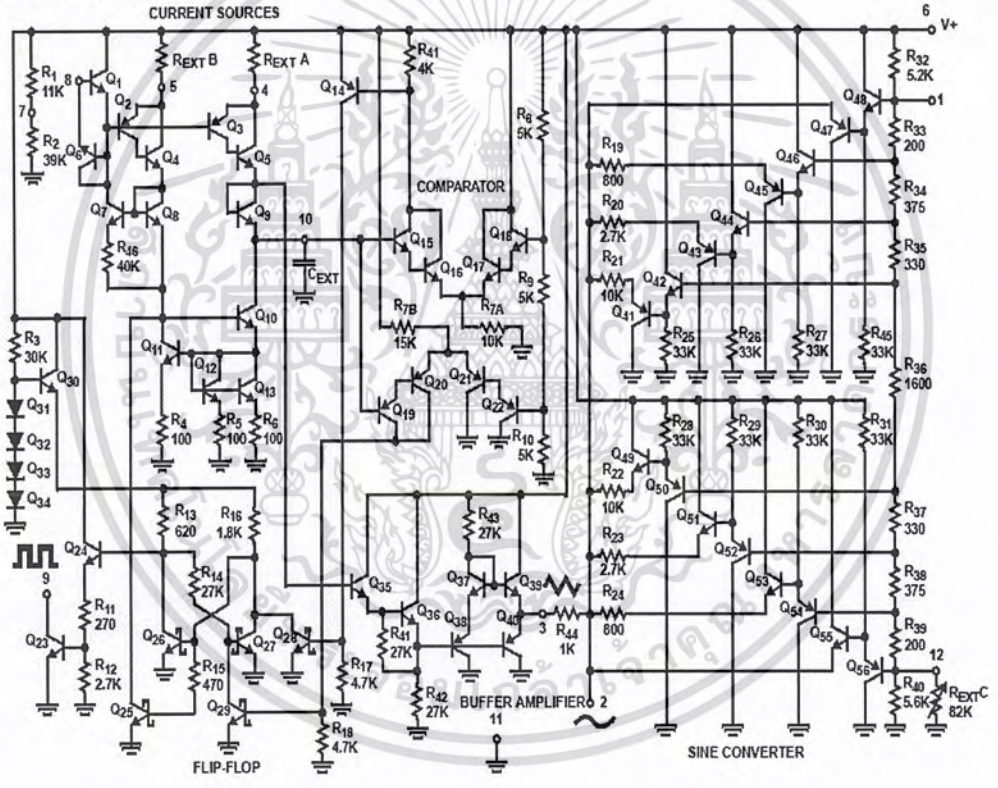


FIGURE 1. TEST CIRCUIT

Detailed Schematic



Application Information (See Functional Diagram)

An external capacitor C is charged and discharged by two current sources. Current source #2 is switched on and off by a flip-flop, while current source #1 is on continuously. Assuming that the flip-flop is in a state such that current source #2 is off, and the capacitor is charged with a current I, the voltage across the capacitor rises linearly with time. When this voltage reaches the level of comparator #1 (set at 2/3 of the supply voltage), the flip-flop is triggered, changes states, and releases current source #2. This current source normally carries a current 2I, thus the capacitor is discharged with a net-current I and the voltage across it drops linearly with time. When it has reached the level of comparator #2 (set at 1/3 of the supply voltage), the flip-flop is triggered into its original state and the cycle starts again.

Four waveforms are readily obtainable from this basic generator circuit. With the current sources set at I and 2I respectively, the charge and discharge times are equal. Thus a triangle waveform is created across the capacitor and the flip-flop produces a square wave. Both waveforms are fed to buffer stages and are available at pins 3 and 9.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The levels of the current sources can, however, be selected over a wide range with two external resistors. Therefore, with the two currents set at values different from I and 2I, an asymmetrical sawtooth appears at Terminal 3 and pulses with a duty cycle from less than 1% to greater than 99% are available at Terminal 9.

The sine wave is created by feeding the triangle wave into a nonlinear network (sine converter). This network provides a decreasing shunt impedance as the potential of the triangle moves toward the two extremes.

Waveform Timing

The *symmetry* of all waveforms can be adjusted with the external timing resistors. Two possible ways to accomplish this are shown in Figure 3. Best results are obtained by keeping the timing resistors R_A and R_B separate (A). R_A controls the rising portion of the triangle and sine wave and the 1 state of the square wave.

The magnitude of the triangle waveform is set at $^1/_3$ V_{SUPPLY}; therefore the rising portion of the triangle is,

$$t_1 = \frac{C \times V}{I} = \frac{C \times 1/3 \times V_{SUPPLY} \times R_A}{0.22 \times V_{SUPPLY}} = \frac{R_A \times C}{0.66}$$

The falling portion of the triangle and sine wave and the 0 state of the square wave is:

$$t_2 = \frac{C \times V}{I} = \frac{C \times 1/3 V_{SUPPLY}}{2(0.22)\frac{V_{SUPPLY}}{R_B} - 0.22\frac{V_{SUPPLY}}{R_A}} = \frac{R_A R_B C}{0.66(2R_A - R_B)}$$

Thus a 50% duty cycle is achieved when $R_A = R_B$.

If the duty cycle is to be varied over a small range about 50% only, the connection shown in Figure 3B is slightly more convenient. A 1kΩ potentiometer may not allow the duty cycle to be adjusted through 50% on all devices. If a 50% duty cycle is required, a 2kΩ or 5kΩ potentiometer should be used.

With two separate timing resistors, the frequency is given by:

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} = \frac{1}{\frac{R_A C}{0.66}\left(1 + \frac{R_B}{2R_A - R_B}\right)}$$

or, if $R_A = R_B = R$

$$f = \frac{0.33}{RC} \text{ (for Figure 3A)}$$

FIGURE 2A. SQUARE WAVE DUTY CYCLE - 50%

FIGURE 2B. SQUARE WAVE DUTY CYCLE - 80%

FIGURE 2. PHASE RELATIONSHIP OF WAVEFORMS

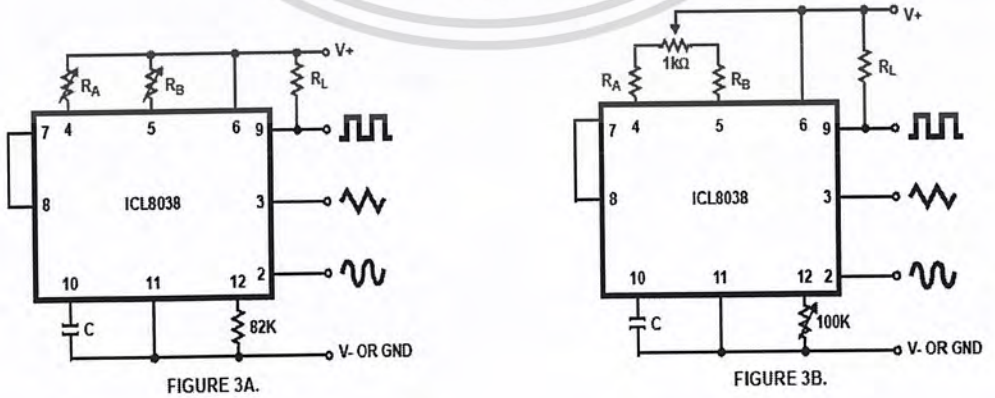


FIGURE 3A.

FIGURE 3B.

FIGURE 3. POSSIBLE CONNECTIONS FOR THE EXTERNAL TIMING RESISTORS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Neither time nor frequency are dependent on supply voltage, even though none of the voltages are regulated inside the integrated circuit. This is due to the fact that both currents and thresholds are direct, linear functions of the supply voltage and thus their effects cancel.

Reducing Distortion

To minimize sine wave distortion the 82kΩ resistor between pins 11 and 12 is best made variable. With this arrangement distortion of less than 1% is achievable. To reduce this even further, two potentiometers can be connected as shown in Figure 4; this configuration allows a typical reduction of sine wave distortion close to 0.5%.

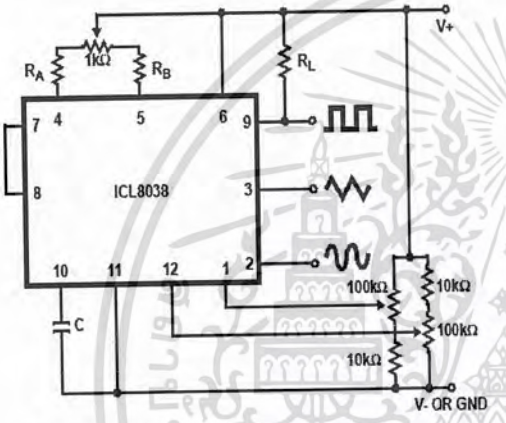


FIGURE 4. CONNECTION TO ACHIEVE MINIMUM SINE WAVE DISTORTION

Selecting R_A, R_B and C

For any given output frequency, there is a wide range of RC combinations that will work, however certain constraints are placed upon the magnitude of the charging current for optimum performance. At the low end, currents of less than 1µA are undesirable because circuit leakages will contribute significant errors at high temperatures. At higher currents (I > 5mA), transistor betas and saturation voltages will contribute increasingly larger errors. Optimum performance will, therefore, be obtained with charging currents of 10µA to 1mA. If pins 7 and 8 are shorted together, the magnitude of the charging current due to R_A can be calculated from:

$$I = \frac{R_1 \times (V+ - V-)}{(R_1 + R_2)} \times \frac{1}{R_A} = \frac{0.22(V+ - V-)}{R_A}$$

R_1 and R_2 are shown in the Detailed Schematic.

A similar calculation holds for R_B.

The capacitor value should be chosen at the upper end of its possible range.

Waveform Out Level Control and Power Supplies

The waveform generator can be operated either from a single power supply (10V to 30V) or a dual power supply (±5V to ±15V). With a single power supply the average levels of the triangle and sine wave are at exactly one-half of the supply voltage, while the square wave alternates between V+ and ground. A split power supply has the advantage that all waveforms move symmetrically about ground.

The square wave output is not committed. A load resistor can be connected to a different power supply, as long as the applied voltage remains within the breakdown capability of the waveform generator (30V). In this way, the square wave output can be made TTL compatible (load resistor connected to +5V) while the waveform generator itself is powered from a much higher voltage.

Frequency Modulation and Sweeping

The frequency of the waveform generator is a direct function of the DC voltage at Terminal 8 (measured from V+). By altering this voltage, frequency modulation is performed. For small deviations (e.g. ±10%) the modulating signal can be applied directly to pin 8, merely providing DC decoupling with a capacitor as shown in Figure 5A. An external resistor between pins 7 and 8 is not necessary, but it can be used to increase input impedance from about 8kΩ (pins 7 and 8 connected together), to about (R + 8kΩ).

For larger FM deviations or for frequency sweeping, the modulating signal is applied between the positive supply voltage and pin 8 (Figure 5B). In this way the entire bias for the current sources is created by the modulating signal, and a very large (e.g. 1000:1) sweep range is created (f = Minimum at V_{SWEEP} = 0, i.e., Pin 8 = V+). Care must be taken, however, to regulate the supply voltage; in this configuration the charge current is no longer a function of the supply voltage (yet the trigger thresholds still are) and thus the frequency becomes dependent on the supply voltage. The potential on Pin 8 may be swept down from V+ by ($^1/_3$ V_{SUPPLY} - 2V).

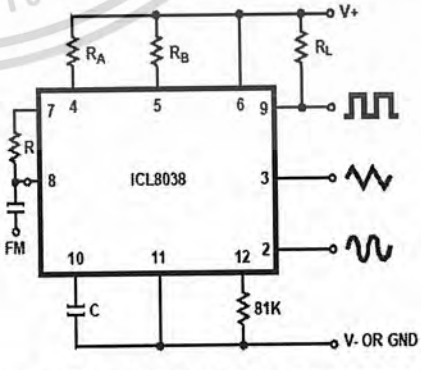


FIGURE 5A. CONNECTIONS FOR FREQUENCY MODULATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

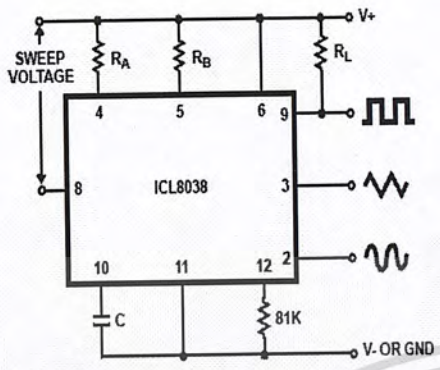


FIGURE 5B. CONNECTIONS FOR FREQUENCY SWEEP
FIGURE 5.

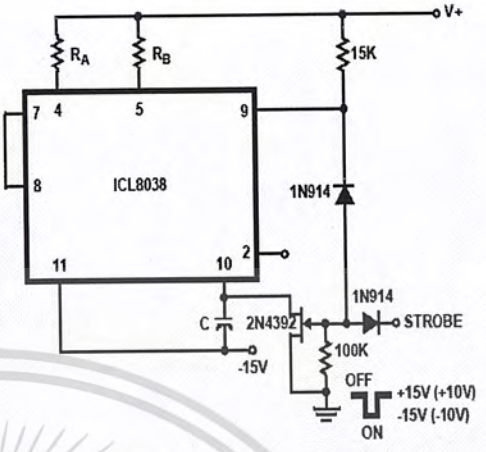


FIGURE 7. STROBE TONE BURST GENERATOR

Typical Applications

The sine wave output has a relatively high output impedance (1kΩ Typ). The circuit of Figure 6 provides buffering, gain and amplitude adjustment. A simple op amp follower could also be used.

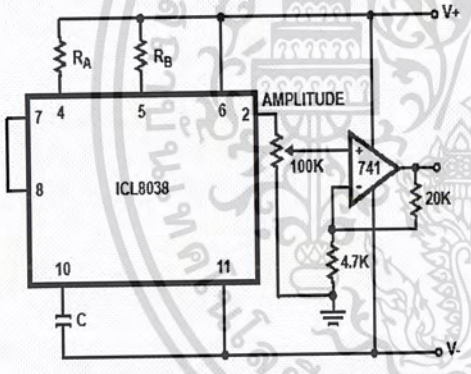


FIGURE 6. SINE WAVE OUTPUT BUFFER AMPLIFIERS

With a dual supply voltage the external capacitor on Pin 10 can be shorted to ground to halt the ICL8038 oscillation. Figure 7 shows a FET switch, diode ANDed with an input strobe signal to allow the output to always start on the same slope.

To obtain a 1000:1 Sweep Range on the ICL8038 the voltage across external resistors R_A and R_B must decrease to nearly zero. This requires that the highest voltage on control Pin 8 exceed the voltage at the top of R_A and R_B by a few hundred mV. The Circuit of Figure 8 achieves this by using a diode to lower the effective supply voltage on the ICL8038. The large resistor on pin 5 helps reduce duty cycle variations with sweep.

The linearity of input sweep voltage versus output frequency can be significantly improved by using an op amp as shown in Figure 10.

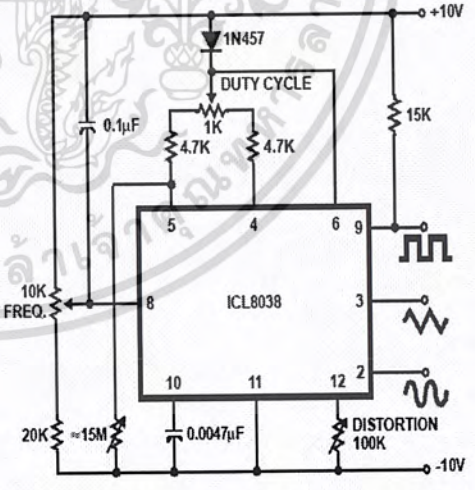


FIGURE 8. VARIABLE AUDIO OSCILLATOR, 20Hz TO 20kHzY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

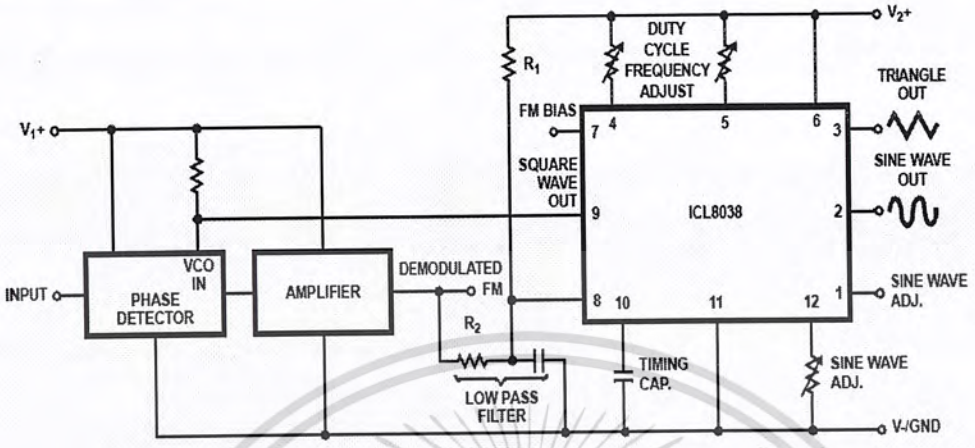


FIGURE 9. WAVEFORM GENERATOR USED AS STABLE VCO IN A PHASE-LOCKED LOOP

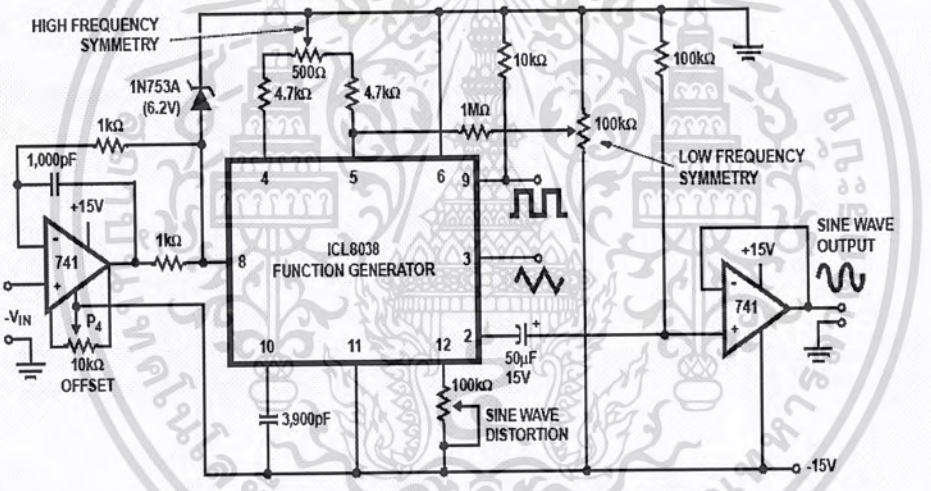


FIGURE 10. LINEAR VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR

Use in Phase Locked Loops

Its high frequency stability makes the ICL8038 an ideal building block for a phase locked loop as shown in Figure 9. In this application the remaining functional blocks, the phase detector and the amplifier, can be formed by a number of available ICs (e.g., MC4344, NE562).

In order to match these building blocks to each other, two steps must be taken. First, two different supply voltages are used and the square wave output is returned to the supply of the phase detector. This assures that the VCO input voltage will not exceed the capabilities of the phase detector. If a smaller VCO signal is required, a simple resistive voltage divider is connected between pin 9 of the waveform generator and the VCO input of the phase detector.

Second, the DC output level of the amplifier must be made compatible to the DC level required at the FM input of the waveform generator (pin 8, 0.8V+). The simplest solution here is to provide a voltage divider to V+ (R_1, R_2 as shown) if the amplifier has a lower output level, or to ground if its level is higher. The divider can be made part of the low-pass filter.

This application not only provides for a free-running frequency with very low temperature drift, but is also has the unique feature of producing a large reconstituted sinewave signal with a frequency identical to that at the input.

For further information, see Intersil Application Note AN013, "Everything You Always Wanted to Know About the ICL8038".

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit high-speed analog-to-digital converter

TDA8703

FEATURES

- 8-bit resolution
- Sampling rate up to 40 MHz
- High signal-to-noise ratio over a large analog input frequency range (7.1 effective bits at 4.43 MHz full-scale input)
- Binary or two's complement 3-state TTL outputs
- Overflow/underflow 3-state TTL output
- TTL compatible digital inputs
- Low-level AC clock input signal allowed
- Internal reference voltage generator
- Power dissipation only 290 mW (typical)
- Low analog input capacitance, no buffer amplifier required
- No sample-and-hold circuit required.

APPLICATIONS

- General purpose high-speed analog-to-digital conversion
- Digital TV, IDTV
- Subscriber TV decoder
- Satellite TV decoders
- Digital VCR.

GENERAL DESCRIPTION

The TDA8703 is an 8-bit high-speed Analog-to-Digital Converter (ADC) for video and other applications. It converts the analog input signal into 8-bit binary-coded digital words at a maximum sampling rate of 40 MHz. All digital inputs and outputs are TTL compatible, although a low-level AC clock input signal is allowed.

ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
TDA8703	DIP24	plastic dual in-line package; 24 leads (600 mil)	SOT101-1
TDA8703T	SO24	plastic small outline package; 24 leads; body width 7.5 mm	SOT137-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
V_{CCA}	analog supply voltage		4.5	5.0	5.5	V
V_{CCD}	digital supply voltage		4.5	5.0	5.5	V
V_{CCO}	output stages supply voltage		4.2	5.0	5.5	V
I_{CCA}	analog supply current		–	28	36	mA
I_{CCD}	digital supply current		–	19	25	mA
I_{CCO}	output stages supply current		–	11	14	mA
ILE	DC integral linearity error		–	–	±1	LSB
DLE	DC differential linearity error		–	–	±1/2	LSB
AILE	AC integral linearity error	note 1	–	–	±2	LSB
B	–3 dB bandwidth	note 2; f_{CLK} = 40 MHz	–	19.5	–	MHz
$f_{CLK}/f_{\overline{CLK}}$	maximum conversion rate	note 3	40	–	–	MHz
P_{tot}	total power dissipation		–	290	415	mW

Notes

1. Full-scale sinewave (f_i = 4.4 MHz; f_{CLK}; $f_{\overline{CLK}}$ = 27 MHz).
2. The –3 dB bandwidth is determined by the 3 dB reduction in the reconstructed output (full-scale signal at input).
3. The circuit has two clock inputs CLK and $\overline{CLK}$. There are four modes of operation:
   a) TTL (mode 1); $\overline{CLK}$ decoupled to DGND by a capacitor. CLK input is TTL threshold voltage of 1.5 V and sampling on the LOW-to-HIGH transition of the input clock signal.
   b) TTL (mode 2); CLK decoupled to DGND by a capacitor. $\overline{CLK}$ input is TTL threshold voltage of 1.5 V and sampling on the HIGH-to-LOW transition of the input clock signal.
   c) AC drive modes (modes 3 and 4); When driving the CLK input directly and with any AC signal of 0.5 V (peak-to-peak value) imposed on a DC level of 1.5 V, sampling takes place on the LOW-to-HIGH transition of the clock signal. When driving the $\overline{CLK}$ input with such a signal, sampling takes place on the HIGH-to-LOW transition.
   d) If one of the clock inputs is not driven, then it is recommended to decouple this input to DGND with a 100 nF capacitor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BLOCK DIAGRAM

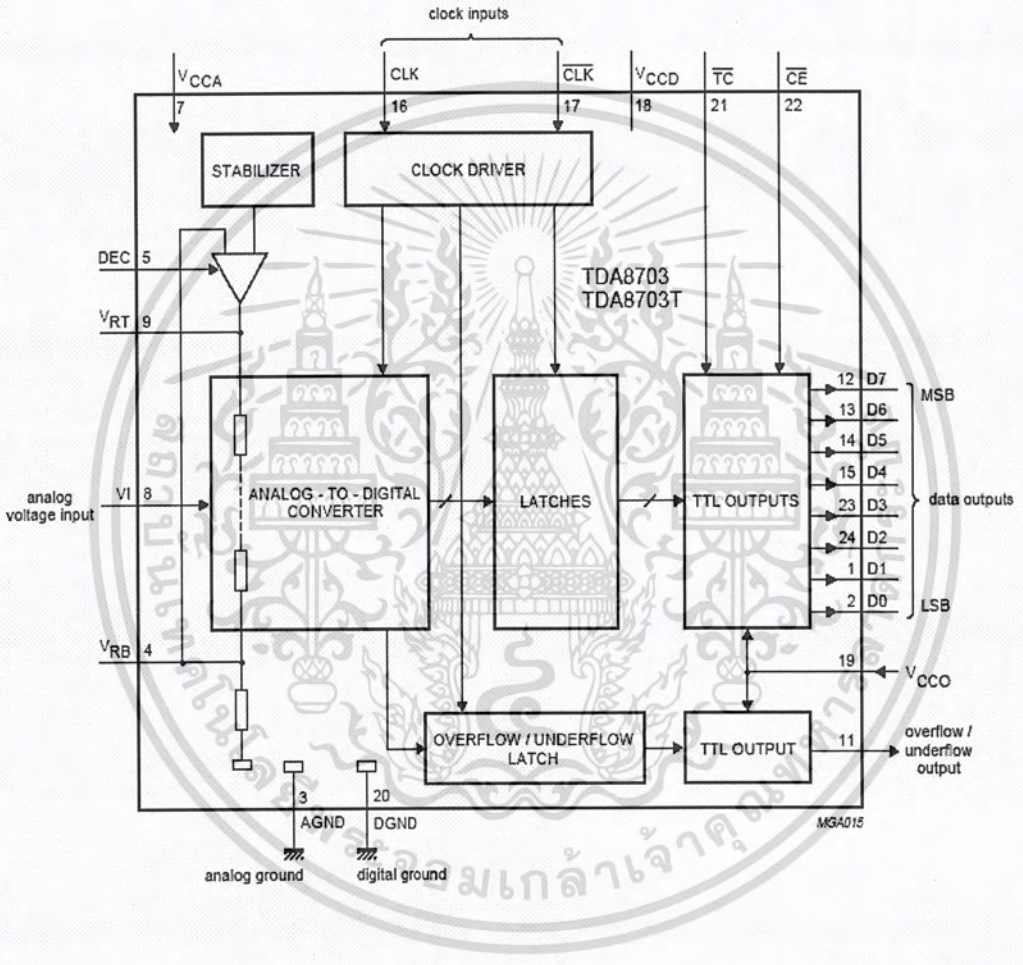


Fig.1 Block diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
D1	1	data output; bit 1
D0	2	data output; bit 0 (LSB)
AGND	3	analog ground
V_{RB}	4	reference voltage bottom (decoupling)
DEC	5	decoupling input (internal stabilization loop decoupling)
n.c.	6	not connected
V_{CCA}	7	positive supply voltage for analog circuits (+5 V)
VI	8	analog voltage input
V_{RT}	9	reference voltage top (decoupling)
n.c.	10	not connected
O/UF	11	overflow/underflow data output
D7	12	data output; bit 7 (MSB)
D6	13	data output; bit 6
D5	14	data output; bit 5
D4	15	data output; bit 4
CLK	16	clock input
$\overline{CLK}$	17	complementary clock input
V_{CCD}	18	positive supply voltage for digital circuits (+5 V)
V_{CCO}	19	positive supply voltage for output stages (+5 V)
DGND	20	digital ground
$\overline{TC}$	21	input for two's complement output (TTL level input, active LOW)
$\overline{CE}$	22	chip enable input (TTL level input, active LOW)
D3	23	data output; bit 3
D2	24	data output; bit 2

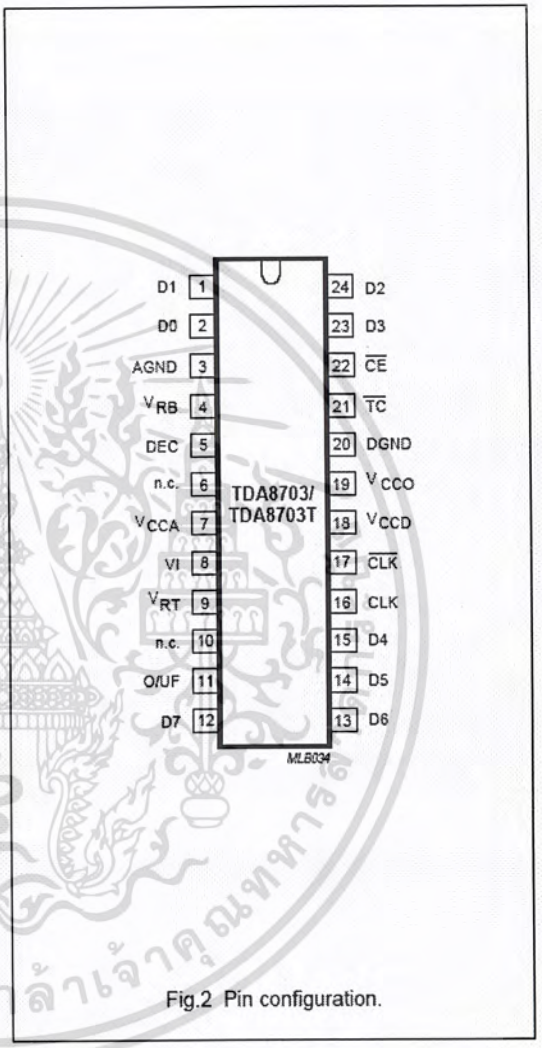


Fig.2 Pin configuration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CCA}	analog supply voltage		–0.3	+7.0	V
V_{CCD}	digital supply voltage		–0.3	+7.0	V
V_{CCO}	output stages supply voltage		–0.3	+7.0	V
$V_{CCA} - V_{CCD}$	supply voltage differences		–1.0	+1.0	V
$V_{CCO} - V_{CCD}$	supply voltage differences		–1.0	+1.0	V
$V_{CCA} - V_{CCO}$	supply voltage differences		–1.0	+1.0	V
V_{VI}	input voltage range	referenced to AGND	–0.3	+7.0	V
$V_{CLK}/V_{\overline{CLK}}$	AC input voltage for switching (peak-to-peak value)	note 1; referenced to DGND	–	2.0	V
I_O	output current		–	+10	mA
T_{stg}	storage temperature		–55	+150	°C
T_{amb}	operating ambient temperature		0	+70	°C
T_j	junction temperature		–	+125	°C

Notes

1. The circuit has two clock inputs CLK and $\overline{CLK}$. There are four modes of operation:
   a) TTL (mode 1); $\overline{CLK}$ decoupled to DGND by a capacitor. CLK input is TTL threshold voltage of 1.5 V and sampling on the LOW-to-HIGH transition of the input clock signal.
   b) TTL (mode 2); CLK decoupled to DGND by a capacitor. $\overline{CLK}$ input is TTL threshold voltage of 1.5 V and sampling on the HIGH-to-LOW transition of the input clock signal.
   c) AC drive modes (modes 3 and 4); When driving the CLK input directly and with any AC signal of 0.5 V (peak-to-peak value) imposed on a DC level of 1.5 V, sampling takes place on the LOW-to-HIGH transition of the clock signal. When driving the $\overline{CLK}$ input with such a signal, sampling takes place on the HIGH-to-LOW transition.
   d) If one of the clock inputs is not driven, then it is recommended to decouple this input to DGND with a 100 nF capacitor.

HANDLING

Inputs and outputs are protected against electrostatic discharges in normal handling. However, to be totally safe, it is desirable to take normal precautions appropriate to handling integrated circuits.

THERMAL RESISTANCE

SYMBOL	PARAMETER	VALUE	UNIT
$R_{th\ j\text{-}a}$	from junction to ambient in free air		
	SOT101-1	55	K/W
	SOT137-1	75	K/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERISTICS

$V_{CCA} = V_7 - V_3 = 4.5$ V to 5.5 V; $V_{CCD} = V_{18} - V_{20} = 4.5$ V to 5.5 V; $V_{CCO} = V_{19} - V_{20} = 4.5$ V to 5.5 V; AGND and DGND shorted together; $V_{CCA} - V_{CCD} = -0.5$ V to +0.5 V; $V_{CCO} - V_{CCD} = -0.5$ V to +0.5 V; $V_{CCA} - V_{CCD} = -0.5$ V to +0.5 V; $T_{amb} = 0$ °C to +70 °C; unless otherwise specified (typical values measured at $V_{CCA} = V_{CCD} = V_{CCO} = 5$ V and $T_{amb} = 25$ °C).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply						
V_{CCA}	analog supply voltage		4.5	5.0	5.5	V
V_{CCD}	digital supply voltage		4.5	5.0	5.5	V
V_{CCO}	output stages supply voltage		4.2	5.0	5.5	V
I_{CCA}	analog supply current		–	28	36	mA
I_{CCD}	digital supply current		–	19	25	mA
I_{CCO}	output stage supply current	all outputs LOW	–	11	14	mA
Inputs						
CLOCK INPUT $\overline{CLK}$ AND CLK (note 1; REFERENCED TO DGND)						
V_{IL}	LOW level input voltage		0	–	0.8	V
V_{IH}	HIGH level input voltage		2.0	–	V_{CCD}	V
I_{IL}	LOW level input current	$V_{CLK}/V_{\overline{CLK}} = 0.4$ V	−400	–	–	µA
I_{IH}	HIGH level input current	$V_{CLK}/V_{\overline{CLK}} = 0.4$ V	–	–	100	µA
		$V_{CLK}/V_{\overline{CLK}} = V_{CCD}$	–	–	300	µA
Z_i	input impedance	$f_{CLK}/f_{\overline{CLK}} = 10$ MHz	–	4	–	kΩ
C_i	input capacitance	$f_{CLK}/f_{\overline{CLK}} = 10$ MHz	–	4.5	–	pF
$V_{CLK} - V_{\overline{CLK}}$	AC input voltage for switching (peak-to-peak value)	note 1; DC level = 1.5 V	0.5	–	2.0	V
$\overline{TC}$ AND $\overline{CE}$ (REFERENCED TO DGND)						
V_{IL}	LOW level input voltage		0	–	0.8	V
V_{IH}	HIGH level input voltage		2.0	–	V_{CCD}	V
I_{IL}	LOW level input current	$V_{IL} = 0.4$ V	−400	–	–	µA
I_{IH}	HIGH level input current	$V_{IH} = 2.7$ V	–	–	20	µA
VI (ANALOG INPUT VOLTAGE REFERENCED TO AGND)						
$V_{VI(B)}$	input voltage (bottom)		1.33	1.41	1.48	V
$V_{VI(0)}$	input voltage	output code = 0	1.455	1.55	1.635	V
$V_{OS(B)}$	offset voltage (bottom)	$V_{VI(0)} - V_{VI(B)}$	0.125	–	0.155	V
$V_{VI(T)}$	input voltage (top)		3.2	3.36	3.5	V
$V_{VI(255)}$	input voltage	output code = 255	3.115	3.26	3.385	V
$V_{OS(T)}$	offset voltage (top)	$V_{VI(T)} - V_{VI(255)}$	0.085	–	0.115	V
$V_{VI(p-p)}$	input voltage amplitude (peak-to-peak value)		1.66	1.71	1.75	V
I_{IL}	LOW level input current	$V_{VI} = 1.4$ V	–	0	–	µA
I_{IH}	HIGH level input current	$V_{VI} = 3.6$ V	60	120	180	µA
Z_i	input impedance	$f_i = 1$ MHz	–	10	–	kΩ
C_i	input capacitance	$f_i = 1$ MHz	–	14	–	pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Reference resistance						
R_{ref}	reference resistance	V_{RT} to V_{RB}	–	220	–	Ω
Outputs						
DIGITAL OUTPUTS (D7 - D0) (REFERENCED TO DGND)						
V_{OL}	LOW level output voltage	I_O = 1 mA	0	–	0.4	V
V_{OH}	HIGH level output voltage	I_O = –0.4 mA	2.7	–	V_{CCD}	V
I_{OZ}	output current in 3-state mode	0.4 V < V_O < V_{CCD}	–20	–	+20	μA
Switching characteristics (note 2; see Fig.3)						
$f_{CLK}/f_{\overline{CLK}}$	maximum clock frequency		40	–	–	MHz
Analog signal processing (f_{CLK} = 40 MHz)						
B	–3 dB bandwidth	note 3	–	19.5	–	MHz
G_d	differential gain	note 4	–	0.6	–	%
ϕ_d	differential phase	note 4	–	0.8	–	deg
f_1	fundamental harmonics (full-scale)	f_i = 4.43 MHz	–	–	0	dB
f_{all}	harmonics (full-scale), all components	f_i = 4.43 MHz	–	–55	–	dB
SVRR1	supply voltage ripple rejection	note 5	–	–28	–25	dB
SVRR2	supply voltage ripple rejection	note 5	–	1	2.5	%/V
Transfer function						
ILE	DC integral linearity error		–	–	±1	LSB
DLE	DC differential linearity error		–	–	±1/2	LSB
AILE	AC integral linearity error	note 6	–	–	±2	LSB
EB	effective bits	f_i = 4.43 MHz	–	7.1	–	bits
Timing (note 7; see Figs 3 to 6; f_{CLK} = 40 MHz)						
t_{dS}	sampling delay		–	–	2	ns
t_{HD}	output hold time		6	–	–	ns
t_{dLH}	output delay time	LOW-to-HIGH transition	–	8	10	ns
t_{dHL}	output delay time	HIGH-to-LOW transition	–	16	20	ns
t_{dZH}	3-state output delay times	enable-to-HIGH	–	19	25	ns
t_{dZL}	3-state output delay times	enable-to-LOW	–	16	20	ns
t_{dHZ}	3-state output delay times	disable-to-HIGH	–	14	20	ns
t_{dLZ}	3-state output delay times	disable-to-LOW	–	9	12	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes

1. The circuit has two clock inputs CLK and $\overline{CLK}$. There are four modes of operation:
   a) TTL (mode 1); $\overline{CLK}$ decoupled to DGND by a capacitor. CLK input is TTL threshold voltage of 1.5 V and sampling on the LOW-to-HIGH transition of the input clock signal.
   b) TTL (mode 2); CLK decoupled to DGND by a capacitor. $\overline{CLK}$ input is TTL threshold voltage of 1.5 V and sampling on the HIGH-to-LOW transition of the input clock signal.
   c) AC drive modes (modes 3 and 4); When driving the CLK input directly and with any AC signal of 0.5 V (peak-to-peak value) imposed on a DC level of 1.5 V, sampling takes place on the LOW-to-HIGH transition of the clock signal. When driving the $\overline{CLK}$ input with such a signal, sampling takes place on the HIGH-to-LOW transition.
   d) If one of the clock inputs is not driven, then it is recommended to decouple this input to DGND with a 100 nF capacitor.
2. In addition to a good layout of the digital and analog ground, it is recommended that the rise and fall times of the clock must not be less than 2 ns.
3. The –3 dB bandwidth is determined by the 3 dB reduction in the reconstructed output (full-scale signal at the input).
4. Low frequency ramp signal ($V_{VI(p-p)}$ = 1.8 V and f_i = 15 kHz) combined with a sinewave input voltage ($V_{VI(p-p)}$ = 0.5 V, f_i = 4.43 MHz) at the input.
5. Supply voltage ripple rejection:
   a) SVRR1; variation of the input voltage producing output code 127 for supply voltage variation of 1 V: $SVRR1 = 20 \log (\Delta V_{VI(127)} / \Delta V_{CCA})$
   b) SVRR2; relative variation of the full-scale range of analog input for a supply voltage variation of 1 V: $SVR2 = \{\Delta(V_{VI(0)} - V_{VI(255)}) / (V_{VI(0)} - V_{VI(255)})\} \div \Delta V_{CCA}$.
6. Full-scale sinewave (f_i = 4.4 MHz; f_{CLK}; $f_{\overline{CLK}}$ = 27 MHz).
7. Output data acquisition:
   a) Output data is available after the maximum delay of t_{dHL} and t_{dLH}.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1 Output coding and input voltage (referenced to AGND; typical values)

			BINARY OUTPUT BITS								TWO'S COMPLEMENT OUTPUT BITS							
STEP	$V_{VI(p-p)}$	O/UF	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Underflow	<1.55	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	–	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
254	.	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0
255	3.26	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
Overflow	>3.26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1

Table 2 Mode selection

$\overline{TC}$	$\overline{CE}$	D7-D0	O/UF
X[1]	1	high impedance	high impedance
0	0	active; two's complement	active
1	0	active; binary	active

Note

1. X = don't care.

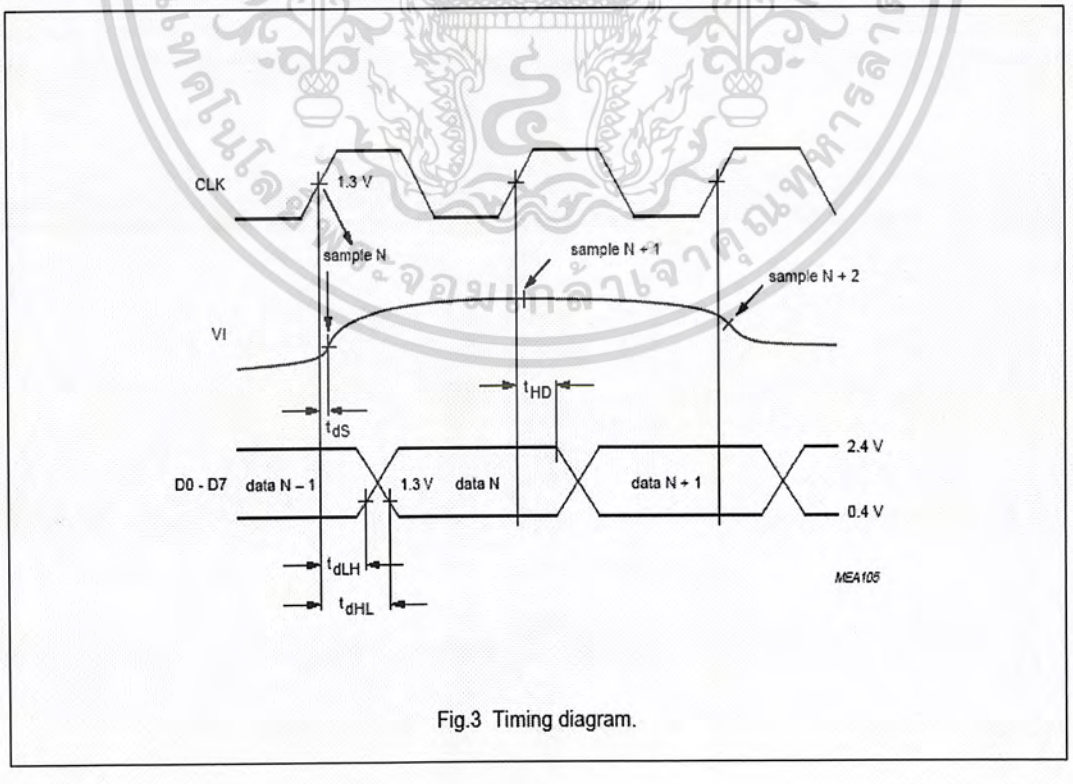


Fig.3 Timing diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

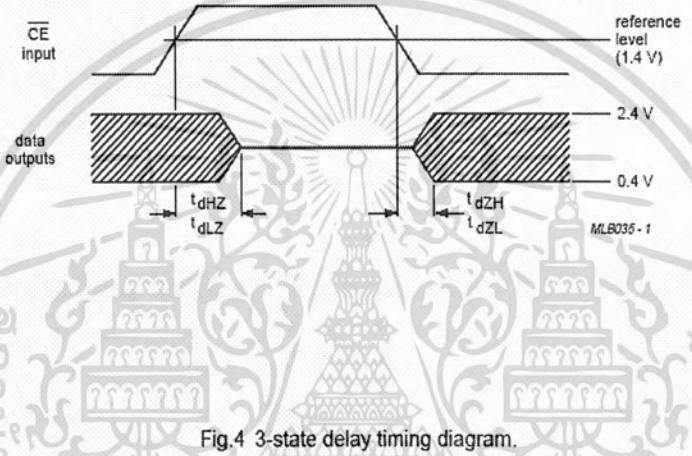


Fig.4 3-state delay timing diagram.

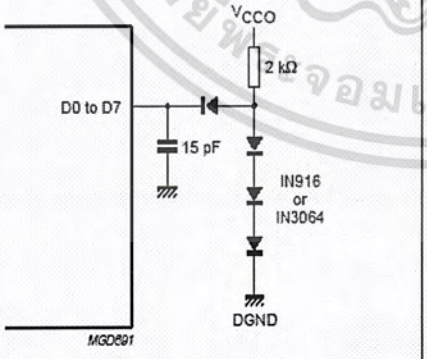


Fig.5 Load circuit for timing measurement; data outputs ($\overline{CE}$ = LOW).

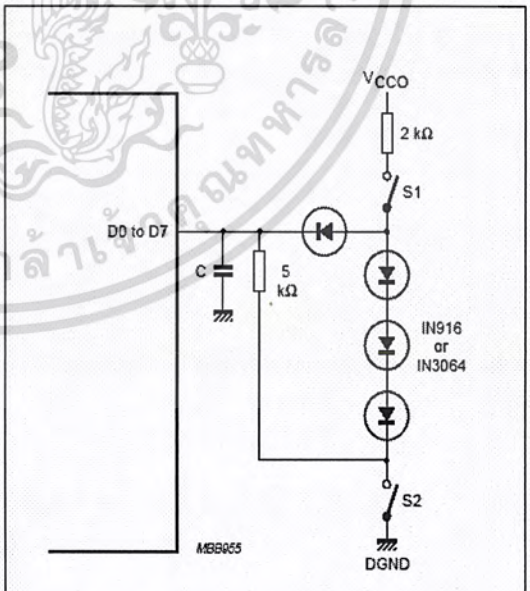


Fig.6 Load circuit for timing measurement; 3-state outputs ($\overline{CE}$: f_i = 1 MHz; V_{VI} = 3 V); see Table 3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3 Mode selection

TIMING MEASUREMENT	SWITCH S1	SWITCH S2	CAPACITOR
t_{dZH}	open	closed	15 pF
t_{dZL}	closed	open	15 pF
t_{dHZ}	closed	closed	5 pF
t_{dLZ}	closed	closed	5 pF

INTERNAL PIN CONFIGURATIONS

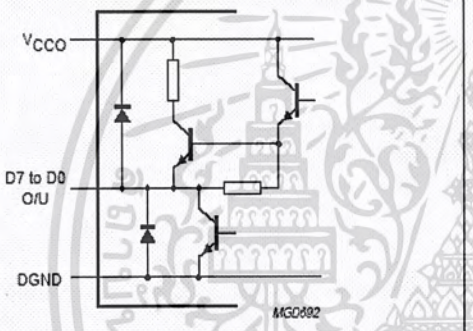


Fig.7 TTL data and overflow/underflow outputs.

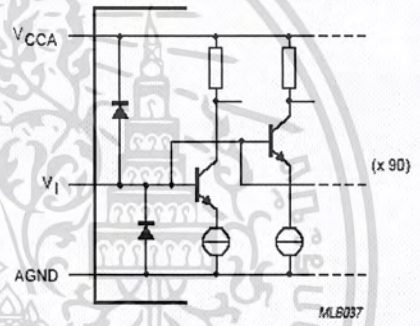


Fig.8 Analog inputs.

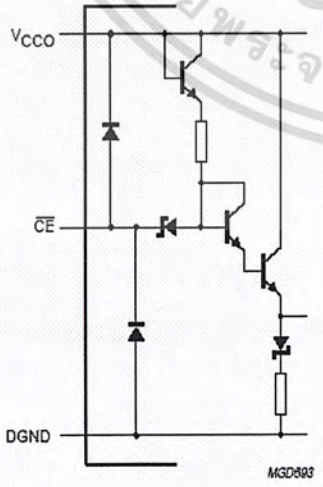


Fig.9 $\overline{CE}$ (3-state) input.

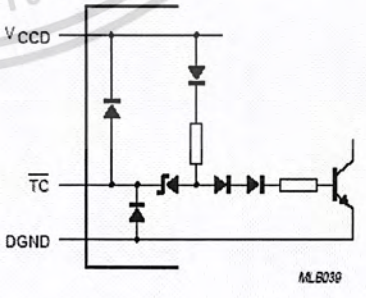


Fig.10 $\overline{TC}$ (two's complement) input.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

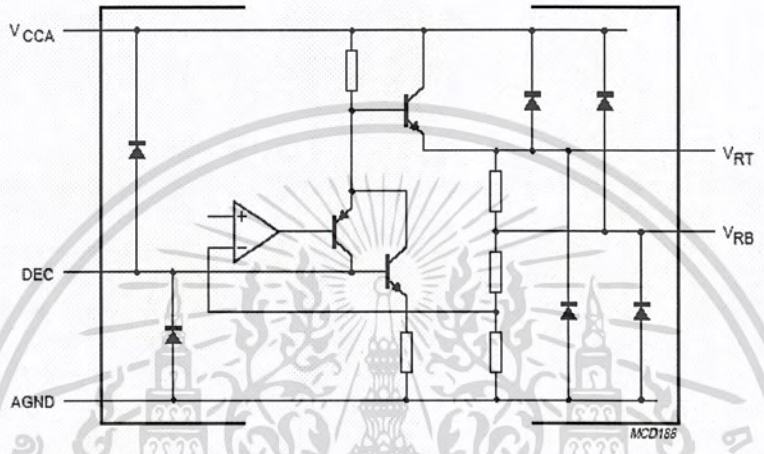


Fig.11 V_{RB}, V_{RT} and DEC.

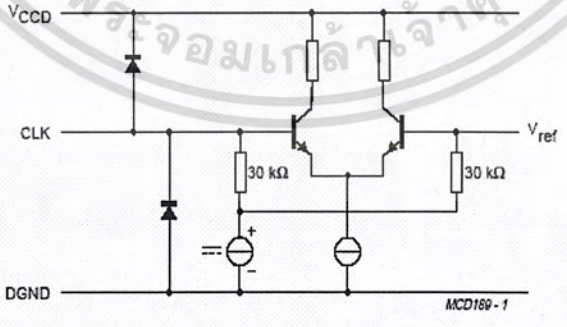
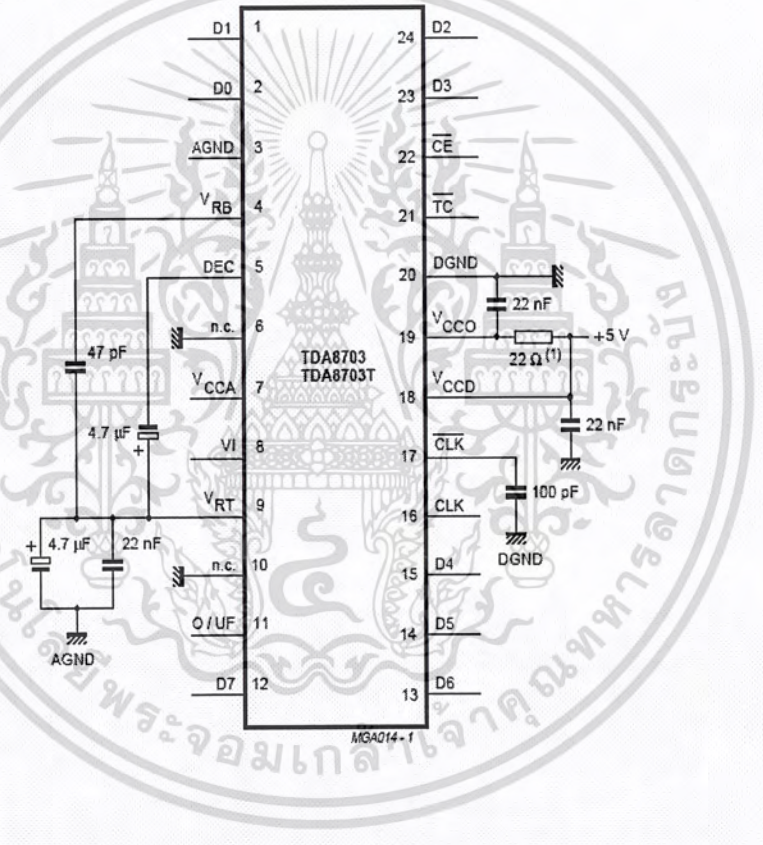


Fig.12 CLK and $\overline{CLK}$ inputs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

Additional application information will be supplied upon request (please quote number FTV/8901).



CLK should be decoupled to the DGND with a 100 nF capacitor, if a TTL signal is used on CLK (see Chapter "Characteristics", note 1).

CLK and $\overline{CLK}$ can be used in a differential mode (see Chapter "Characteristics", note 1).

V_{RB} and V_{RT} are decoupling pins for the internal reference ladder; do not draw current from these pins in order to achieve good linearity.

If it is required to use the TDA8703 in a parallel system configuration, the references (V_{RB} and V_{RT}) of each TDA8703 can be connected together. Code 0 will be identical and code 255 will remain in the 1 LSB variation for each TDA8703.

Analog and digital supplies should be separated and decoupled.

Pins 6 and 10 should be connected to AGND in order to prevent noise influence.

(1) It is recommended to decouple V_{CCO} through a 22 Ω resistor especially when the output data of the TDA8703 interfaces with a capacitive CMOS load device.

Fig.13 Application diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-สกุล นางสาวสุปราณี เส็มหมาด

วัน เดือน ปีเกิด 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2525

ภูมิลำเนา 269 หมู่ 1 ตำบลเขาชัยสน อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง 93130 โทรศัพท์ 0-1479-7416

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา โรงเรียนบ้านควนโคกยา จังหวัดพัทลุง

มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนตะโหมด จังหวัดพัทลุง

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา

ปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหรรม สจล.

คติพจน์ อุปสรรคคือสิ่งที่น่าตกใจก็ต่อเมื่อคุณไม่ได้มองไปที่จุดหมายปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-สกุล	นางสาวอุทุมพร พราหมสุทธิ
วัน เดือน ปีเกิด	13 มิถุนายน พ.ศ. 2526
ภูมิลำเนา	810/576 ซ. 9/4 หมู่ที่ 1 ถนนจรดลศึกษา ตำบลสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี 20180 โทรศัพท์ 0-1294-2737

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนเซนต์โยเซนระยอง
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสิงห์สมุทร จังหวัดชลบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	โรงเรียนเทคโนโลยีทีพีไอ จังหวัดระยอง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	โรงเรียนเทคโนโลยีทีพีไอ จังหวัดระยอง
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหรรม สจล.

คติพจน์ ชีวิตที่ผ่านไปอย่างรวดเร็วถ้าคุณไม่หยุดและมองไปรอบๆ ข้าง คุณอาจจะพลาดบางอย่างไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-สกุล	นายจรัส ประเสริฐศรี
วัน เดือน ปีเกิด	28 มิถุนายน พ.ศ. 2524
ภูมิลำเนา	64 หมู่ที่ 11 ตำบลอมฤต อำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13120 โทรศัพท์ 0-6053-7238

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดคงษาประชารัฐอุปถัมภ์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนผักไห่สุทธาประมุข จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหรรม สจล.

คติพจน์ ปัญหาทุกอย่างมีทางแก้ ท้อได้แต่ห้ามถอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-สกุล	นายนเรศ ดอกลำเจียก
วัน เดือน ปีเกิด	28 สิงหาคม พ.ศ. 2524
ภูมิลำเนา	8/1 หมู่ที่ 3 ตำบลน้ำเต้า อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13250 โทรศัพท์ 0-3530-8170

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนสีกุก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนราษฎร์บำรุงศิลป์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหรรม สจล.
คติพจน์	ความสำเร็จในชีวิตไม่ใช่การที่ไม่เคยพ่ายแพ้ หากแต่เพิ่มขึ้นทุกครั้งที่ล้มลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้