



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ ๑ เฟส

Single Phase Inverter Demonstrating Set

ชื่อนักศึกษา	1. นายจรงค์ศักดิ์	โปร่งใจ	รหัสประจำตัว	45035416
	2. นายสัญญา	ศรีวะรมย์	รหัสประจำตัว	45035441
	3. นายสิทธิรัตน์	นิตย์สุข	รหัสประจำตัว	45035443
	4. นางสาวสุกัญญา	อังกษร	รหัสประจำตัว	45035445

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์โกศล ตราชู

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์พงษ์เกียรติ เศรษฐพิทักษ์สกุล	
2. อาจารย์โกศล ตราชู	
3. อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์	
4. อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี	
5. อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2546 เวลา 11:00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(นายสุรสิทธิ์ ราษฎร์)



หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม



<BT4610332>

ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ ๑ เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษา วันที่ 13 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2546
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

SINGLE PHASE INVERTER DEMONSTRATING SET



นายจรงค์ศักดิ์
นายสัญญา
นายสิทธิรัตน์
นางสาวสุกัญญา
โปร่งใจ
ศรีวระมย์
นิตย์สุข
อังคษา

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 51062

วัน,เดือน,ปี 29 ส.ค. 2547

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2546
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

Single Phase Inverter Demonstrating Set

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานและส่วนประกอบของวงจรอินเวอร์เตอร์
2. เพื่อออกแบบ โครงสร้างและใบงานของชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์
3. เพื่อสร้างชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์และใบงานการทดลอง
4. เพื่อทดสอบการทำงานและหาค่าคุณภาพของชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์
5. เพื่อนำชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ไปใช้ในการทดลอง วิชาประลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1 (รหัสวิชา 342331) หลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานและส่วนประกอบของวงจรอินเวอร์เตอร์
2. มีความรู้เกี่ยวกับการออกแบบ โครงสร้างและใบงานของชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์
3. ได้ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์และใบงานการทดลองจำนวน 4 ใบงาน
4. ได้ทดสอบการทำงานและหาค่าคุณภาพของชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์
5. ได้ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ไปใช้ในการทดลองวิชาประลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1 (รหัสวิชา 342331) หลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส	
นักศึกษา	นายขจรศักดิ์	โปร่งใจ
	นายสัญญา	ศรีวระมย์
	นายสิทธิรัตน์	นิตย์สุข
	นางสาวสุกัญญา	อังกษร
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์โกศล	ตราชู
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ปิยะ	จิตรธรรมมาภิรมย์
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการควบคุมทางอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2546	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ที่สามารถปรับความถี่ได้ ตั้งแต่ 50 เฮิรตซ์ ถึง 500 เฮิรตซ์ ที่มีโหลดเป็น R L และ RL พร้อมใบงานประกอบการทดลอง สำหรับวงจรย่อยในส่วนต่างๆ จากการทดลองหาค่าคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่ามีความถี่ในระดับดี

II

Thesis Title	Single Phase Inverter Demonstrating Set
Students	Mr.Khajohnsak Prongjai Mr.Sanya Saivarom Mr.Sittirat Nitsuk Miss Sukanya Angkhasorn
Advisor	Mr.Koson Trachu
Co-Advisor	Mr.Piya Jittammapiom
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Industrial Instrument Technology
Academic Year	2003

ABSTRACT

This thesis presents a design and implementation of Single Phase Inverter Demonstrating Set. Which we can adjust range of frequency from 50 Hz to 500 Hz and loads are R, L and RL. Including the worksheet of Demonstrator set for some circuits. From test quality by the experts, the level is good.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ถูกลงไปด้วยดีเนื่องมาจากความกรุณาในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดจนให้โอกาสในการทำโครงการอย่างเต็มที่ ทั้งด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ เวลาและสถานที่จากอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน ขอขอบคุณ อาจารย์ โกศล ตราชู อาจารย์ อติศักดิ์ สุวรรณมา ที่คอยช่วยเหลือแนะนำ รวมทั้ง อาจารย์ อมรชัย ชัยชนะ ดร.ณรงค์ พิมสาร ดร.ฉันทนา โหมดมณี ที่ช่วยประเมินค่าคุณภาพของ ชุดทดลอง และสุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณ บิดา มารดาที่ให้กำเนิดและสนับสนุนทางด้านการศึกษา ด้วยดีตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย	2
1.6 เนื้อหาภายในปฏิญญาฉบับนี้	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 หลักการสร้างชุดทดลอง	4
2.3 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส	6
2.3.1 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบบริดจ์ครึ่งคลื่น	6
2.3.2 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบบริดจ์เต็ม	7
2.3.3 อินเวอร์เตอร์พุ่ม - พูล	22
2.3.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว	24
2.3.5 ผลที่เกิดขึ้นกับเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะมีการแบล็ก	26
2.3.6 แผนการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์	31
2.4 การสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลอง	35
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	37
3.1 กล่าวนำ	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.2	37
3.3	39
3.4	42
3.5	43
3.6	44
3.7	46
3.8	47
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	49
4.1 ผลการทดลองวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ เป็นกระแสไฟฟ้าสลับ 12 โวลต์	49
4.2 ผลการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์	49
4.3 ผลการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์	50
4.4 การทดลองกราฟคุณลักษณะ	51
4.4.1 กราฟคุณลักษณะของมอดูเลต	51
4.4.2 กราฟคุณลักษณะของโอจีบีที	51
4.5 ผลการทดลองการเกิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์	51
4.6 การทดลองหาค่าคุณภาพชุดทดลอง	52
4.6.1 วิธีการหาค่าคุณภาพ	53
4.6.2 ผลของการหาค่าคุณภาพ	54
บทที่ 5 บทสรุป	55
5.1 สรุป	55
5.2 ปัญหาที่พบ	55
5.2.1 ปัญหา	55
5.2.2 แนวทางการแก้ไข	55
5.3 แนวทางในการพัฒนา	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	58
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	60
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	68
ภาคผนวก ง ใบงาน	73
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	104
ภาคผนวก ฉ แบบประเมินหาค่าคุณภาพของชุดทดลอง	109
ภาคผนวก ช หนังสือเชิญผู้ทรงคุณวุฒิ	116
ภาคผนวก ซ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์ ประวัติผู้แต่ง	120



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรกำเนิดกราฟคุณลักษณะของไดโอด	69
ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์	69
ค.2 (ต่อ)รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์	70
ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของเฟทและไอจีบีที	70
ค.3 (ต่อ)รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของเฟทและไอจีบีที	71
ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์	71
ค.4 (ต่อ)รายการอุปกรณ์ของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์	72
ค.5 รายการอุปกรณ์ของวงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์	72



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนผังการทำงานวงจรอินเวอร์เตอร์	6
2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์บริดจ์แบบครึ่งคลื่น	8
2.3 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบบริดจ์เต็ม	8
2.4 การ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันแบบ 2 ขั้ว	10
2.5 อินเวอร์เตอร์กับการกรอง	11
2.6 กระแสทางด้านกระแสตรงของอินเวอร์เตอร์ที่มีการ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันแบบสองสภาวะขั้ว	13
2.7 แบบ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันแบบสภาวะขั้วเดียว	15
2.8 กระแสด้านดีซีในวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีการ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันแบบสภาวะขั้วเดียว	17
2.9 การควบคุมอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบบริดจ์เต็ม	18
2.9 (ต่อ) การควบคุมอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบบริดจ์เต็ม	19
2.10 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว	20
2.11 รีปเปิลในเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์	21
2.11 (ต่อ) รีปเปิลในเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์	22
2.12 อินเวอร์เตอร์พux - พุล	23
2.13 วงจรของอินเวอร์เตอร์แบบ PWM	27
2.14 ผลการแบลงก์ด้วยเวลา	28
2.14 (ต่อ) ผลการแบลงก์ด้วยเวลา	29
2.15 ผลของ T_d ที่มีต่อ ΔV_o	30
2.16 ผลของ T_d ที่กระทำกับเอาต์พุตไซน์ซอชด์	31
2.17 การกำจัดฮาร์มอนิกที่ 5 และที่ 7 ด้วยการโปรแกรม	33
2.18 การพิคัดความถี่อแกบ	34
2.19 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลอง	36
3.1 วงจรกำเนิดกราฟคุณลักษณะของไดโอด	38
3.2 วงจรกำเนิดกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์	41
3.3 วงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของเพทและไอจีบีที	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์	43
3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์	45
3.6 วงจรภาคขับกำลัง	46
3.7 ขั้นตอนการสร้างใบงานการทดลอง	48
4.1 ผลการทดลองแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ	49
4.2 ผลการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์	50
4.3 ผลการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์	50
4.4 กราฟคุณลักษณะมอสเฟต	51
4.5 กราฟคุณลักษณะของ ไอจีบีที	52
4.6 สัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์	52
ก.1 ภาพด้านหน้าของชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส	59
ก.2 ภาพด้านข้างของชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส	59
ข.1 วงจรกำเนิดคุณลักษณะของไดโอด	61
ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์กำเนิดกราฟคุณลักษณะของไดโอด	61
ข.3 วงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์	62
ข.4 วงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของเฟตและไอจีบีที	63
ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์แสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์	64
ข.6 แผ่นวงจรพิมพ์แสดงกราฟคุณลักษณะของเฟตและไอจีบีที	64
ข.7 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์	65
ข.8 แผ่นวงจรพิมพ์กำเนิดสัญญาณไซน์	65
ข.9 วงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์	66
ข.10 แผ่นวงจรพิมพ์กำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์	66
ข.11 วงจรภาคขับกำลัง	67
ข.12 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคขับกำลัง	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ วงจรอินเวอร์เตอร์ได้ถูกนำไปใช้งานในด้านต่างๆ อย่างแพร่หลายในด้านของงานอุตสาหกรรม เช่น ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ปรับความเร็วรอบได้ แหล่งจ่ายไฟสำรอง เต้าหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำ แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับที่มีอินพุตเป็นแบตเตอรี่หรือ เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น นอกจากนี้ในด้านการศึกษาในวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ต้องสอนในเรื่องของอินเวอร์เตอร์ และต้องใช้ชุดฝึกวงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อใช้ประกอบในการเรียนการสอน แต่เนื่องจากชุดฝึกที่นักศึกษาใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ ต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพงและมีอยู่จำนวนน้อย ส่งผลให้ชุดฝึกของวงจรอินเวอร์เตอร์ไม่เพียงพอต่อความต้องการของนักศึกษา นักศึกษาจึงได้ใช้ชุดทดลองกันไม่ทั่วถึงต้องสลับกันใช้ชุดฝึกวงจรอินเวอร์เตอร์นี้ ทำให้เสียเวลาในการทดลองเป็นอย่างมากและนักศึกษาไม่สามารถที่จะศึกษาใบงานได้อย่างครบถ้วน

ปัญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่องของวงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อนำไปจัดทำและประกอบเป็นชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับวงจรอินเวอร์เตอร์ให้ได้ศึกษากันอย่างครบถ้วน ซึ่งราคาก็จะถูกกว่าที่จะสั่งซื้อมาจากต่างประเทศและสามารถที่จะผลิตได้เป็นจำนวนมาก เพียงพอต่อความต้องการของนักศึกษา โดยนักศึกษาที่จะทำการทดลองก็จะได้ใช้ชุดทดลองกันอย่างทั่วถึงและสามารถนำทักษะและความรู้ที่ได้นำไปประกอบอาชีพซึ่งงานที่ได้ก็จะมีคุณภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานและส่วนประกอบของวงจรอินเวอร์เตอร์
2. เพื่อออกแบบโครงสร้างและใบงานของชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์
3. เพื่อสร้างชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์และใบงานการทดลองจำนวน 4 ใบงาน
4. เพื่อนำชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ ไปใช้ในการทดลองประกอบการเรียนการสอน ในวิชาประลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1 (รหัสวิชา 342331) หลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การใช้ชุดฝึกที่มีประสิทธิภาพสูง จะช่วยให้พัฒนาผู้ที่ศึกษาได้มีความรู้ที่ถูกต้องตามหลักทฤษฎีเกี่ยวกับเรื่องนั้นๆ ในการสร้างชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสก็เช่นเดียวกัน ซึ่งต้องการที่จะสร้างชุดทดลองที่มีประสิทธิภาพขึ้น เพื่อให้ผู้ที่ทดลองได้ทราบถึงหลักการของอินเวอร์เตอร์อย่างถูกต้อง เข้าใจง่าย เวลาที่ใช้ในการทดลองไม่มากเพราะการทดลองไม่ยุ่งยากและ การที่ได้สร้างชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ไว้ใช้ประกอบการศึกษานั้น ทำให้ไม่ต้องสั่งซื้อชุดทดลองมาจากต่างประเทศเป็นการประหยัดงบประมาณในการนำเข้า

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยเกี่ยวกับชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ได้แนวคิดมาจากการเรียนการสอน โดยการเรียนการสอนในส่วนของทฤษฎีนั้นจะมีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก ซึ่งนักศึกษาอาจจะไม่เข้าใจหรือเข้าใจยากแต่ถ้าหากได้เรียนควบคู่ไปกับการปฏิบัติทดลองจะทำให้นักศึกษาที่เรียนวิชานั้นๆ เข้าใจมากยิ่งขึ้น เพราะในการที่ได้เรียนปฏิบัติจะช่วยส่งเสริมการเรียนทางด้านทฤษฎีและในส่วน of ชุดทดลองก็เป็นอีกวิธีที่จะช่วยในเรื่องการเรียนการสอน เพราะชุดทดลองนั้นถือได้ว่าเป็นชุดฝึกจำลองที่ให้นักศึกษาได้ทำการปฏิบัติจริงหลังจากที่ได้เรียนทฤษฎีมาแล้วและถ้าหากได้สร้างชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ก็สามารถที่จะช่วยให้นักศึกษาที่เรียนวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้เข้าใจมากยิ่งขึ้นเกี่ยวกับวงจรอินเวอร์เตอร์

1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการวิจัยเกี่ยวกับชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ที่สามารถปรับความถี่ได้ตั้งแต่ 50 เฮิร์ตซ์ ถึง 500 เฮิร์ตซ์ โดยจะศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เบื้องต้น คือ ทรานซิสเตอร์ เฟท ไอจีบีที วงจรกำเนิดความถี่แบบ PWM หลักการของอินเวอร์เตอร์และผลกระทบของอินเวอร์เตอร์ที่มีต่อโหลด R L และ RL

1.6 เนื้อหาภายในปฏิญญาพันธ

เนื้อหาภายในปฏิญญาพันธฉบับนี้จะแบ่งออกได้เป็น 5 บท เพื่อสะดวกต่อการทำการศึกษา และทำความเข้าใจ ซึ่งในแต่ละบทจะประกอบไปด้วยเนื้อหาที่สำคัญดังนี้

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะโดยทั่วไปของปฏิญานิพนธ์อย่างกว้างๆ เพื่อให้ผู้ศึกษาได้ทราบถึงความสำคัญของโครงการ และส่วนประกอบของเนื้อหาสาระสำคัญที่อยู่ภายในปฏิญานิพนธ์นี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ประกอบด้วยทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการทำปฏิญานิพนธ์ ตลอดจนผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างชุดทดลอง อธิบายถึงหลักการทำงานต่างๆ ของวงจรในแต่ละส่วนที่นำมาใช้ในการสร้างโครงการ ประกอบไปด้วยการออกแบบวงจรในแต่ละส่วนและหลักการทำงานของวงจรอย่างละเอียด

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง จะกล่าวถึงการทดลองนำวงจรในแต่ละส่วนของโครงการที่ได้จัดทำขึ้นเรียบร้อยแล้ว มาทำการวัดผลในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียดเพื่อที่จะนำค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง ไปตรวจสอบเพื่ออ้างอิงกับทฤษฎีที่ได้ทำการออกแบบไว้และวิธีการหาค่าคุณภาพของโครงการพร้อมผลที่ได้

บทที่ 5 สรุป แนวทางการแก้ไขและการพัฒนาเป็นการสรุปผลและเสนอปัญหาที่เกิดขึ้น ตลอดจนแนวทางแก้ไข พร้อมกับเสนอแนวทางการพัฒนาของโครงการนี้

ในภาคผนวก ได้ให้รายละเอียดของรายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง โครงการและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้ รวมถึงใบงานการทดลองที่จะใช้ประกอบกับชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส วงจรและถายวงจรพิมพ์

นอกจากที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว ปฏิญานิพนธ์ชุดนี้ ยังได้จัดทำคู่มือประกอบการใช้งานชุดทดลองและแบบประเมินหาค่าคุณภาพของชุดทดลองด้วย

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

ในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับนั้นจะต้องใช้ตัวแปลงผันกลับหรือเครื่องผกผัน แต่โดยส่วนมากแล้วจะเรียกทับศัพท์ว่า “อินเวอร์เตอร์” (Inverter) ซึ่งเป็นชื่อเรียกเฉพาะตามหน้าที่การใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronic) ที่นำมาใช้ในการแปลงผันดังกล่าว จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง กลุ่มอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semi Conductor) ได้แก่ ไดโอดกำลัง (Power Diode) ทรานซิสเตอร์กำลัง (Power Transistor) เฟต (Fet) และไอซี (Integrated Circuit) ส่วนในกลุ่มที่สองจะเป็นกลุ่มของอุปกรณ์ไทรสเตอร์ (Thyristor) ซึ่งได้แก่ เอส ซี อาร์ ไทรแอก เอส ซี เอส และจี ที โอ ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้งสองกลุ่มนี้ต่างก็มีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน

หากผู้ที่สนใจต้องการศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น รวมไปถึงอินเวอร์เตอร์แล้วนั้น คงจะต้องศึกษากันอย่างละเอียด เพื่อที่จะทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทำงานต่างๆ และถ้าหากต้องการที่จะทำความเข้าใจได้ง่ายโดยไม่เสียเวลามากนัก คงต้องศึกษาไปควบคู่กับการที่ได้ลงมือปฏิบัติทดลอง ในปฏิญานพันธบัตรนี้ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ผู้ที่สนใจได้ทำการศึกษา และในส่วนของโครงการก็ได้จัดสร้างชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ขึ้น จึงสามารถที่จะศึกษาค้นคว้าไปได้

2.2 หลักการสร้างชุดทดลอง

แนวทางในการปรับปรุงขบวนการเรียนการสอน สาขาช่างอุตสาหกรรม คือ การมีสื่อการเรียนการสอน ที่สอดคล้องกับหลักสูตรและผู้สอนได้นำไปใช้อย่างถูกวิธี จะเป็นผลให้คุณภาพการสอนดีขึ้น ในการผลิตสื่อเพื่อการสอน โดยเฉพาะวิชาการทดลองปฏิบัติการ นอกจากจะพิจารณาถึงระบบและวิธีสอนที่ต้องใช้แล้วยังมีหลักอีก 3 ประการคือ (พุทธอง โพรปีญา. 2540 : 15)

- 1) เทคนิคการผลิต
- 2) ความคิดสร้างสรรค์ในการผลิต
- 3) การออกแบบให้สอดคล้องกับขบวนการสอนจุดมุ่งหมายและลักษณะที่จะนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแนวทางในการออกแบบสื่อการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพนั้นประกอบด้วย
ขบวนการ 5 ขั้นตอน คือ

1) กำหนดขอบข่ายเนื้อหาวิชา ด้วยองค์ประกอบ 4 ประการ ที่ควบคู่กันไป คือ การศึกษาเชิงวิเคราะห์เนื้อหาวิชา การศึกษาเปรียบเทียบหลักสูตรการสำรวจโรงงาน และการสำรวจสถานศึกษา

2) การกำหนดเนื้อหาและวัตถุประสงค์จากขอบข่ายเนื้อหาที่ได้นำมาศึกษา เพื่อที่จะให้สามารถจำแนกเป็นส่วนต่างๆ เท่าที่จำเป็น กล่าวคือ ให้รู้ถึงจุดหมายและหน้าที่ของชุดทดลองว่าทำอย่างไรจึงสามารถทำงานได้ตามต้องการและสามารถตอบสนองจุดมุ่งหมายของเนื้อหาวิชาได้อย่างครบถ้วน

3) การออกแบบและการสร้างชุดสื่อการเรียนการสอน วัตถุประสงค์ของชุดทดลองที่ได้ผ่านการวิเคราะห์และตรวจสอบแล้ว เป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์การสอน หรือชุดทดลองที่ทำการออกแบบนี้ สามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์การสอนของครูและอุปกรณ์ในการที่จะทำกิจกรรมของนักศึกษา ชุดทดลองจึงมีความสำคัญต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาและความสามารถทำงานในด้านช่างอุตสาหกรรม เพื่อที่จะสามารถปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดี การออกแบบและสร้างสื่อประเภทชุดทดลองนั้น จำเป็นต้องนำเอาหลักการด้านการออกแบบ ทางด้านวิศวกรรมเชิงปฏิบัติมาประยุกต์กับงานที่ออกแบบสร้าง

4) การทดลองใช้ชุดสื่อการเรียนการสอน จะถูกนำไปใช้ในงานสถานศึกษา โดยผู้วิจัยเพื่อที่จะค้นหาข้อบกพร่องต่างๆ เช่น ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความยาก ความซับซ้อน ความทนทาน ความสะดวกในการใช้งาน และการลอกเลียนแบบขึ้นมาทำใหม่

5) การปรับปรุงข้อมูลและประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองข้างต้นแล้ว จะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงชุดสื่อการเรียนการสอน ให้มีประสิทธิภาพจนเป็นที่ยอมรับได้

วิธีการสร้างชุดทดลองและใบงานการทดลอง มีลำดับขั้นตอนการสร้างดังต่อไปนี้

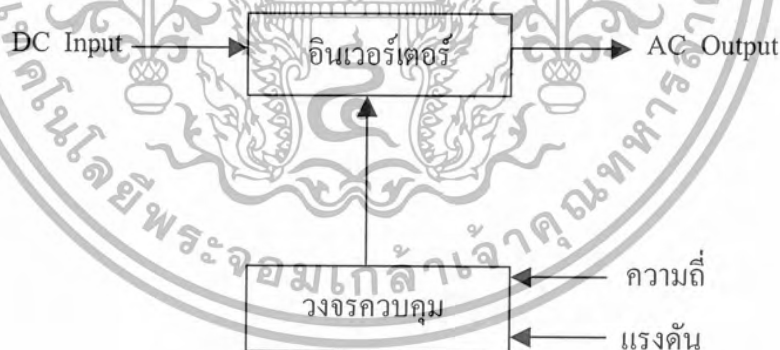
- 1) ขึ้นเตรียมเอกสารและข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
- 2) ขึ้นเตรียมการหาบุคลากร ที่จะช่วยในการสร้างชุดทดลองและใบงานการทดลอง ซึ่งจะประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญ หรือผู้ชำนาญการในสาขาวิชานั้น
- 3) ขึ้นดำเนินการประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้
 - 3.1) เลือกเนื้อหาวิชา
 - 3.2) กำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
 - 3.3) จัดลำดับเนื้อหา
 - 3.4) การวางแผนวิธีการสอน สื่อที่ใช้ กิจกรรมการเรียนและรูปแบบการประเมินผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.5) การสร้างชุดทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ
 - 1) การสร้างชุดทดลอง เป็นตัวเครื่องที่จะนำไปทดลอง การสร้างโดยทั่วไปจะใช้ อุปกรณ์ที่หาซื้อง่าย
 - 2) การสร้างใบงานการทดลอง จะต้องมียรายละเอียด ทั้งภาคทฤษฎี บรรยาย ประกอบรูป คำตอบ สรุป และแบบฝึกหัดท้ายการทดลอง
- 3.6) นำชุดทดลองและใบงานการทดลองไปทดลองใช้
- 3.7) นำกลับมาปรับปรุงแก้ไข (ถ้ามี)
- 3.8) ผลิตชุดทดลองและใบงานการทดลองที่สมบูรณ์

2.3 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

อินเวอร์เตอร์ เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟกระแสตรง (DC Voltage) ให้เป็นแรงดันไฟกระแสสลับ (AC Voltage) ซึ่งสามารถที่จะควบคุมความถี่ (Frequency) และแรงดันของไฟกระแสสลับทางเอาต์พุต (AC Output) ได้ ดังแผนผังการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แสดงรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนผังการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์

2.3.1 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบบริดจ์ครึ่งคลื่น

ในรูปที่ 2.2 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ครึ่งคลื่น โดยที่มีตัวเก็บประจุด้วยค่าเท่ากัน 2 ตัว ต่ออนุกรมกันแล้วคร่อมอยู่กับอินพุตกระแสตรง V_d ดังนั้น แรงดันที่คร่อมตัวเก็บประจุใน

แต่ละตัวจะเท่ากับ $V_d / 2$ และจุดที่ตัวเก็บประจุทั้งสองตัวต่อกัน มีชื่อเรียกว่า ความต่างศักย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Midpotential) สำหรับค่าความจุไฟฟ้าของวงจรนี้ต้องมีค่ามากพอที่จะทำให้แรงดันที่จุด O เมื่อเทียบกับกับจุด N จะได้ค่าคงที่ เพราะฉะนั้น จึงมีส่วนที่คล้ายกับวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 ขา และจะได้ $V_o = V_{Ao}$

การสวิตช์ด้วย PWM มีข้อสังเกต คือ ถ้าไม่คำนึงถึงสถานะการสวิตช์ จะเห็นว่า กระแสระหว่างตัวเก็บประจุ 2 ตัว คือ C_1 และ C_2 (ซึ่งมีค่ามาก ๆ) จะแบ่งกันอย่างเท่า ๆ กัน โดยพิจารณาดังนี้ คือ เมื่อต้องการให้ Q_1 อยู่ในสถานะนำกระแส โดย Q_1 หรือ D_1 จะนำกระแสได้เพียงตัวเดียวเท่านั้นและการนำจะขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสเอาต์พุต i_o และได้กระแส i_o แยกไหลระหว่างตัวเก็บประจุทั้งสองด้วยค่าเท่า ๆ กัน ในทำนองเดียวกัน เมื่อต้องการให้ Q_2 ได้นำกระแสบ้าง Q_2 หรือ D_2 จะนำกระแสได้เพียงตัวเดียว เช่นกัน และการนำขึ้นอยู่กับทิศทางกระแส i_o และ i_o แยกไหลระหว่างเก็บประจุทั้งสองอย่างเท่า ๆ กัน เพราะฉะนั้น ในส่วนการไหลของกระแส i_o ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ได้ถูกต่อกันอย่างขนาน โดยมีจุด O เป็นจุดรวมที่ถาวรและทั้งหมดนี้ คือเหตุผลในการเรียกจุด O ดังรูปที่ 2.2 เป็นค้ำยกกลาง

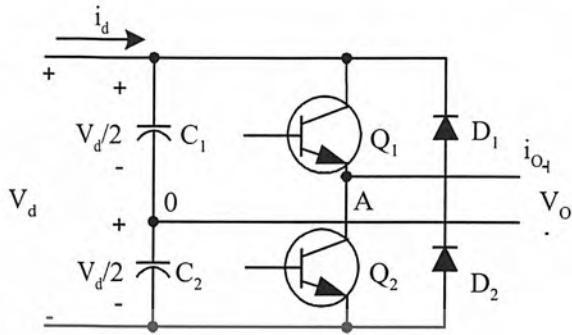
แรงดันและกระแสค้ำยกของอุปกรณ์ที่ใช้สวิตช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์บริดจ์ครึ่งคลื่นจะเท่ากับ

$$V_T = V_d \quad (2.1)$$

$$i_T = i_{o,peak} \quad (2.2)$$

2.3.2 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบบริดจ์เต็ม

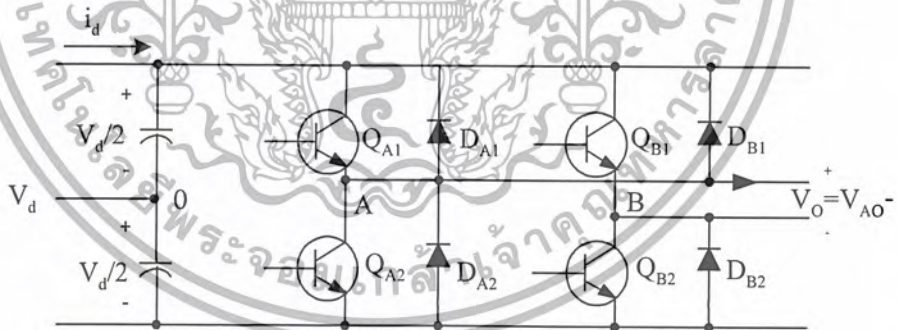
วงจรอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบบริดจ์เต็มตามรูปที่ 2.3 ประกอบขึ้นด้วย อินเวอร์เตอร์แบบ 1 ขา จำนวน 2 ชุด วัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถใช้งานกับพิกัดกำลังสูงๆ ได้ดี เมื่อแรงดันของอินพุต กระแสตรงค่าเดียวกัน จะเห็นว่า แรงดันเอาต์พุตสูงสุดของวงจรบริดจ์เต็ม จะได้ค่าเป็นสองเท่าของอินเวอร์เตอร์บริดจ์ครึ่ง ดังนั้น ขณะใช้งานด้วยกำลังเท่ากันกระแสเอาต์พุต ซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับกระแสการสวิตช์ จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ครึ่ง ซึ่งถือได้ว่าเป็นข้อดีของวงจรอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบบริดจ์เต็ม



รูปที่ 2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์บริดจ์แบบครึ่งคลื่น

1) แบบ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันสองสภาพชั่ว

แผนการสวิตช์ของแบบ PWM ได้อธิบายแล้วในวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริดจ์เต็ม โดยสวิตช์คู่ที่ทะแยงและตรงกันข้ามกัน (ซึ่งได้แก่ Q_{A1} กับ Q_{B2} และ Q_{A2} กับ Q_{B1}) ของวงจรแปลงผันดังกล่าว คือ ในสวิตช์คู่ที่ 1 และ 2 ตามลำดับของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็มและรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตที่ขา A ด้วยแผนการสวิตช์ PWM นี้ จะเหมือนกับเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ 1 ขา



รูปที่ 2.3 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบบริดจ์เต็ม

โดยการเกิดของแรงดันเอาต์พุตนั้น เกิดขึ้นได้ด้วยวิธีเดียวกันคือการเปรียบเทียบแรงดัน $V_{control}$ กับ V_{tri} ดังรูปที่ 2.4 (ก) แต่สำหรับเอาต์พุตที่ขา B ของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะได้ค่าเป็นลบเมื่อเทียบกับเอาต์พุตขา A ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังนี้ คือเมื่อสวิตช์ Q_{A1} ต่่วงจร V_{Ao} จะได้ค่าเท่ากับ $+V_d / 2$ และเมื่อสวิตช์ Q_{B2} ต่่วงจรบ้าง $V_{Bo} = -V_d / 2$ ดังนั้น

$$V_{Bo}(t) = -V_{Ao}(t) \quad (2.3)$$

และ

$$V_o(t) = V_{Ao} - V_{Bo}(t) = 2V_{Ao}(t) \quad (2.4)$$

รูปคลื่นแรงดัน V_o จะได้ดังรูปที่ 2.4(ข) และในทางปฏิบัติแบบ PWM ด้วยวิธีนี้สามารถนำไปใช้งานกับวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 ขา ได้ดี เพราะฉะนั้น แรงดันเอาต์พุตค่ายอดขณะประกอบขึ้นเป็นความถี่หลักมูล หรือ (\bar{V}_{o1}) สามารถคำนวณได้ด้วยการนำสมการมาประกอบพิจารณาด้วยกัน จะได้

$$\bar{V}_{o1} = m_a V_d \quad (m_a \leq 1.0) \quad (2.5)$$

และ

$$V_d < \bar{V}_{o1} < \frac{4V_d}{\pi} \quad (m_a > 1.0) \quad (2.6)$$

ข้อสังเกตจะเห็นได้ว่าแรงดัน V_o ในรูปที่ 2.4(ข) ได้ทำการสวิตช์ในช่วงของ $-V_d$ กับ $+V_d$ นั่นคือ เหตุผลที่ว่าทำไมการสวิตช์แบบนี้ จึงเรียกว่าการ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันแบบสองสภาพขั้วและสำหรับระดับแรงดันของฮาร์มอนิกสามารถคำนวณได้ ดังต่อไปนี้

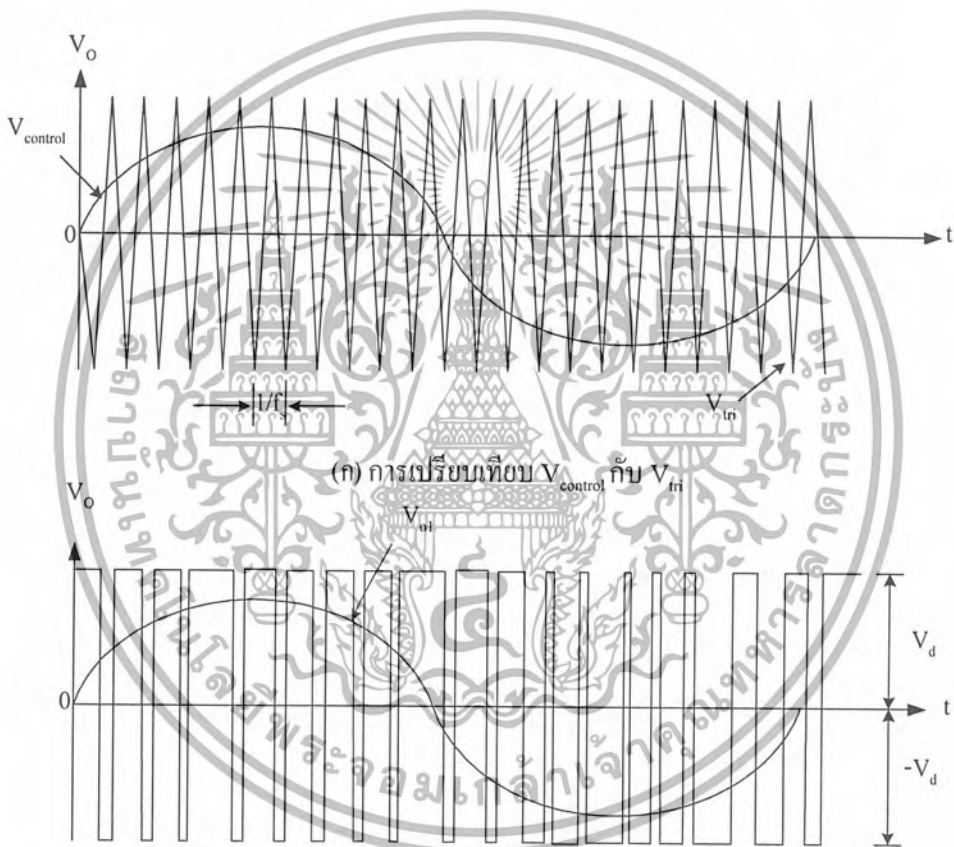
ฮาร์มอนิกในแรงดัน V_o สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$(V_o)_h = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{2V_d}{2} \frac{(\bar{V}_{Ao})_h}{V_d/2} = 212.3 \frac{(\bar{V}_{Ao})_h}{V_d/2} \quad (2.7)$$

และจะได้แรงดันอาร์เอ็มเอสที่ฮาร์มอนิก h ใดๆ ดังต่อไปนี้

ความถี่หลักมูล

$$\begin{aligned} (V_o)_{1} &= 212.13 \times 0.800 = 169.70 \text{ ที่ } 47 \text{ เฮิรตซ์} \\ (V_o)_{37} &= 212.13 \times 0.220 = 46.67 \text{ ที่ } 1739 \text{ เฮิรตซ์} \\ (V_o)_{39} &= 212.13 \times 0.818 = 173.52 \text{ ที่ } 1833 \text{ เฮิรตซ์} \\ (V_o)_{41} &= 212.13 \times 0.220 = 46.67 \text{ ที่ } 1927 \text{ เฮิรตซ์} \\ (V_o)_{77} &= 212.13 \times 0.314 = 66.60 \text{ ที่ } 6319 \text{ เฮิรตซ์} \\ (V_o)_{79} &= 212.13 \times 0.314 = 66.60 \text{ ที่ } 3713 \text{ เฮิรตซ์} \end{aligned}$$



(ข) รูปคลื่นแรงดัน V_o

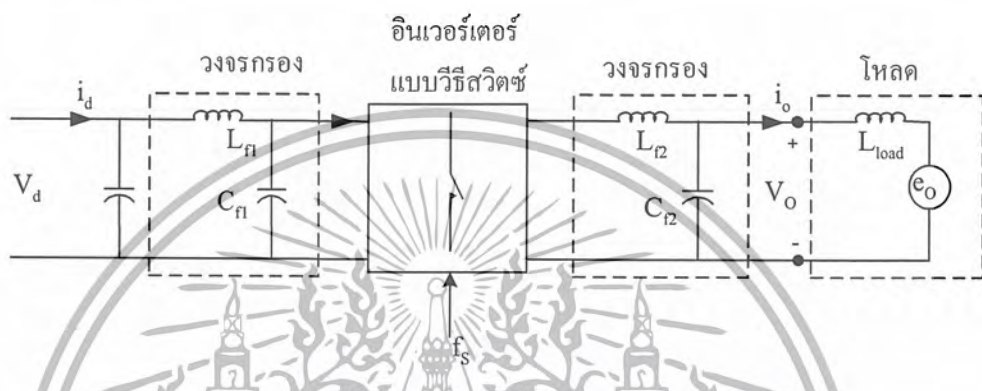
รูปที่ 2.4 การ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันแบบ 2 ขั้ว

กระแส i_d เป็นการพิจารณากระแส i_d ด้านกระแสตรงที่ได้จากแบบ PWM ด้วยแผนการสวิตช์แรงดันแบบสองสภาวะขั้ว

เพื่อง่ายต่อการพิจารณา จึงสมมติว่าอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบขึ้นเป็นวงจรกรองได้ใช้ L-C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าสูงมากๆ จนกระทั่งใกล้ค่าอนันต์และด้วยเหตุผลที่ต้องการการกรองแรงดัน V_o และ i_o ที่ได้จากการสวิตช์ด้วยความถี่สูงๆ ดังนั้น L และ C ทั้งทางด้านกระแสตรงและกระแสสลับควรจะมีค่าเกือบศูนย์ ผลที่ตามมา ทำให้พลังงานการสูญเสียในวงจรกรองมีค่าน้อยมาก จึงไม่ต้องนำมาพิจารณา สุดท้าย ทำให้วงจรอินเวอร์เตอร์ไม่มีพลังงานการสูญเสียในอุปกรณ์และได้กำลังอินพุตใดๆ เท่ากับเอาต์พุต



รูปที่ 2.5 อินเวอร์เตอร์กับวงจรกรอง

สมมติแรงดัน V_o ตามรูปที่ 2.5 เป็นรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์ที่มีความเร็วเชิงมุมของความถี่หลักมูลเท่ากับ ω_1 เพราะฉะนั้น

$$V_{o1} = V_o = \sqrt{2} V_o \sin \omega_1 t \quad (2.8)$$

ถ้า e_o เป็นแรงดันโหลดที่ได้แสดงในรูปที่ 2.5 และเกิดเป็นรูปคลื่นไซน์ด้วยความเร็วเชิงมุม ω_1 ดังนั้น กระแสเอาต์พุตที่เกิดเป็นรูปคลื่นไซน์ และถ้าหลัง V_o ด้วยเมื่อโหลดนั้นเป็นตัวเหนี่ยวนำ เช่น มอเตอร์กระแสสลับ เป็นต้น เพราะฉะนั้นจะได้สมการ

$$I_o = \sqrt{2} I_o \sin(\omega_1 - \phi) \quad (2.9)$$

เมื่อ ϕ แทน มุมต่างเฟสของ i_o ถ้าหลัง V_o

วงจรกรอง L-C ด้านกระแสตรง จะกรองความถี่สูง และความถี่ดังกล่าว ได้แก่ ความถี่ของการสวิตช์ที่ประกอบขึ้นเป็น i_d โดยมี i_d^* เป็นกระแสตรงที่ค่าความถี่ต่ำ

ถ้าสมมติพลังงานเก็บสะสมในตัว L-C มีค่าเป็นศูนย์ เพราะฉะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_d i_d^*(t) = V_o(t) i_o(t) = \sqrt{2} V_o \sin \omega_1 t \times \sqrt{2} I_o \sin(\omega_1 t - \phi) \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} i_d^*(t) &= \frac{V_o I_o}{V_d} \cos \phi - \frac{V_o I_o}{V_d} \cos(2\omega_1 t - \phi) \\ &= i_d + i_{d2} \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$= I_d - (\sqrt{2}) I_{d2} \cos(2\omega_1 t - \phi) \quad (2.12)$$

ซึ่ง

$$I_d = \frac{V_o I_o}{V_d} \cos \phi \quad (2.13)$$

และ

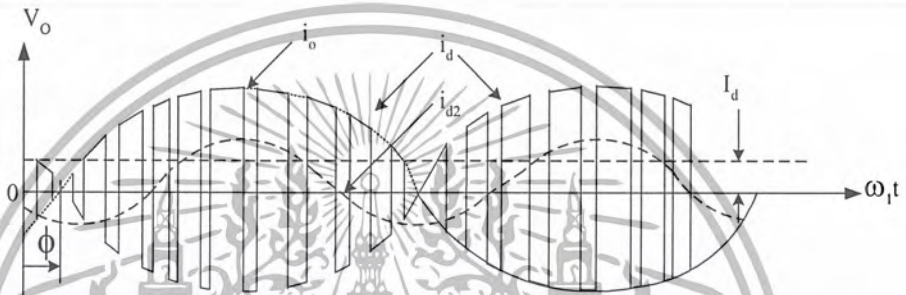
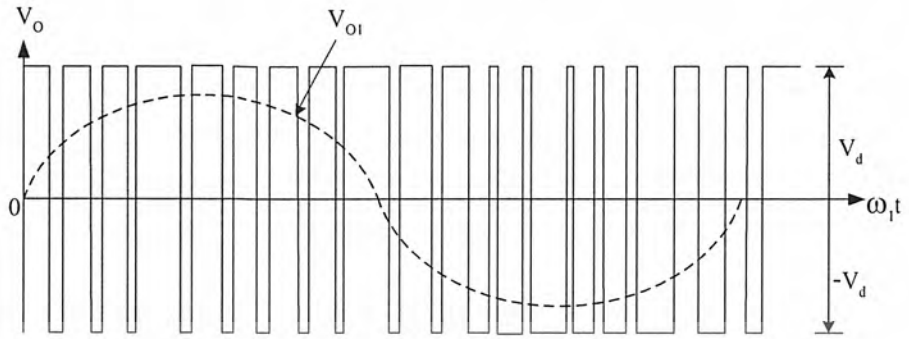
$$I_{d2} = \frac{V_o I_o}{\sqrt{2} V_d} \quad (2.14)$$

จาก i_d^* ในสมการที่ 2.12 จะเห็นว่าประกอบขึ้นด้วยกระแสดีซี I_d กับ i_{d2} โดย I_d คือ กระแสที่ทำให้เกิดกำลังและถ่ายโอนจากด้านกระแสตรงไปยังด้านกระแสสลับและความถี่ของกระแสค่านี้ ขึ้นอยู่กับการสวิตช์ของวงจรมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.6 i_{d2} ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ i_d^* เช่นกัน แต่ถ้าวัดการจะประกอบขึ้นเป็นรูปคลื่นไซน์ชอยด์ด้วยความถี่เป็นสองเท่าของความถี่หลักมูล

ในทางปฏิบัติแรงดันกระแสตรงได้เคยสมมติว่ามีค่าคงที่ แต่เมื่อได้นำไปใช้งานกับวงจรมอเตอร์เพื่อเป็นอินพุตผลจะไม่เป็นเช่นนั้น เพราะแรงดันกระแสตรงนี้ได้รับจากการเรียงกระแสของแรงดันสาย ดังนั้น ตัวเก็บประจุที่ใช้ต่อคร่อมกับขั้วเอาต์พุตของวงจรมอเตอร์เรียงกระแส เพื่อให้ได้ไฟกระแสตรงที่เรียบและคงค่าจริงๆ ค่าความจุไฟฟ้าจะต้องมีค่าสูงมากและระดับริปเปิลในแรงดันตัวเก็บประจุ ซึ่งเป็นอินพุตของอินเวอร์เตอร์ จะมีค่าขึ้นอยู่กับเหตุผล 2 ข้อ ที่จะได้กล่าวดังต่อไปนี้ คือ

- 1) วิธีการเรียงกระแสของแรงดันสาย จึงได้กระแสตรงที่ไม่บริสุทธิ์และแตกต่างกัน
- 2) กระแสที่ดึงจากด้านกระแสตรงโดยอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวไม่มีค่าคงที่เสมอ แต่มีแรงดันฮาร์มอนิกที่ 2 (ของความถี่หลักมูลที่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์) และฮาร์มอนิกที่จะได้เป็นผลทำให้เกิดแรงดันริปเปิลขึ้นในตัวเก็บประจุ ถึงแม้ระดับริปเปิลของแรงดันมีค่าขึ้นอยู่กับความถี่ของการสวิตช์ แต่ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องนำมาพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 กระแสทางต้านกระแสตรงของอินเวอร์เตอร์ที่มีการ PWM ด้วยสวิตช์แรงดันแบบสองสถานะ

2) แบบ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันแบบสถานะขั้วเดียว

สวิตช์ของแบบ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันแบบสถานะขั้วเดียวของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็ม 2 ขา (ในรูปที่ 2.3) ได้ถูกออกแบบให้สวิตช์ทำงานไม่พร้อมกัน โดยที่สัญญาณควบคุมของขา A ต้องแยกกับสัญญาณควบคุมของขา B ด้วยรูปแบบดังนี้ ก็คือสัญญาณในการควบคุมของขา A ได้รับจากการเปรียบเทียบแรงดันของ V_{iri} กับ $V_{control}$ และขา B ได้รับการเปรียบเทียบจากแรงดัน V_{iri} กับ $V_{control}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (ก) ซึ่ง $V_{control}$ ได้นำเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยมแล้ว เป็นผลทำให้ได้สัญญาณลจิกไปควบคุมการสวิตช์ของขา A จะได้ผลตามสมการข้างล่างนี้

$$V_{control} > V_{iri} : Q_{A1} \text{ นำกระแสได้ } V_{AN} = V_d \tag{2.15}$$

และ

$$V_{control} < V_{iri} : Q_{A2} \text{ นำกระแสได้ } V_{AN} = 0 \tag{2.15}$$

ในส่วนของแรงดันเอาต์พุตที่ขา A เมื่อเทียบกับบัส N แล้วจะได้ตามรูปที่ 2.7 (ข) และสำหรับสัญญาณลอจิกที่ใช้ควบคุมสวิตช์ของขา B จะได้จากการเปรียบเทียบของ $-V_{control}$ กับรูปคลื่นสามเหลี่ยมโดยจะได้ตามสมการดังนี้

$$(-V_{control}) > V_{tri} : Q_{B1} \text{ นำกระแสและได้ } V_{BN} = V_d \quad (2.16)$$

และ

$$(-V_{control}) < V_{tri} : Q_{B2} \text{ นำกระแสและได้ } V_{BN} = 0 \quad (2.16)$$

เนื่องจากไดโอดป้อนกลับได้ต่อขนานกับสวิตช์แบบสลับขั้ว (Anti-Parallel) ดังนั้น แรงดันที่ได้นับในสมการที่ 2.15 และ 2.16 ไม่ขึ้นกับทิศทางของกระแสเอาต์พุต i_o

$$1. Q_{A1}, Q_{B2} \text{ นำกระแส : } V_{AN} = V_d, V_{BN} = 0 ; \text{ ได้ } V_o = V_d \quad (2.17)$$

$$2. Q_{A2}, Q_{B1} \text{ นำกระแส : } V_{AN} = 0, V_{BN} = V_d ; \text{ ได้ } V_o = V_d \quad (2.17)$$

$$3. Q_{A1}, Q_{B1} \text{ นำกระแส : } V_{AN} = V_d, V_{BN} = V_d ; \text{ ได้ } V_o = 0 \quad (2.17)$$

$$4. Q_{A2}, Q_{B2} \text{ นำกระแส : } V_{AN} = 0, V_{BN} = 0 ; \text{ ได้ } V_o = 0 \quad (2.17)$$

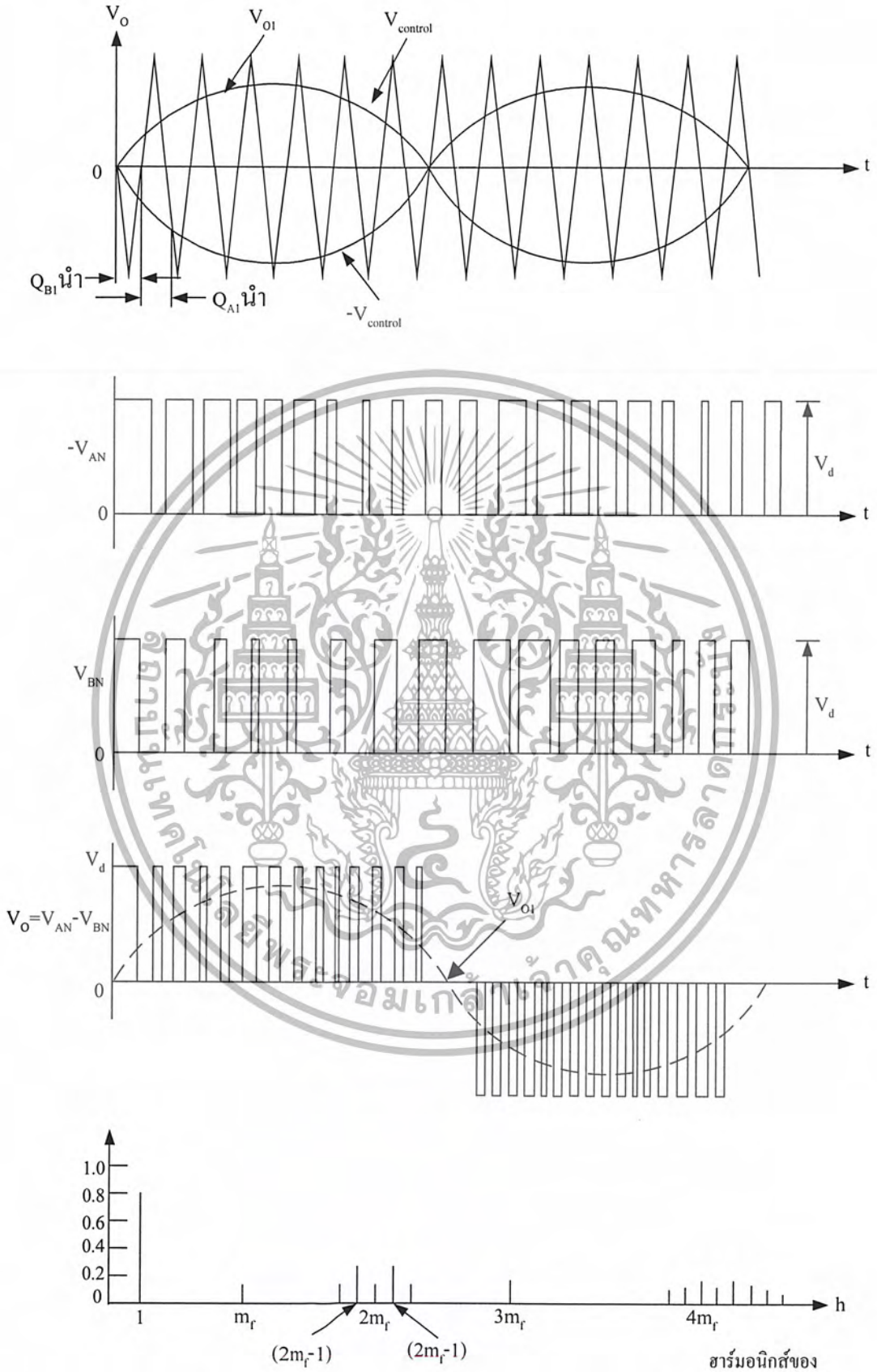
ถ้าสวิตช์คู่บนนำกระแสด้วยกันทั้งคู่ จะเห็นว่า ได้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับศูนย์ โดยกระแสเอาต์พุตที่ไหลอยู่ในวง (Loop) ที่ผ่าน Q_{A1} กับ D_{B1} หรือ D_{A2} กับ Q_{B1} จะขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแส i_o ในระหว่างเวลานี้จะได้กระแส i_d เท่ากับ 0 และในทำนองเดียวกันนี้ ถ้าสวิตช์ในคู่ล่างคือ Q_{A2} กับ Q_{B2} สามารถที่จะนำกระแสด้วยกันทั้งคู่แล้วก็จะได้ผลลัพธ์เหมือนกันกับคู่บนทุกประการ

ในขณะที่สวิตช์ ระดับแรงดันได้มีการเปลี่ยนแปลงค่าระหว่าง 0 กับ V_d หรือ ระหว่าง 0 กับ $-V_d$ ดังนั้น จึงเรียกแผนการสวิตช์แบบนี้ว่า แบบ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันแบบสภาวะขั้วเดียว (Unipolar) ที่ไม่เหมือนกับแบบ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันแบบสองสภาวะขั้ว (Bipolar) (ได้สวิตช์ระหว่าง $+V_d$ กับ $-V_d$) ดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น ด้วยแผนการสวิตช์แบบนี้ จึงทำให้ความถี่การสวิตช์ของฮาร์มอนิกเอาต์พุตมีค่าเป็นสองเท่า เมื่อเทียบกับแผนการสวิตช์แรงดันสองสภาวะขั้ว ดังนั้น การทำงานจึงมีประสิทธิภาพสูงเพราะอย่างน้อยที่สุดผลประโยชน์ที่ได้รับ คือ ขณะสวิตช์ระดับของแรงดันเอาต์พุตได้สวิตช์ถึง $2v_d$

รูปคลื่นตามรูปที่ 2.7 ได้แสดงขณะสวิตช์รวมทั้งหมด 4 สถานะ และได้แรงดันเอาต์พุต

ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แบบ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันแบบสภาพชั่วเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสวิตช์ เพื่อทำให้ความถี่เอาต์พุตมีค่าเป็นสองเท่า ข้อดีคือ ได้ทำให้แนวสเปกตรัม (Spectrum) ที่ฮาร์มอนิกของรูปคลื่นเอาต์พุตในแถบข้าง (Sideband) ได้เกิดขึ้นเป็นค่าของความถี่สองเท่า ในขณะที่ระดับแรงดันมีค่าเดียวกัน (ในวงจรถูกมอดูเลต) โดยเฉพาะกับฮาร์มอนิกค่าต่ำๆ ซึ่งจะเข้าใจง่ายขึ้นถ้าเลือกอัตราส่วนความถี่ของการมอดูเลต m_f ของวงจรถออินเวอร์เตอร์เฟสเดียวเป็นเลขคี่ (สำหรับการ PWM ด้วยวิธีการสวิตช์แรงดันแบบสองสภาพชั่ว m_f ควรจะเป็นเลขคี่) เนื่องจากรูปคลื่นแรงดัน V_{AN} และ V_{BN} ได้ถูกดึงให้ต่างเฟสซึ่งกันและกันเป็นมุม 180° ดังนั้น เฟสของฮาร์มอนิกที่ประกอบขึ้นในขณะความถี่การสวิตช์ของแรงดัน V_{AN} และ V_{BN} เป็นเฟสเดียวกัน $(\phi_{AN} - \phi_{BN}) = 180^\circ$ และ m_f ได้ถูกกำหนดเป็นเลขคู่ ผลก็คือ ทำให้ฮาร์มอนิกที่ได้จากการสวิตช์ด้วยความถี่การสวิตช์ของแรงดันเอาต์พุตเกิดการหักล้างกันเองเพราะ $V_o = V_{AN} - V_{BN}$ รวมทั้งฮาร์มอนิกแถบข้างที่เกิดจากความถี่การสวิตช์จะไม่ปรากฏขึ้น คล้ายกันกับการหักล้างของฮาร์มอนิกโดมิแนนซ์ที่เกิดจากความถี่การสวิตช์สองครั้ง และขณะที่แถบข้างไม่เกิดการปรากฏขึ้นดังนั้นจะได้

$$\vec{V}_{o1} = m_a V_d \quad (m_a \leq 1.0) \quad (2.18)$$

และ

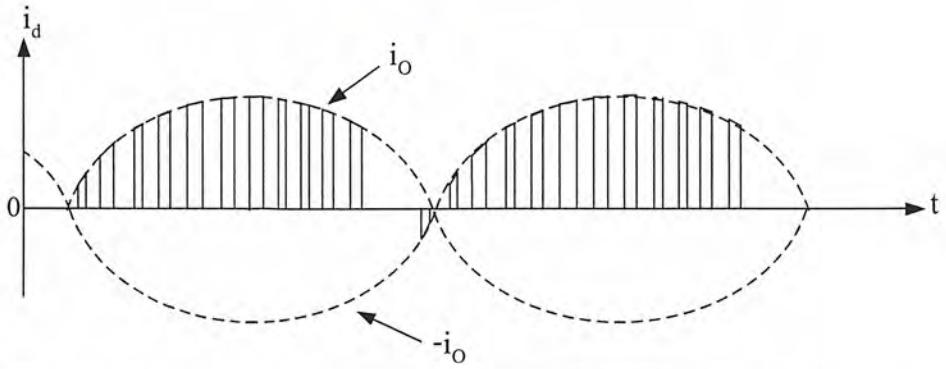
$$V_d < \vec{V}_{o1} < \frac{4V_d}{\pi} \quad (m_f > 1.0) \quad (2.19)$$

3) การทำงานแบบรูปคลื่นจัตุรัส

วงจรถออินเวอร์เตอร์บริดจ์เต็ม สามารถทำงานเพื่อให้เอาต์พุตเกิดเป็นรูปคลื่นจัตุรัสได้ โดยใช้แบบ PWM ทั้ง 2 แบบ สามารถทำให้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสเหมือนกัน โดยกำหนดให้สวิตช์ Q_{A1}, Q_{B2} และ Q_{A2}, Q_{B1} ทำงานคู่กันด้วยอัตราส่วนหน้าที่เท่ากับ 0.5

ในกรณีทำงานรูปคลื่นจัตุรัส ขนาดระดับแรงดันของแรงดันเอาต์พุตที่ได้ทำการกำหนดไว้ข้างล่างนั้น สามารถงค่าได้ด้วยการควบคุมแรงดันอินพุตกระแสตรง

$$\vec{V}_{o1} = \frac{4V_d}{\pi} \quad (2.20)$$



รูปที่ 2.8 กระแสด้านดิสชีในวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีการ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันแบบ สภาพชั่วเดียว

4) การควบคุมเอาต์พุตด้วยวิธีขจัด (Cancel) แรงดัน

การควบคุมแบบนี้เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าเฟสเดียว โดยเฉพาะกับวงจรอินเวอร์เตอร์แบบ บริดจ์-เต็ม โดยการทำงาน ได้รวมทั้งการสวิตช์แบบรูปคลื่นจัตุรัส กับแบบ PWM ด้วยการสวิตช์ แรงดันแบบสภพชั่วเดียวเข้าด้วยกัน ดังวงจรในรูปที่ 2.9 (ก) และการสวิตช์ 2 ขา ของอินเวอร์ เตอร์ต้องควบคุมให้แยกกัน (คล้ายกับแบบ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันแบบสภพชั่วเดียว) แต่ อัตราส่วนของหน้าที่จะเท่ากับ 0.5 คล้ายกับการควบคุมรูปคลื่นจัตุรัส สำหรับแรงดัน V_{AN} และ V_{BN} จะได้ดังรูปที่ 2.9 (ข) โดยรูปคลื่นต้องควบคุมให้เหลือมกันเป็นมุม α สำหรับแรงดันเอาต์พุต ช่วงเวลาการเหลือม จะได้เท่ากับศูนย์ (เหมือนกับที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ ถ้าสวิตช์คู่บนหรือคู่ล่าง คู่ใดคู่หนึ่งนำกระแสเอาต์พุตที่ได้จะคล้ายกับที่ได้รับจากวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยระดับแรงดันสูงสุด อาจมีขนาดเท่ากับเอาต์พุตหลักมูล)

การพิสูจน์หลักมูลและความถี่ฮาร์โมนิกที่ประกอบขึ้นเป็นเอาต์พุต $\beta = 90^\circ - (\alpha/2)$ ที่ ได้แสดงในรูปที่ 2.9 (ข) อย่างง่าย

$$\begin{aligned} (\bar{V}_o)_h &= \int_{-\pi/2}^{\pi/2} V_o \cos(h\theta) d\theta \\ &= \frac{2}{\pi} \int_{-\beta}^{+\beta} V_d \cos(h\theta) d\theta \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น

$$(\bar{V}_o)_h = \frac{4V_d}{\pi h} \sin(h\beta) \tag{2.21}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง $\beta = 90^\circ - (\alpha/2)$ และ h มีค่าเป็นเลขคี่

รูปที่ 2.9 (ค) ได้แสดงการแปรค่าของแรงดันที่ประกอบขึ้นเป็นความถี่หลักมูลกับการแปรค่าแรงดันฮาร์มอนิกที่ลำดับต่างๆ ในขณะที่กระทำกับมุม α ร่วมกัน สำหรับค่าความเพี้ยนของฮาร์มอนิกรวมนั้น เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงดันฮาร์มอนิกที่เพี้ยนด้วยค่าอาร์เอ็มเอสกับแรงดันที่ได้ประกอบขึ้นเป็นความถี่หลักมูลค่าอาร์เอ็มเอส ซึ่งได้นำมาพล็อตกระทำกับมุม α เช่นกันและจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อมุม α มีค่ามาก ค่าของความเพี้ยนก็จะมีค่ามากตามไปด้วยดังได้แสดงในรูปด้วยเส้นประ

5) ประโยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็ม

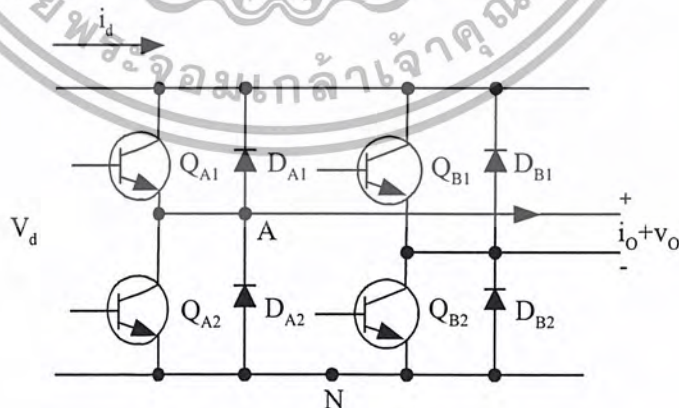
ถ้าประโยชน์ที่ได้รับของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็ม โดยที่ไม่ได้นำค่าของการเหนี่ยวนำรั่ว (Leakage Inductance) ของหม้อแปลงแหล่งจ่ายนั้นมาร่วมพิจารณาด้วย จะเห็นว่าได้เหมือนกับวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ครึ่ง

โดยค่าแรงดันยอด (Peak) ของการสวิตช์ หรือแรงดัน V_T กับกระแสพิคกของค่ายอดที่ใช้ หรือ ในวงจรอินเวอร์เตอร์บริดจ์เต็ม จะมีค่าไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของการควบคุมและแผนการสวิตช์ และจะได้ตามสมการข้างล่างนี้

$$V_T = V_d \tag{2.22}$$

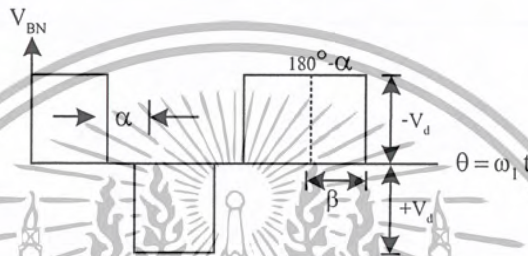
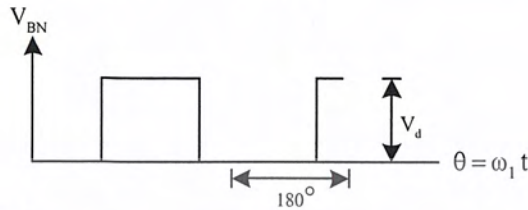
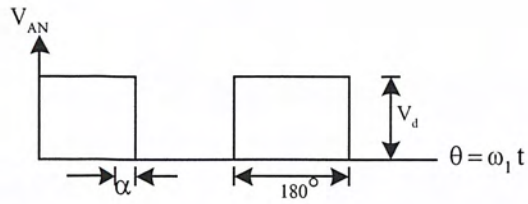
และ

$$I_T = i_{o,peak} \tag{2.23}$$



(ก) วงจรกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น และผู้จัดทำได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) แรงดันหลักมูล

รูปที่ 2.9 (ต่อ) การควบคุมอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบบริดจ์เต็ม

6) ริปเปิลในเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

ริปเปิล คือ ค่าความแตกต่างระหว่างรูปคลื่นเอาต์พุต กับรูปคลื่นที่ประกอบขึ้นเป็นความถี่

หลักมูลและจะเกิดเป็นรูปคลื่นแบบซ้ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 (ก) ได้แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ทำงานด้วยการสวิตช์แบบเฟสเดียว สมมติป้อนเข้ากับโหลด ซึ่งเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่เขียนเป็นวงจรสมมูลแบบง่าย ด้วยค่าการเหนี่ยวนำอนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันเหนี่ยวนำที่ย้อนกลับ e_o แต่เนื่องจาก $e_o(t)$ ใดๆ ได้เกิดเป็นรูปคลื่นไซน์ชอยด์ จะมีก็เฉพาะไซน์ชอยด์ (ความถี่หลักมูล) ที่จะประกอบขึ้นเป็นแรงดันเอาต์พุต และที่กระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เท่านั้น ที่จะมีผลโดยตรงกับการถ่ายโอนกำลังไปยังโหลด

เมื่อพิจารณาไดอะแกรมเวกเตอร์จากรูปที่ 2.10 (ข) จะเห็นว่า แรงดันที่ประกอบขึ้นเป็นความถี่หลักมูล โดยใช้ตัวห้อยด้วยเลข 1 ด้วยค่าอาร์เอ็มเอส จะได้ตามสมการข้างล่าง

$$V_{o1} = E_{o1} + V_{L1} = E_{o1} + j\omega_1 L I_{o1} \quad (2.24)$$

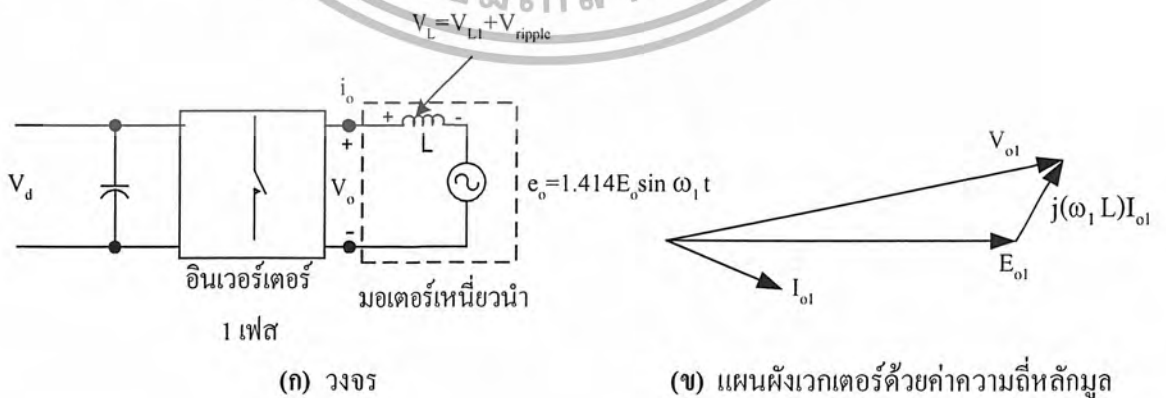
จากกฎของชุปเปอร์โพสิชัน สามารถทำให้ทราบริปลใน V_o ซึ่งคร่อมกับ L ได้เท่ากับ

$$v_{ripple}(t) = v_o - v_{o1} \quad (2.25)$$

โดยริปลของกระแสเอาต์พุต สามารถคำนวณได้จาก

$$i_{ripple} = \frac{1}{L} \int_0^t v_{ripple}(t) dt + k \quad (2.26)$$

ซึ่ง k แทนค่าคงที่

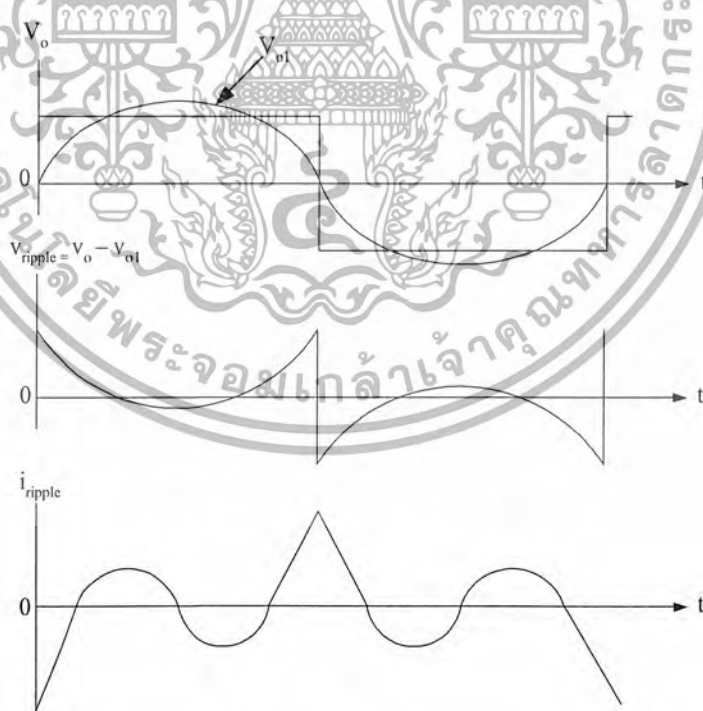


รูปที่ 2.10 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเลือกเวลาเริ่มต้น $t = 0$ ค่า k ในสมการที่ 2.26 จะได้ค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น แสดงได้ว่า ริปเปิลในสมการที่ 2.25 และ 2.26 ไม่ขึ้นอยู่กับกำลังที่ถ่ายโอนไปยังโหลด

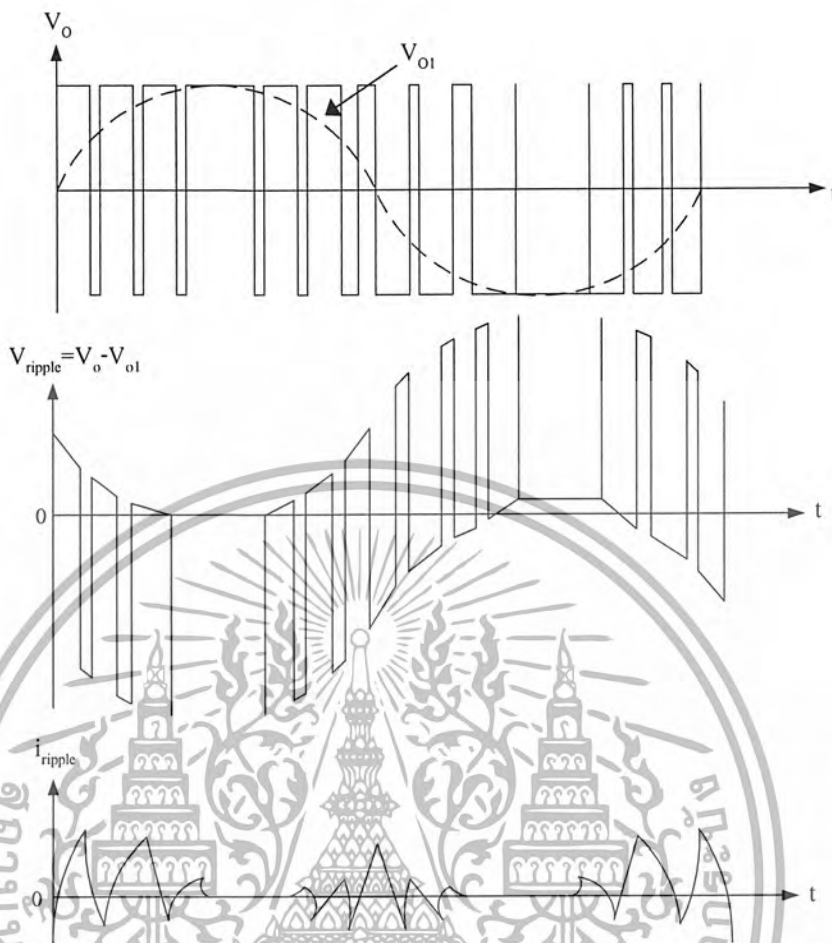
จากตัวอย่างรูปคลื่นที่ได้แสดงในรูปที่ 2.11 (ก) และ 2.11 (ข) ได้แสดงกระแสริปเปิลที่ได้จากเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นจัตุรัส กับกระแสริปเปิลที่ได้จาก PWM ด้วยวิธีการสวิตช์แรงดันแบบสองสภาพชั่วตามลำดับและเห็นว่า รูปคลื่นเอาต์พุตที่ประกอบขึ้นเป็นความถี่หลักมูลนั้น ได้แสดงด้วยขนาดเท่ากัน ซึ่งความจริงแรงดัน V_d ของอินเวอร์เตอร์ที่กำลังทำงานด้วย PWM ต้องมีค่าสูงกว่าและผลที่ได้รับจะเห็นว่ากระแสริปเปิลค่ายอดของอินเวอร์เตอร์ด้วยแบบ PWM จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกระแสริปเปิลค่ายอดของอินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นจัตุรัส ด้วยเหตุนี้เอง การกำจัดฮาร์มอนิก ในแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ให้หมดไป สามารถทำได้ด้วยการสวิตช์แบบ PWM ความถี่สูง ผลสุดท้ายทำให้ค่าการสูญเสียในโหลดลดลง เพราะฮาร์มอนิกของกระแสเอาต์พุตมีค่าลดลง เพราะฮาร์มอนิกของกระแสเอาต์พุตมีค่าลดลงและนี่คือประโยชน์ที่จะได้รับจากการสวิตช์ด้วยความถี่สูงของอินเวอร์เตอร์ แต่ข้อเสีย คือ ค่าการสูญเสียในสวิตช์สูงขึ้น ดังนั้น ความถี่ของการสวิตช์ในอินเวอร์เตอร์นี้ ควรเลือกด้วยค่าที่เหมาะสม



(ก) สวิตช์แบบรูปคลื่นจัตุรัส

รูปที่ 2.11 ริปเปิลในเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



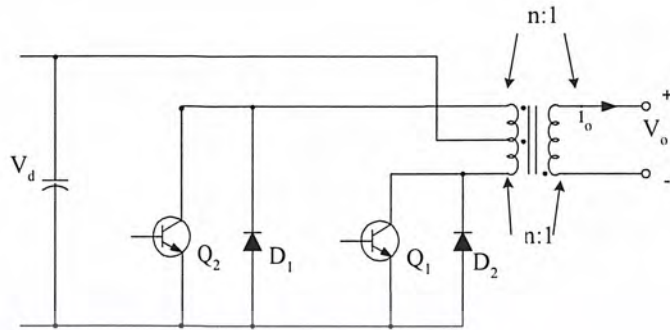
(ข) แบบ PWM ด้วยการสวิตช์แรงดันสองสภาวะขั้ว

รูปที่ 2.11 (ต่อ) ริปเปิลในเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์

2.3.3 อินเวอร์เตอร์ฟูล - พูล

จากรูปที่ 2.12 แสดงอินเวอร์เตอร์ฟูล-พูล โดยขดปฐมภูมิของหม้อแปลง ต้องใช้แบบมีจุดต่อกลาง (Center Tap) ก่อนอื่นสมมติว่ากระแส i_o ไหลอย่างต่อเนื่อง และด้วยการสมมติแบบนี้จะเห็นว่าเมื่อสวิตช์ Q_1 นำกระแส Q_2 จะหยุดนำกระแส โดย Q_1 จะนำกระแส เมื่อ i_o มีค่าเป็นค่าบวก ถ้าไม่คำนึงถึงทิศทางของ i_o เพราะฉะนั้นได้ $V_o = V_d / n$ ซึ่ง n จะแทนอัตราส่วนของจำนวนรอบหม้อแปลงระหว่าง 1/2 ขด ของปฐมภูมิต่อขดทุติยภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ในทำนองเดียวกัน เมื่อ Q_2 นำกระแส และ Q_1 หยุดนำกระแส จะได้ $V_o = V_d / n$ และการทำงานของอินเวอร์เตอร์ฟูล-พูล สามารถทำงานได้ทั้งแบบ PWM และแบบรูปคลื่นจัตุรัส สำหรับแรงดันเอาต์พุตของวงจรตามรูปที่ 2.12 จะได้ตามสมการข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 อินเวอร์เตอร์พุก-พุก

$$\bar{V}_{o1} = \frac{m_a V_d}{n} \quad (m_a \leq 1.0) \tag{2.27}$$

และ

$$\frac{V_d}{n} < \bar{V}_{o1} < \frac{4V_d}{\pi n} \quad (m_a > 1.0) \tag{2.28}$$

แรงดันสวิทช์ค่ายอด V_T กับกระแสสวิทช์ค่ายอด I_T ของอินเวอร์เตอร์พุก-พุก จะได้เท่ากับ

$$V_T = 2V_d \tag{2.29}$$

และ

$$I_T = \frac{I_{o,peak}}{n}$$

ข้อดีของวงจรอินเวอร์เตอร์พุก-พุก คือ การสวิทช์แต่ละครั้งของอุปกรณ์สวิทช์ จะสวิทช์ไม่เกิน 1 ตัว และถ้าหากแรงดันแหล่งจ่ายที่ใช้ป้อนให้เป็นอินพุตของวงจรอินเวอร์เตอร์นี้มีค่าต่ำ เช่น แบตเตอรี่ ประโยชน์ที่ได้รับจะมีค่าสูงมาก สำหรับอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ สวิทช์ต้องต่ออนุกรมกันมากกว่า 1 ตัว ดังนั้น แรงดันตกคร่อมสวิทช์รวมกันจะมีค่าสูงกว่า พร้อมกับเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง นอกจากนี้วงจรขับสวิทช์สามารถใช้กราวด์ร่วมกันได้ แต่อย่างไรก็ตาม การหลีกเลี่ยงการอิมพัลส์ของหม้อแปลงของอินเวอร์เตอร์พุก-พุก สามารถทำได้ยากมาก

กระแสเอาต์พุต ซึ่งเป็นกระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ถูกแปรค่าอย่างซ้ำๆ ด้วยความถี่เอาต์พุตหลักมูล ดังนั้น จึงถูกสมมติว่าคงที่ได้เมื่อเทียบกับความถี่การสวิทช์ เนื่องจากในขณะสวิทช์การไหลของกระแสได้ย้ายจากด้านหนึ่งของครึ่งขดปฐมภูมิไปยังอีกด้านหนึ่งของครึ่งขด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยา ดังนั้น การเชื่อมต่อสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องขดลวดทั้งสองต้องดีมากๆ เพื่อสามารถลดพลังงานและค่าการเหนี่ยวนำรั่วของขดปฏิกิริยาทั้งสอง มิฉะนั้น พลังงานนี้จะเป็นผลกระทบของอุปกรณ์การสวิตช์กับวงจรสแน็บเบอร์ที่ใช้ป้องกันสวิตช์นี้ได้และมักจะเกิดขึ้นกับวงจรแปลงผันหรืออินเวอร์เตอร์

แบบ PWM เพื่อที่จะผลิตแรงดันเอาต์พุตรูปคลื่นไซน์ชอยด์ของอินเวอร์เตอร์พหุ-พูล หม้อแปลงต้องออกแบบให้จำนวนรอบมีค่าสูง เมื่อเทียบกับหม้อแปลงที่ออกแบบการทำงานด้วยความถี่ของการสวิตช์แหล่งจ่ายกระแสตรง (ซึ่งหม้อแปลง ด้วยวิธีของการสวิตช์เป็นแหล่งจ่ายกระแสตรง ได้ออกแบบสำหรับความถี่หลักมูล) ดังนั้น จำนวนรอบของหม้อแปลงจึงมีค่าสูงมาก และเป็นผลทำให้มีค่าของการเหนี่ยวนำรั่วของหม้อแปลงนี้มีค่าสูงตาม (เพราะถ้าหากค่าต่างๆ ของหม้อแปลงคงที่ ค่าการเหนี่ยวนำรั่วจะมีค่าแปรผันตรงกับจำนวนรอบยกกำลังสอง) ดังนั้น แบบ PWM ชนิดรูปคลื่น ไซน์ชอยด์ที่ต้องการความถี่ของการสวิตช์ที่มีค่าสูงกว่า 1 กิโลเฮิร์ตซ์ จึงกระทำได้อย่าง

2.3.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

เนื้อหาในหัวข้อนี้ มีวัตถุประสงค์ที่จะเปรียบเทียบประโยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบต่างๆ โดยมีเงื่อนไขเป็นอุดมคติ และสมมติว่า $V_{d,max}$ ซึ่งเป็นแรงดันอินพุตสูงสุด ได้ถูกกำหนดให้เป็นค่าพิกัดของแรงดันการสวิตช์สูงสุดด้วยและการทำงานแบบ PWM นั้น ถ้าหากแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์แบบ PWM กับแบบรูปคลื่นจัตุรัสมีค่าเท่ากัน ดังนั้น แรงดัน $V_{d,max}$ ที่ป้อนให้กับอินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นจัตุรัส จะต้องน้อยกว่าแรงดันอินพุตที่ป้อนให้กับอินเวอร์เตอร์แบบ PWM

ถ้ากระแสเอาต์พุต เป็นรูปคลื่น ไซน์ชอยด์บริสุทธิ์ ดังนั้น ได้เอาต์พุตค่าโวลต์แอมป์ที่ความถี่หลักมูล เท่ากับ $V_{o1} I_{o,max}$ ซึ่งเป็นค่าเอาต์พุตเต็มพิกัดด้วย โดยตัวเลขหนึ่งแทนตัวห้อยย่อของเอาต์พุต อินเวอร์เตอร์ที่ประกอบเป็นความถี่หลักมูล และเมื่อ V_T กับ I_T แทนพิกัดแรงดันค่ายอดและกระแสค่ายอดของการสวิตช์ตามลำดับ ดังนั้น อัตราส่วนของประโยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์รวมสูงสุดในอินเวอร์เตอร์เท่ากับ

$$\text{อัตราส่วนของประโยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์} = \frac{V_{o1} I_{o,max}}{q V_d I_T} \quad (2.30)$$

เมื่อ q แทนจำนวนสวิตช์ทั้งหมดในอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบประ โยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์ ในวงจรอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบต่างๆ โดยเริ่มต้นเปรียบเทียบด้วยการทำงานแบบรูปคลื่นจัตุรัสขณณะที่ได้พิกัดเอาต์พุตสูงสุดก่อน โดย ประ โยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์สูงสุดเกิดขึ้น ขณะที $V_T = V_{d,max}$

สมการของอินเวอร์เตอร์พุก-พุล

$$V_T = 2V_{d,max}, I_T = \frac{\sqrt{2}I_{o,max}}{n}; V_{o1,max} = \frac{4V_{d,max}}{\pi\sqrt{2}} \quad \text{และ } q = 2 \quad (2.31)$$

(n แทนอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงตามรูปที่ 2.12)

แทนค่า V_T, I_T และ V_{o1} ด้วยค่า $V_{o1,max}$ และ q จากสมการ 2.31 ลงในสมการที่ 2.30 เพราะฉะนั้น ได้

$$\text{อัตราส่วนของประ โยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์สูงสุด} = \frac{1}{2\pi} = 0.16 \quad (2.32)$$

สมการของอินเวอร์เตอร์บริดจ์ครึ่ง

$$V_T = V_{d,max}; I_T = \sqrt{2} \times I_{o1,max} = \frac{4}{\pi\sqrt{2}} \times \frac{V_{d,max}}{2} \quad \text{และ } q = 2 \quad (2.33)$$

แทนค่า V_T, I_T และ V_{o1} ด้วยค่า $V_{o1,max}$ และ q จากสมการ 2.33 ลงในสมการที่ 2.30 เพราะฉะนั้น ได้

$$\text{อัตราส่วนของประ โยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์สูงสุด} = \frac{1}{2\pi} = 0.16 \quad (2.34)$$

สมการของอินเวอร์เตอร์บริดจ์เต็ม

$$V_T = V_{d,max}; I_T = \sqrt{2} \times I_{o,max}; V_{o1} = \frac{4V_{d,max}}{2} \quad \text{และ } q = 4 \quad (2.35)$$

แทนค่า V_T, I_T และ V_{o1} ด้วยค่า $V_{o1,max}$ และ q จากสมการ 2.35 ลงในสมการที่ 2.30 เพราะฉะนั้น ได้

$$\text{อัตราส่วนของประ โยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์สูงสุด} = \frac{1}{2\pi} = 0.16 \quad (2.36)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการพิจารณาอัตราส่วนของประโยชน์ที่ได้รับ จากการสวิตช์สูงสุดของอินเวอร์เตอร์ในแต่ละแบบ จะเห็นว่าได้ค่าเหมือนกันหมดด้วยค่า เท่ากับ

$$\text{อัตราส่วนของประ โยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์สูงสุด} = \frac{1}{2\pi} = 0.16 \quad (2.37)$$

ในทางปฏิบัติ อัตราส่วนของประ โยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์นั้น จะมีค่าน้อยกว่า 0.16 มากๆ ทั้งนี้เนื่องจาก

- 1) พิกัดของอุปกรณ์สวิตช์ ได้ถูกเลือกให้มีค่าใกล้เคียงกับวิกฤต
- 2) ในการกำหนดพิกัดของกระแสสวิตช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์แบบ PWM ต้องนำสาเหตุการเปลี่ยนแปลงของอินพุตกระแสตรง มารวมพิจารณาด้วย
- 3) ระดับรีปเปิลของกระแสเอาต์พุต จะมีอิทธิพลต่อพิกัดของกระแสสวิตช์ด้วย

นอกจากนี้ อาจมีความจำเป็นต้องป้อนกระแสเกินให้กับอินเวอร์เตอร์ในระยะเวลาสั้นๆ บ้าง ดังนั้น อัตราส่วนของประ โยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์ในทางปฏิบัติ จึงมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้คำนวณไว้ คือ 0.16

ขณะที่ค่าเอาต์พุตโวลต์-แอมป์ มีค่าน้อยกว่าเอาต์พุตค่าสูงสุด จะเห็นว่า การลดลงของประ โยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์ จะลดลงอย่างเป็นเชิงเส้น

ข้อสังเกต แบบ PWM ด้วยค่า $m_a < 1.0$ ประ โยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์ จะได้ลดลงอีกด้วยค่าเท่ากับ $\frac{\pi m_a}{4}$ เมื่อเปรียบเทียบกับประ โยชน์ที่ได้รับ จากการสวิตช์แบบรูปคลื่นจัตุรัส ดังนั้น

$$\text{อัตราส่วนของประ โยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์สูงสุด} = \frac{1}{2\pi} \times \frac{\pi m_a}{4} = \frac{1}{8} \quad (2.38)$$

เมื่อทำงานด้วย PWM และ $m_a \leq 1$

เพราะฉะนั้น ประ โยชน์ที่ได้รับจากการสวิตช์สูงสุดในทางทฤษฎีแบบ PWM ที่ m_a มีค่าเท่ากับ 1 คือ 0.125 ซึ่งเหมือนกับ 0.16 ในวงจรอินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นจัตุรัส

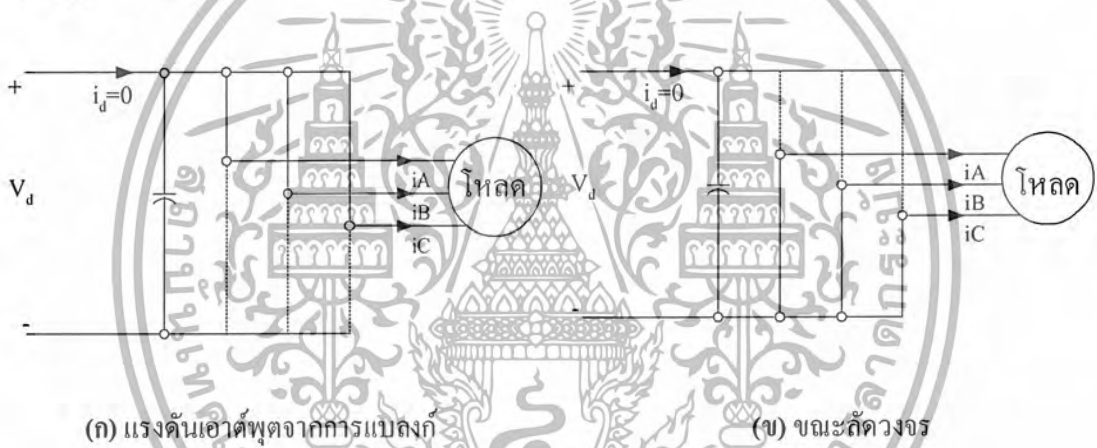
2.3.5 ผลที่เกิดขึ้นกับเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะมีการเบรก

ผลของแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการเบรก ในอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวบริดจ์เต็ม ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ก) สวิตช์ได้ถูกสมมติเป็นอุดมคติ นั่นคือ การเปลี่ยนสถานะของสวิตช์ทั้ง 2 ในขาของอินเวอร์เตอร์เดียวกัน ได้เปลี่ยนจากนำเป็นหยุดนำและในการสวิตช์แต่ละครั้งจะสามารถเกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการนำ $V_{control}$ เปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม V_{tri} เพื่อที่จะกำหนดให้สวิตช์เกิดการสวิตช์ทันทีและสำหรับสัญญาณควบคุม $V_{control}$ กับรูปคลื่นสามเหลี่ยม V_{tri} จะได้ดังรูปที่ 2.14 โดยสมมติว่าเป็นการสวิตช์ในทางอุดมคติ

เนื่องจากในทางปฏิบัติ ได้มีข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลาอยู่ โดยการนำและหยุดนำของสวิตช์ใดๆ ในขาเดียวกัน จะต้องไม่กระทำพร้อมกัน เพื่อที่จะทำให้นั้นๆ จะได้ไม่เกิดการลัดวงจรขึ้น ดังนั้น จึงต้องมีการหน่วงเวลาการนำและหยุดนำในขาอื่นๆ ของอินเวอร์เตอร์เป็นเวลา t_{Δ} และเรียกเวลานี้ว่า “เวลาการแบลนก์” สำหรับการเลือกเวลาการแบลนก์ ควรใช้ไม่ว่าไมโครวินาทีและสำหรับอุปกรณ์ที่สวิตช์ได้เร็ว เช่น มอสเฟต นั่นก็จะมีค่ามากขึ้นสำหรับกับอุปกรณ์ที่สามารถสวิตช์ได้ช้า และสำหรับสัญญาณเอาต์พุตที่ได้หลังจากควบคุมเวลาการแบลนก์กับสวิตช์ทั้งสอง จะได้ดังรูปที่ 2.14 (ค)



(ก) แรงดันเอาต์พุตจากการแบลนก์ (ข) ขณะลัดวงจร

รูปที่ 2.13 วงจรของอินเวอร์เตอร์แบบ PWM

เนื่องจากช่วงเวลาการแบลนก์สวิตช์ทั้ง 2 ตัว ต้องมีการหยุดนำกระแสพร้อมกัน โดยเวลาที่กำหนดให้สวิตช์นำกระแส เพื่อให้ V_{AN} มีค่าเป็นบวกนั้น จะขึ้นอยู่กับกระแส i_A ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (ง) ซึ่ง i_A ต้องมีค่ามากกว่าศูนย์ก่อน สวิตช์ดังกล่าวจึงจะเปลี่ยนเป็นนำได้และในทำนองเดียวกัน ในรูปที่ 2.14 (จ) กระแส i_A ต้องมีค่าน้อยกว่าศูนย์ด้วย และสำหรับรูปคลื่นทางอุดมคติ (โดยปราศจากการแบลนก์) จะได้ดังแสดงด้วยเส้นประและถ้าหากนำแรงดันนี้เปรียบเทียบกับแรงดันที่แท้จริง (หลังจากการแบลนก์) ค่าความแตกต่างนี้จะได้เท่ากับ

$$V_c = (V_{AN})_{\text{ค่าอุดมคติ}} - (V_{AN})_{\text{ค่าที่แท้จริง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าเฉลี่ย V_{ϵ} ตลอดคาบความถี่การสวิตช์ จะขึ้นอยู่กับ i_A ดังนั้น ได้

$$\Delta V_{AN} = \frac{+t_{\Delta} V_d}{T_s} \quad i_A > 0 \quad (2.39)$$

และ

$$= \frac{-t_{\Delta} V_d}{T_s} \quad i_A < 0 \quad (2.39)$$

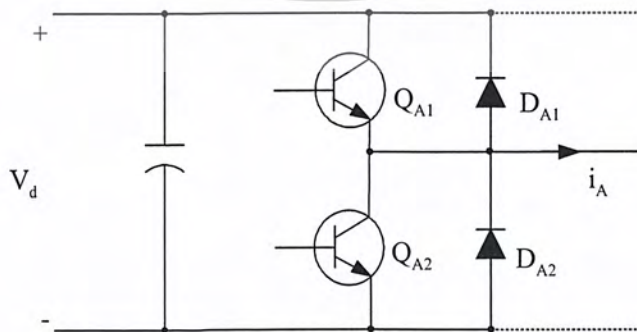
จากสมการที่ 2.39 แสดงว่า ΔV_{AN} ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของกระแส นอกจากสภาพชั่วเท่านั้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแส นอกจากนี้ ΔV_{AN} มีค่าแปรผันตรงกับเวลาการเบดงก์ i_{Δ} และความถี่การสวิตช์ $f_s (1/T_s)$ และถ้าความถี่การสวิตช์มีค่าสูง ซึ่งอุปกรณ์การสวิตช์เร็วขึ้น ดังนั้น i_{Δ} ควรมีค่าน้อย

ในทำนองเดียวกันนี้ก็สามารถที่จะนำไปประยุกต์ให้ใช้กับการวิเคราะห์ของขา B ในวงจรอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวดังในรูปที่ 2.15 (ก) ได้ และจากกระแส $I_A = -I_B$ ดังนั้นสมการที่ได้จะเป็นดังต่อไปนี้

$$\Delta V_{BN} = \frac{+t_{\Delta} V_d}{T_s} \quad i_A > 0 \quad (2.40)$$

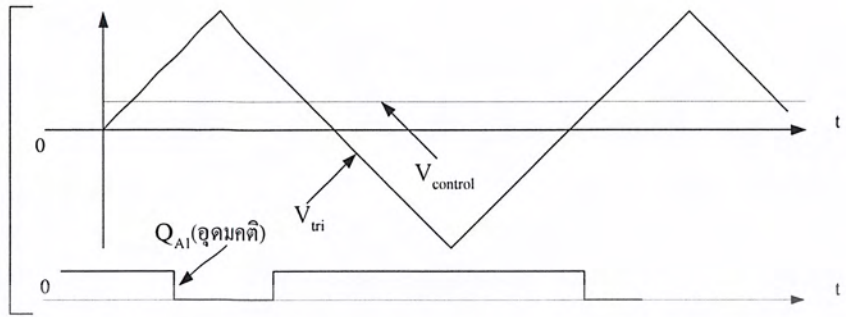
และ

$$= \frac{-t_{\Delta} V_d}{T_s} \quad i_A < 0 \quad (2.40)$$

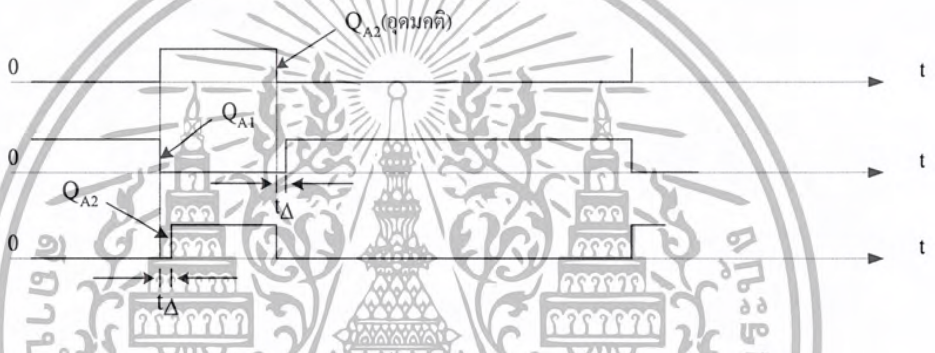


(ก) วงจร

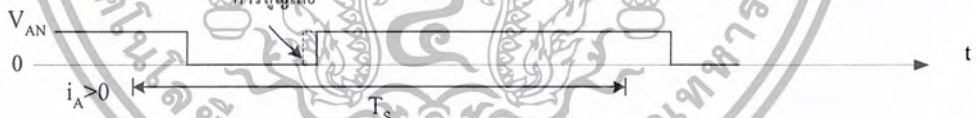
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



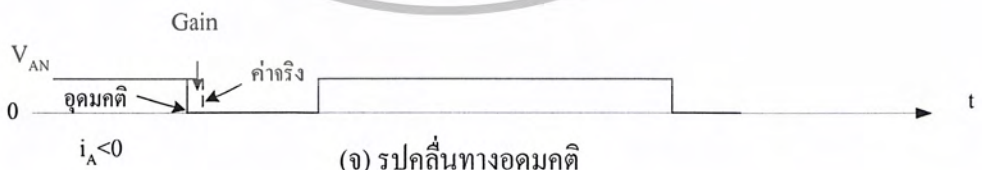
(ข) รูปคลื่น V_{tri}



(ค) สัญญาณเอาต์พุตหลังจากควบคุมเวลาการเบสจิก



(ง) เวลาที่กำหนดให้สวิตช์นำกระแส

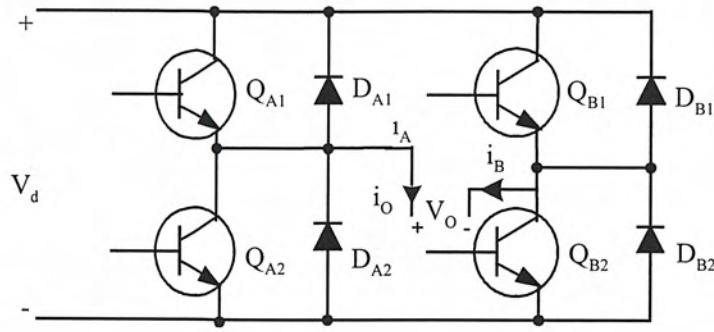


(จ) รูปคลื่นทางอุดมคติ

รูปที่ 2.14 (ต่อ) ผลการเบสจิกด้วยเวลา

เนื่องจาก $v_o = v_{AN} - v_{BN}$ และ $i_o = i_A$ ดังนั้น แรงดันที่แตกต่างด้วยค่าเฉลี่ยใดๆ เท่ากับ
ค่าเฉลี่ยในช่วง T_s ของรูปคลื่นอุดมคติ ลบด้วยรูปคลื่นที่แท้จริง หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจรแปลงผันบริดจ์เต็มแบบ PWM



รูปที่ 2.15 ผลของ T_Δ ที่มีต่อ ΔV_o

$$\Delta v_o = \Delta V_{AN} - \Delta V_{BN} = \frac{+2t_\Delta V_d}{T_s} \quad i_A > 0 \quad (2.41)$$

และ

$$= \frac{-2t_\Delta V_d}{T_s} \quad i_A < 0 \quad (2.41)$$

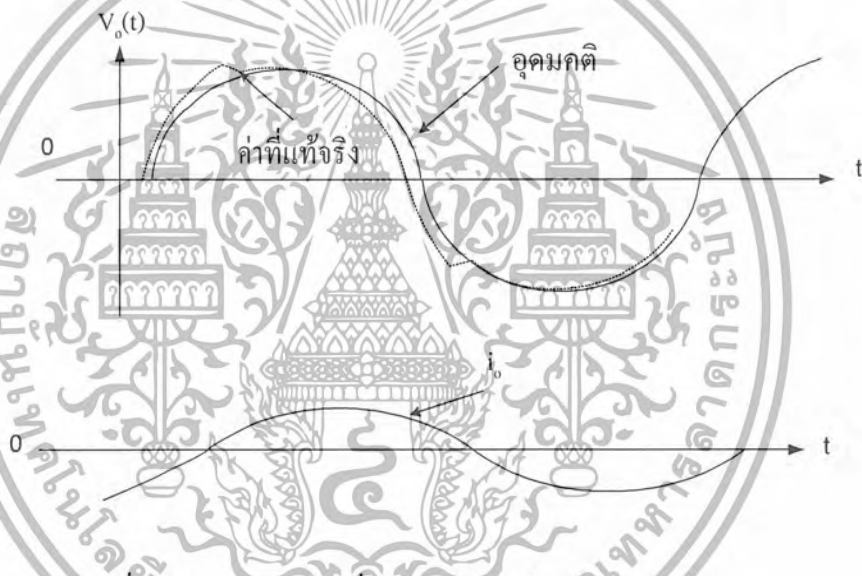
สำหรับการพล็อตค่าเฉลี่ยใดๆ ของแรงดัน v_o ในขณะกระทำ (Function) กับ $v_{control}$

โดยที่ปราศจากการเบรก จะได้ดังรูปที่ 2.15 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าวงจรแปลงผันบริจค์เต็มแบบ PWM ดังในรูปที่ 2.15(ก) และจะทำหน้าที่เพื่อเปลี่ยน กระแสตรง-กระแสตรง ดังที่ได้อธิบายไปแล้ว จะเห็นว่า เมื่อ $v_{control}$ ถูกปรับให้คงที่และกราฟที่ได้พล็อตขึ้นตามรูปที่ 2.15 (ข) จะเป็นประโยชน์มากสำหรับการคำนวณหาผลของการแปลงก็ เมื่อได้นำวงจรนี้ไปใช้งานเพื่อขับมอเตอร์

สำหรับ $v_{control}$ ที่ได้ใช้รูปคลื่นไซน์ชอยด์ไปควบคุมการ PWM ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริจค์เต็มเฟสเดียว แรงดันเอาต์พุต $v_o(t)$ ใดๆ จะได้ดังรูปที่ 2.16 โดยกระแสไหล i_o ได้สมมติว่าเป็นรูปคลื่นไซน์ชอยด์และล่าหลัง $v_o(t)$ ด้วย สำหรับความถี่ใน $v_o(t)$ ของวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่เกิดจากกระแสตัดศูนย์ได้ทำให้เกิดเป็นฮาร์มอนิกลำดับต่างๆ เช่น 3, 5, 7 และอื่นๆ เท่าของความถี่หลักมูล โดยผลของความถี่เหล่านี้ ขึ้นอยู่กับเวลาของการแปลงก็



รูปที่ 2.16 ผลของ T_{Δ} ที่กระทำกับเอาต์พุต ไซน์ชอยด์

2.3.6 แผนการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์

แผนการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ จากที่กล่าวมาได้วิเคราะห์แผนการสวิตช์ 2 แบบ นั่นคือแบบการ PWM ด้วยไซน์ชอยด์ กับแบบรูปคลื่นจัตุรัสมาแล้ว สำหรับในตอนนี จะขอก้าวในแผนการสวิตช์แบบ PWM ด้วยวิธีอื่นอย่างย่อๆ

1) การสวิตช์รูปคลื่นพัลส์

การควบคุมด้วยวิธีนี้ แรงดันเอาต์พุตแต่ละเฟสจำเป็นต้องทำให้เกิดเป็นรูปคลื่นจัตุรัส พร้อมกับมีรูปคลื่นนอตช์ (Notch) หรือพัลส์ปบ้างเล็กน้อย เพื่อควบคุมระดับแรงดันของความถี่หลักมูลและการเพิ่มนอตช์นี้ วงจรสามารถทำงานได้ดีพอสมควร แต่ค่าฮาร์มอนิกในเอาต์พุต ยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานในเชิงการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้ หวังว่ากรณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้สวิตช์ด้วยทรานซิสเตอร์ สรุปลักษณะ คือ ยังขาดการพิจารณาฮาร์มอนิกในเอาต์พุต แต่ข้อดี คือ สามารถควบคุมได้ง่าย เพราะจำนวนการสวิตช์ต่ำ จึงเหมาะกับอินเวอร์เตอร์ขนาดกำลังสูงๆ

2) การกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวิธีโปรแกรม

การทำงานด้วยวิธีนี้ได้รวมการสวิตช์แบบรูปคลื่นจัตุรัสกับการมอดูเลตเข้าด้วยกัน เพื่อควบคุมแรงดันเอาต์พุตหลักมูลกับการกำจัดฮาร์มอนิกในเอาต์พุตเข้าด้วยกัน

ปกติแรงดัน V_{Ao} ที่ขาของอินเวอร์เตอร์ มีค่าเท่ากับ $V_d / 2$ ดังรูปคลื่นที่ได้พล็อตในรูปที่ 2.17 (ก) และได้มีการนำนอตช์ (Notch) จำนวน 6 นอตช์ มาใช้ร่วมกับเอาต์พุตรูปคลื่นจัตุรัสด้วย เพื่อควบคุมขนาดแรงดันหลักมูลและรวมถึงการกำจัดฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 และ 7 โดยแต่ละครึ่งไซเคิล จะมีนอตช์จำนวนเท่ากับ 3 นอตช์ และจัดไว้ด้วยมุมการนำที่อิสระสำหรับควบคุมหลักมูลและกำจัดฮาร์มอนิก 2 ลำดับ

รูปที่ 2.17 (ก) แสดงรูปคลื่นเอาต์พุต ซึ่งเป็นรูปคลื่นครึ่งคลื่นแบบได้สัดส่วนจำนวนคี่ (Odd Half-Wave Symmetry) บางที่เรียกครึ่งคลื่นจัตุรัสสมมาตรแบบคี่ (Odd Quarter-Wave Symmetry) ด้วยวิธีนี้เอง จะทำให้เกิดฮาร์มอนิกคี่หรือสัมประสิทธิ์ของอนุกรมไซน์ขึ้น เนื่องจากฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 และฮาร์มอนิกคี่คี่ของเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ แต่ฮาร์มอนิกเหล่านี้ในแต่ละขาของอินเวอร์เตอร์ ไม่สามารถกำจัดออกด้วยวิธีรูปคลื่นนอตช์ได้

$$\frac{2(\overline{V_{Ao}})_1}{V_d} = \frac{4}{\pi} = 1.273 \quad (2.42)$$

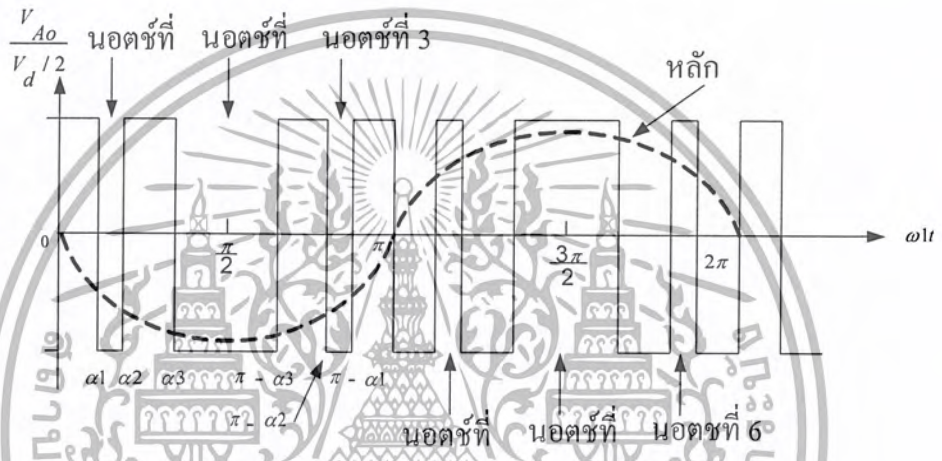
เมื่อได้รูปคลื่นนอตช์มาใช้เพื่อการกำจัดฮาร์มอนิกที่ 5 และที่ 7 ดังนั้น ระดับแรงดันหลักมูลจะมีค่าลดลงด้วยค่าตามสมการข้างล่างนี้

$$\frac{2(\overline{V_{Ao}})_{1,\max}}{V_d} = 1.188 \quad (2.43)$$

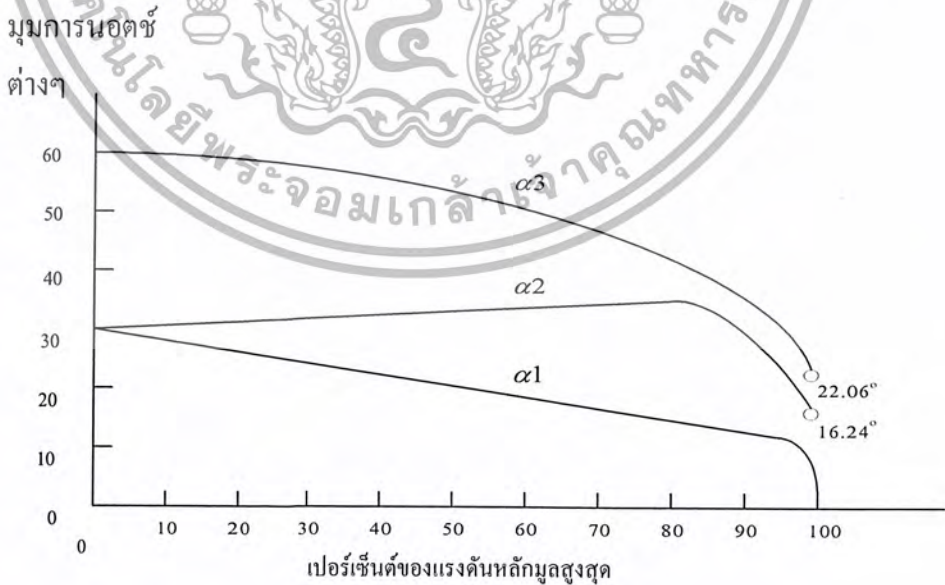
ถ้าต้องการกำหนดให้มุมการนำของรูปคลื่นนอตช์ α_1 , α_2 และ α , ด้วยค่าเท่าใดนั้น สามารถที่จะพิจารณาได้จากกราฟที่พล็อตขณะกระทำ (Function) กับแรงดันหลักมูล ดังในรูปที่ 2.17 (ข)

ในการควบคุมเอาต์พุตหลักมูลและการกำจัดฮาร์มอนิกที่ 5, 7, 11 และ 13 นั้น ควรใช้รูปคลื่นนอตช์ 5 ลูก / ครึ่งไซเคิลหรือด้วยความถี่การสวิตช์ จะเท่ากับ 11 เท่า เมื่อเทียบกับการทำงานแบบรูปคลื่นจัตุรัส

การโปรแกรมเพื่อกำจัดฮาร์มอนิกส์ อาจใช้วงจร VLSI และในตัวควบคุมไมโคร ซึ่งจะทำให้ปราศจากการสวิตช์ ดังนั้นผลที่ตามมาคือทำให้การสูญเสียที่เกิดจากการสวิตช์ต่ำลงและกำจัดด้วยวิธีฮาร์มอนิกลำดับต่ำๆ สามารถกำจัดออกได้ดี แต่ฮาร์มอนิกอันดับสูงๆ การใช้วงจรกรองจะให้ผลที่ดีกว่า อย่างไรก็ตาม ก่อนตัดสินใจว่าจะใช้เทคนิคนี้ควรเปรียบเทียบกับเทคนิคการ PWM ของแบบรูปคลื่นไซน์มอดูเลต ด้วยค่า m_f ต่ำๆ ก่อน เพื่อจะได้นำมาประเมินผลและหาวิธีที่ดีที่สุด แต่ความเพี้ยนที่มีค่าขึ้นอยู่กับ การแปลงก็ยังคงเกิดขึ้นได้เช่นกัน



(ก) รูปคลื่นเอาต์พุตครึ่งคลื่นจัตุรัสสมมาตรแบบคี่



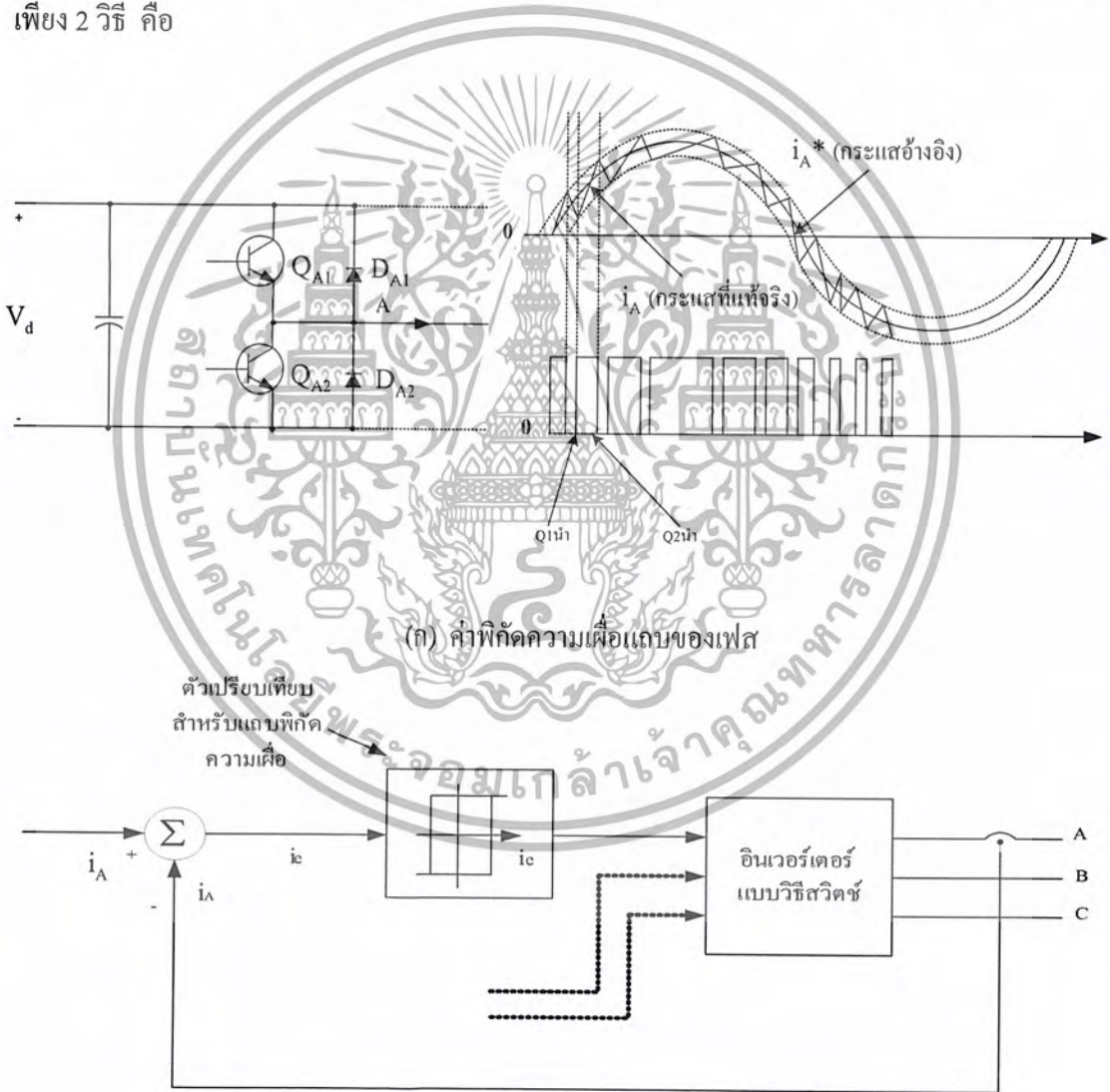
(ข) ขณะกระทำกับแรงดันหลักมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ **รูปที่ 2.17** การกำจัดฮาร์มอนิกที่ 5 และที่ 7 ด้วยการโปรแกรมไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การมอดูเลตด้วยการคงค่ากระแส

ในการนำไปใช้งาน เช่น การขับเคลื่อนมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงและกระแสสลับ (จะทำการป้อนโดยวงจรแปลงผันด้วยวิธีการสวิตช์หรืออินเวอร์เตอร์) ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ต้องควบคุมด้วยกระแส แม้ว่าจะนิยมนำอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter) หรือ VSI มาใช้ก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาจะเห็นว่า ได้คล้ายกับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงด้วยวิธีการสวิตช์ซึ่งกระแสภาคเอาต์พุตคงค่าได้

การสวิตช์สัญญาณเพื่อควบคุมอินเวอร์เตอร์ มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่ในที่นี้จะขอกกล่าวเพียง 2 วิธี คือ



(ก) ค่าพิกัดความถี่ของเฟส

ตัวเปรียบเทียบ
สำหรับแถบพิกัด
ความถี่

(ข) ผังการทำงานพิกัดความถี่ของกระแส

รูปที่ 2.18 การพิกัดความถี่ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1) การควบคุมพิถกความเพื่อของแถบ

จากรูปที่ 2.18 เป็นการแสดงกระแสอ้างอิงของรูปคลื่นไซน์ซอซอด์ i_A^* และเมื่อได้นำไปเปรียบเทียบกับกระแสที่แท้จริง i_A จะได้ค่าแตกต่างกันและค่านี้ได้ถูกกำหนดเป็นค่าพิถกความเพื่อแถบของเฟส ถ้ากระแสที่แท้จริงตามรูปที่ 2.18 (ก) มีค่าเพิ่มขึ้นพื้นแถบพิถกความเพื่อด้านบน จะได้ Q_{A2} นำกระแส (Q_{A1} หยุดนำกระแส) ในทำนองเดียวกันสวิตช์จะเปลี่ยนสถานะตรงกันข้ามเมื่อกระแสที่แท้จริงมีค่าลดลงพื้นแถบพิถกความเพื่อด้านล่าง ดังแสดงเป็นผังการทำงานตามรูปที่ 2.18 (ข)

สำหรับความถี่การสวิตช์ที่ได้ จะขึ้นอยู่กับกรเปลี่ยนแปลงของกระแสจากค่าจำกัดในด้านบนไปยังค่าจำกัดด้านล่างและในทางกลับกันจากค่าจำกัดด้านล่างไปสู่ค่าจำกัดด้านบน นอกจากนี้การที่จะเปลี่ยนสถานะยังขึ้นอยู่กับ V_d แรงดันย้อนกลับและค่าการเหนี่ยวนำของโหลดและได้ค่าความถี่การสวิตช์ไม่คงที่ โดยจะเปลี่ยนแปลงตามรูปคลื่นกระแส

3.2) การควบคุมด้วยความถี่คงที่

การควบคุมกระแสด้วยความถี่คงที่ ดังแสดงตามรูปที่ 2.18 ซึ่งค่าความผิดพลาดระหว่างค่าอ้างอิงกับค่าที่แท้จริงที่ต้องนำมาขยาย หรือป้อนผ่านในวงจรรคค่าแบบอินทิกรัลเชิงสัดส่วน (Proportion-Integral) หรือ PI ก่อน แล้วจึงทำการนำเอาต์พุตที่ขยายนี้ ซึ่งเป็น $v_{control}$ โดยนำไปเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม v_{tri} ด้วยความถี่การสวิตช์ f_s ที่คงที่ โดยถ้าความผิดพลาดมีค่าเป็นบวก ($i_A^* - i_A$) ค่านี้ก็จะส่งผลทำให้เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์นำกระแสได้มากขึ้นพร้อมกับ i_A ไปเปรียบเทียบกับค่าที่อ้างอิงต่อไป

2.4 การสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลอง

ขั้นตอนการดำเนินงานสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองและใบงานการทดลองจะมีดังต่อไปนี้

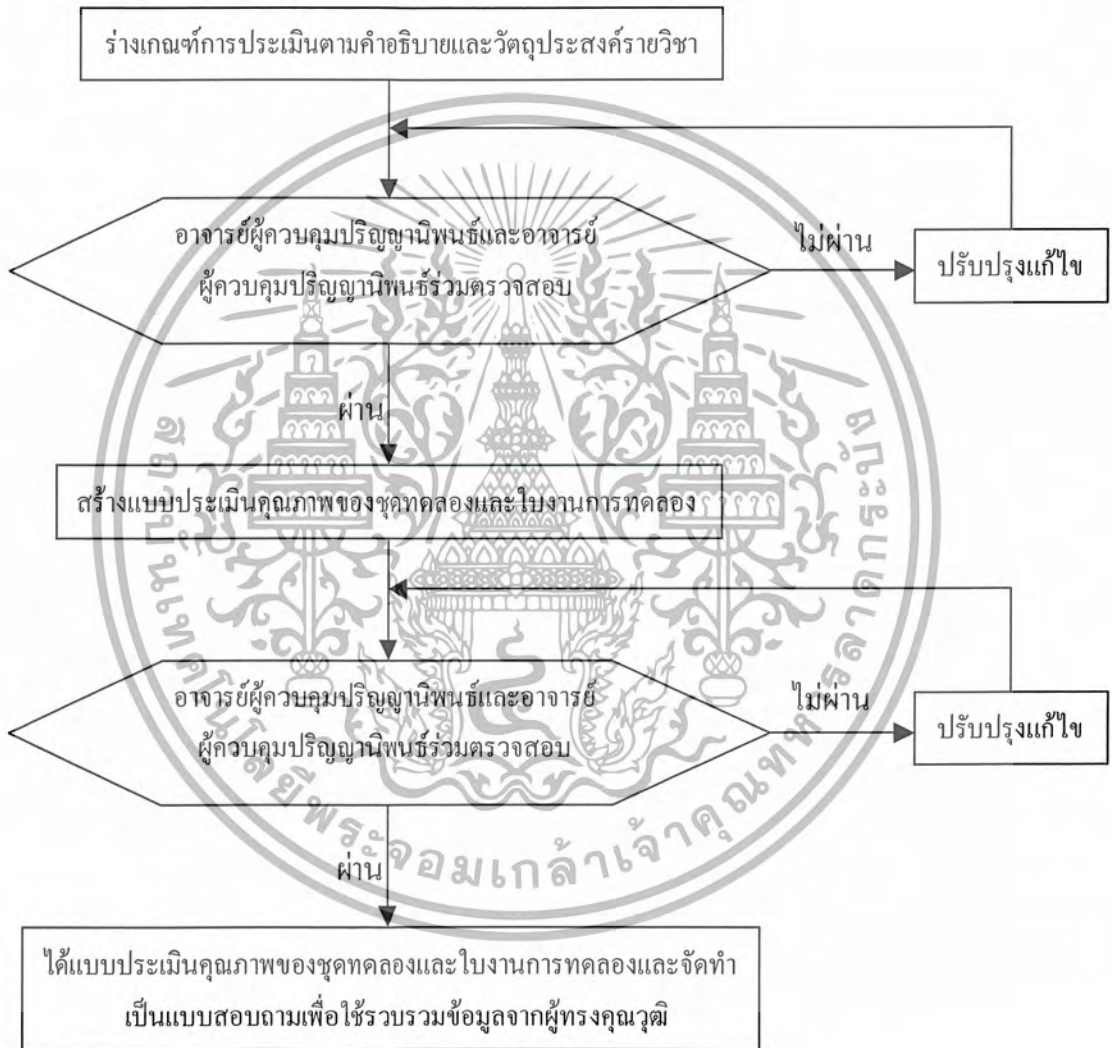
1. จัดทำร่างเกณฑ์การประเมินขึ้น ตามคำอธิบายและวัตถุประสงค์ของในรายวิชาประลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (รหัสวิชา 342331) โดยร่างเกณฑ์การประเมินของชุดทดลองและใบงานการทดลอง ใช้แบบวัดเจตคติของเบส (Best's Scale) ซึ่งเป็นข้อมูลชนิดเลือกตอบและกำหนดระดับความคิดเห็นเป็นค่าให้ห้าหน้าคะแนน เป็น 5 ระดับ (Best. 1970 : 179-187)

2. ปรึกษากับอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโทและอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโทร่วมเพื่อที่ตรวจสอบ พร้อมทั้งนำเอาข้อเสนอแนะต่างๆ มาทำการปรับปรุงแก้ไขจนได้เป็นเกณฑ์การประเมินคุณภาพของชุดทดลองและใบงานการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลังจากที่ได้เกณฑ์การประเมิน โดยได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญา-
นิพนธ์และอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโทพร้อมแล้ว ผู้วิจัยนำเกณฑ์การประเมินดังกล่าวมาจัดทำ
เป็นแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองและใบงานการทดลอง

4. นำแบบประเมินคุณภาพมาจัดทำเป็นแบบสอบถาม เพื่อจะใช้ในการรวบรวมข้อมูลจาก
ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 4 ท่าน



รูปที่ 2.19 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์นั้น ได้ทำการออกแบบในส่วนของใบงาน การทดลองจำนวน 4 ใบงานและได้ทำการสร้างวงจรตามใบงานที่ได้ออกแบบขึ้นมา เพื่อที่จะให้ได้ ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ต้องการตามใบงานการทดลองที่ได้ออกแบบขึ้นมาก่อนหน้านี้ โดยจะนำชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์และใบงานการทดลองไปใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชา อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งใบงานการทดลองมีทั้งหมดจำนวน 4 ใบงาน คือ

ใบงานที่ 1 เรื่องคุณสมบัติของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งประกอบด้วย ไดโอด เฟท ทรานซิสเตอร์ และ ไอจีบีที ใบงานนี้จะประกอบด้วยวงจรถ่ายกำเนิดกราฟคุณลักษณะของไดโอด วงจร แสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ และวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของเฟทและไอจีบีที

ใบงานที่ 2 เรื่องการควบคุม PWM โดยใบงานนี้จะมีวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความ กว้างของพัลส์

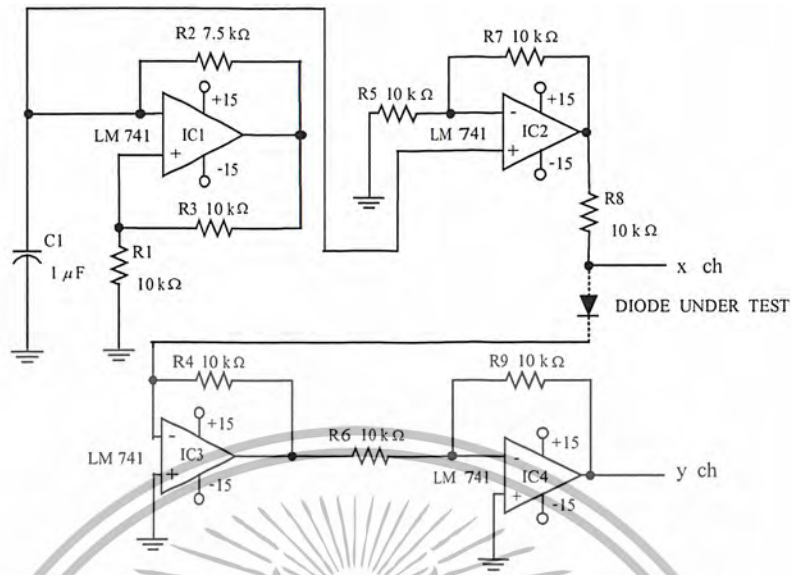
ใบงานที่ 3 เรื่องวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งในใบงานนี้จะมีวงจรอินเวอร์เตอร์โดยใช้มอสเฟท

ใบงานที่ 4 เรื่องผลกระทบของโหลดต่อวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งในใบงานนี้จะทำการศึกษา เกี่ยวกับผลกระทบของอินเวอร์เตอร์ที่มีต่อโหลด R L และ RL

ในปฏิญานี้นั้นได้ทำการออกแบบวงจรที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น ซึ่งสามารถที่จะอธิบายหลักการทำงานในแต่ละวงจรได้ดังต่อไปนี้

3.2 หลักการทำงานของวงจรถ่ายกำเนิดกราฟคุณลักษณะของไดโอด

วงจรถ่ายกำเนิดกราฟคุณลักษณะของไดโอดเป็นวงจรที่อยู่ในส่วนของใบงานที่ 1 ซึ่งในตาม วัตถุประสงค์ต้องการให้ทราบถึงคุณสมบัติของไดโอด จึงได้จัดทำใบงานและสร้างวงจรถ่าย กิจการคุณลักษณะของไดโอดขึ้น ในส่วนของการทดลองจะทดลองเรื่องการตอบสนองความถี่และ ค่าแรงดันที่เริ่มนำกระแส ซึ่งเป็นคุณสมบัติของไดโอด สำหรับวงจรถ่ายกำเนิดกราฟคุณลักษณะของ ไดโอดได้ทำการออกแบบดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรกำเนิดกราฟคุณลักษณะของไดโอด

หลักการเบื้องต้นในการที่จะตรวจสอบคุณลักษณะของไดโอด เพื่อให้ผลแสดงออกทางออสซิลโลสโคปนั้นจะเป็นการวัดความสัมพันธ์กันระหว่างค่าของแรงดันที่ป้อนเข้าไดโอดและการนำกระแสในช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วตามหลักการทฤษฎีต้องป้อนแรงดันระดับต่างๆ ให้กับไดโอด เพื่อที่จะทำการวัดแรงดันในระดับที่ต่างกัน ไปเทียบกันกับการนำกระแสของตัวไดโอด ในการวัดการนำกระแสของไดโอดนั้น เครื่องมือวัดออสซิลโลสโคปไม่สามารถที่จะวัดกระแสได้ จึงต้องมีวงจรแปลงกระแสให้เป็นแรงดันและอีกวงจรที่ต้องมีก็คือ วงจรกำเนิดแรงดันในระดับต่างๆ หรือวงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยที่ใช้ในการทดลองนี้

จากรูปที่ 3.1 ตัว IC₁ ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม ซึ่งจัดอยู่ในตระกูลของวงจรมัลติไวเบรเตอร์ ชนิดอะสเตเบิล (Astable) นั่นคือสัญญาณที่ขาเอาต์พุตของ IC₁ จะไม่คงที่แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะอยู่ตลอดเวลา (ระดับสูงหรือต่ำ) โดยจะปราศจากสัญญาณอินพุตใดๆ จากวงจรต่อรวม IC₁ จะเห็นได้ว่าการนำสัญญาณเอาต์พุตมาป้อนกลับสองทางและสัญญาณเอาต์พุตที่ถูกนำผ่านออกมา ผ่านตัวต้านทาน R₂ เข้าสู่ขั้วอินพุตลบของ IC₁ และต่ออยู่กับตัวเก็บประจุ C₁ จะเป็นภาคที่กำหนดความถี่ ส่วนตัวต้านทาน R₁ และที่ตัวต้านทาน R₃ เป็นภาคที่ใช้กำหนดแรงดันอ้างอิงให้กับขั้วอินพุตบวก เมื่อพิจารณาตามวงจรแล้วจะนำสัญญาณที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C₁ มาใช้เป็นสัญญาณฟันเลื่อย

ที่ IC_3 จะได้รับสัญญาณฟีดแบ็กจากตัวเก็บประจุ C_1 ที่ป้อนเข้ามาที่ขั้วบวกของ IC_3 ซึ่งได้ต่อเป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส จากนั้นจะได้ค่าอัตราขยายออกมาโดยที่ค่าอัตราขยายจะมีค่าเท่ากับสองเท่า เอาต์พุตของ IC_3 จะต่อเข้ากับตัวต้านทาน R_8 เพื่อใช้กำหนดกระแสให้กับไดโอดที่ต้องการตรวจสอบคุณลักษณะ โดยในส่วนของ IC_2 จะทำหน้าที่แปลงกระแสให้เป็นแรงดันและที่ตัวต้านทาน R_4 จะส่งผลให้เกิดแรงดัน -1 โวลต์เมื่อกระแสไหลผ่านตัวไดโอดที่ต้องการตรวจสอบคุณลักษณะ มีค่าเท่ากับ 1 มิลลิแอมป์ ซึ่งจะสรุปได้ว่า IC_3 จะทำหน้าที่แปลงกระแสให้เป็นแรงดัน โดยมีอัตราส่วนเท่ากับกระแส 1 มิลลิแอมป์ เอาต์พุตเท่ากับ -1 โวลต์ และจาก IC_4 จะทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส อัตราขยายจะเท่ากับ 1 เท่า เพื่อทำการกลับค่าแรงดันเอาต์พุตจาก IC_2 ที่มีค่าเอาต์พุตเป็นค่าแรงดันลบให้มีค่าเป็นค่าแรงดันบวก แล้วเอาต์พุตที่ได้จาก IC_4 นั้นจะนำไปใช้วัดด้วยออสซิลโลสโคปต่อไป

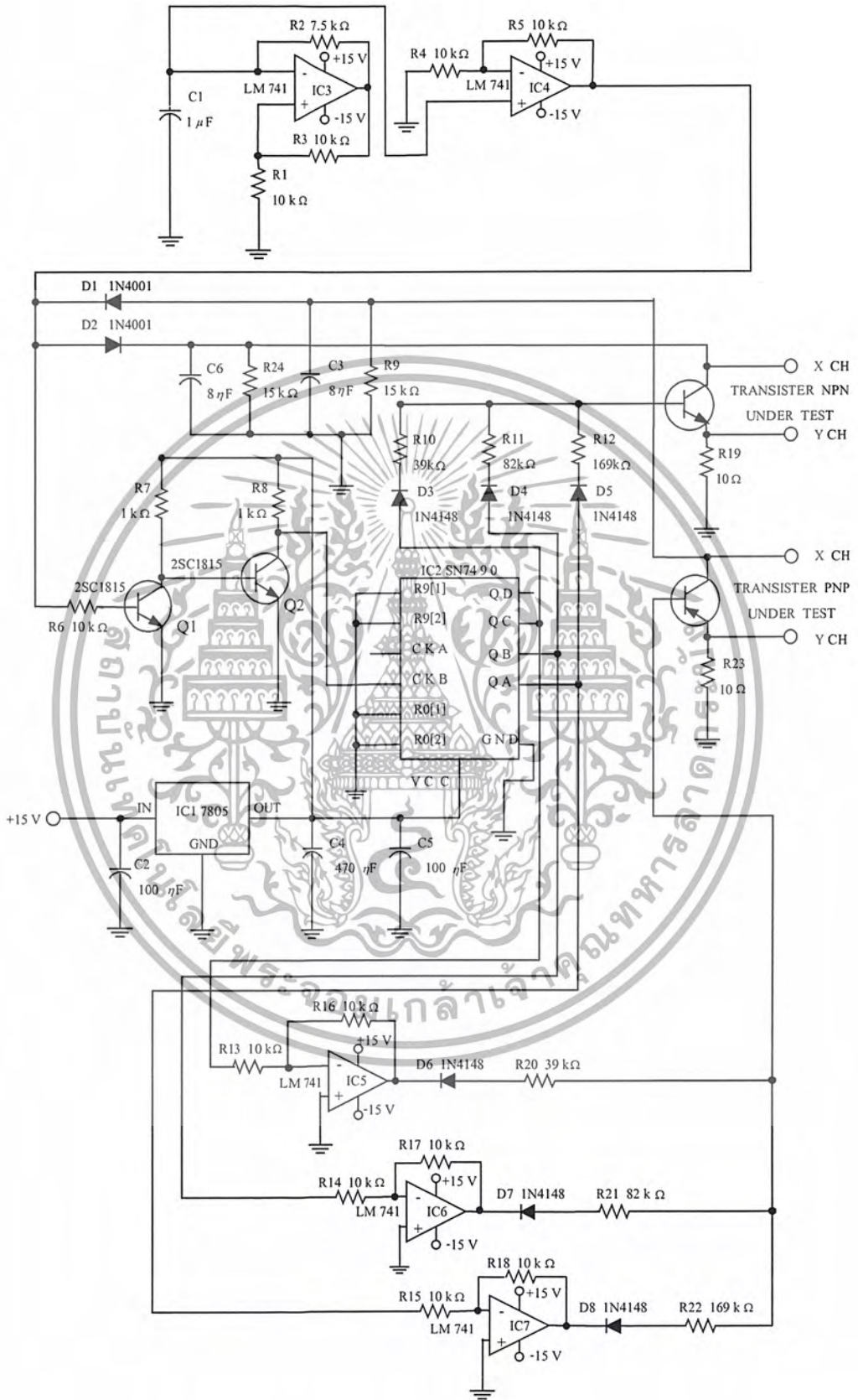
3.3 หลักการทำงานของวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์

สำหรับวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์นี้เป็นวงจรที่ประกอบอยู่ในส่วนของใบงานที่ 1 เป็นเรื่องของคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งตามวัตถุประสงค์ในใบงานต้องการให้ผู้ศึกษาได้ทราบถึงคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ว่ามีคุณสมบัติอย่างไรและสามารถนำไปใช้งานได้ โดยวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์นี้สามารถที่จะแสดงได้ดังรูปที่ 3.6

หลักการเบื้องต้นของวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 3.6 จะคล้ายกันกับหลักการทำงานของวงจรถ่ายทอดกราฟคุณลักษณะของไดโอด แต่สิ่งที่เพิ่มขึ้นมานั้นก็คือ การป้อนกระแสไบอัสให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ที่ต้องการจะวัดคุณลักษณะ และสำหรับลักษณะของกระแสที่ป้อนให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ (I_B) นั้น จะมีอยู่ด้วยกันหลายระดับต่างๆ กันไปในลักษณะที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าสูงสุดที่กำหนดไว้แล้วจะกลับมาเป็น 0 จากนั้นก็จะเริ่มเพิ่มขึ้นใหม่จะเป็นไปในลักษณะนี้ โดยในส่วนของกราฟจะเป็นการวัดความสัมพันธ์กันของแรงดัน V_{CEQ} , I_{CQ} และ I_{BQ} ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนของวงจรถ่ายทอดสัญญาณฟีดแบ็ก โดยจะทำหน้าที่เป็นไบอัสแรงดันให้กับขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ที่ต้องการจะวัดคุณลักษณะและวงจรถ่ายทอดระดับต่างๆ เพื่อไบอัสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์

จากวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์(รูปที่3.6)ในส่วนของ IC_3 และ IC_4 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในส่วนของวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของไดโอด D_1 เป็นไดโอดที่ทำหน้าที่นำสัญญาณในช่วงลบของสัญญาณฟันเลื่อยนั้นมาทำการไบอัสให้กับขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ที่ต้องการจะวัดคุณลักษณะ D_2 จะทำหน้าที่เป็นไดโอดนำสัญญาณในช่วงบวกของสัญญาณฟันเลื่อยมาไบอัสให้กับขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ที่ต้องการจะวัดคุณลักษณะ ทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำหน้าที่เปลี่ยนจากสัญญาณฟันเลื่อยให้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม โดยในการวัดวงจรจะให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ เมื่อทำการพิจารณาวงจรแล้วจะเห็นได้ว่า ทรานซิสเตอร์ Q_1 ให้เอาต์พุตในลักษณะที่กลับเฟส จึงจะต้องทำการกลับเฟสอีกครั้งหนึ่งโดยใช้ทรานซิสเตอร์ Q_2 เพื่อนำสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้ไปเป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับ IC_2 ในส่วนของ IC_1 ทำหน้าที่เป็นวงจรนับขึ้นแบบไบนารี ในวงจรจะนำเอาต์พุตที่ได้จาก Q_A , Q_B และ Q_C นำมาใช้งาน ซึ่งไดโอด D_3 , D_4 และ D_5 มีหน้าที่เป็นสวิตช์เลือกสัญญาณที่เป็นระดับลอจิกสูงมาใช้งานและเป็นตัวกำหนดทิศทางของกระแสให้กับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN โดยที่ตัวต้านทาน R_{10} , R_{11} และ R_{12} ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดกระแส แต่ละตัวจะมีค่าที่ต่างกัน ลักษณะกระแสที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มเป็นระดับตามลักษณะการนับของ Q_A , Q_B และ Q_C ของ IC_2 ผลรวมของกระแสที่ไหลผ่าน R_{10} , R_{11} และ R_{12} จะเท่ากับกระแส I_B ที่ไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ที่ต้องการจะวัดคุณลักษณะชนิด NPN ตัวต้านทาน R_{19} กับ R_{23} จะเป็นตัวที่ใช้แปลงกระแสให้เป็นแรงดันซึ่งมีอัตราส่วน 1 มิลลิแอมป์ ต่อ 10 มิลลิโวลต์

ในส่วนของ IC_5 , IC_6 และ IC_7 จะทำหน้าที่กลับเฟสแรงดันของเอาต์พุตที่ IC_2 แล้วผ่านที่ตัวไดโอด D_6 , D_7 และ D_8 เพื่อทำการกำหนดทิศทางของกระแส โดยที่ตัวต้านทาน R_{20} , R_{21} และ R_{22} จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดกระแสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์เช่นเดียวกันกับตัวต้านทาน R_{10} , R_{11} และ R_{12} ที่เป็นตัวกำหนดกระแสที่ขาเบสให้กับทรานซิสเตอร์ที่ต้องการจะวัดคุณลักษณะชนิดของ PNP ส่วนที่ตัว IC_1 จะทำหน้าที่ปรับระดับแรงดันจาก 15 โวลต์ให้เป็น 5 โวลต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับที่ตัว IC_2

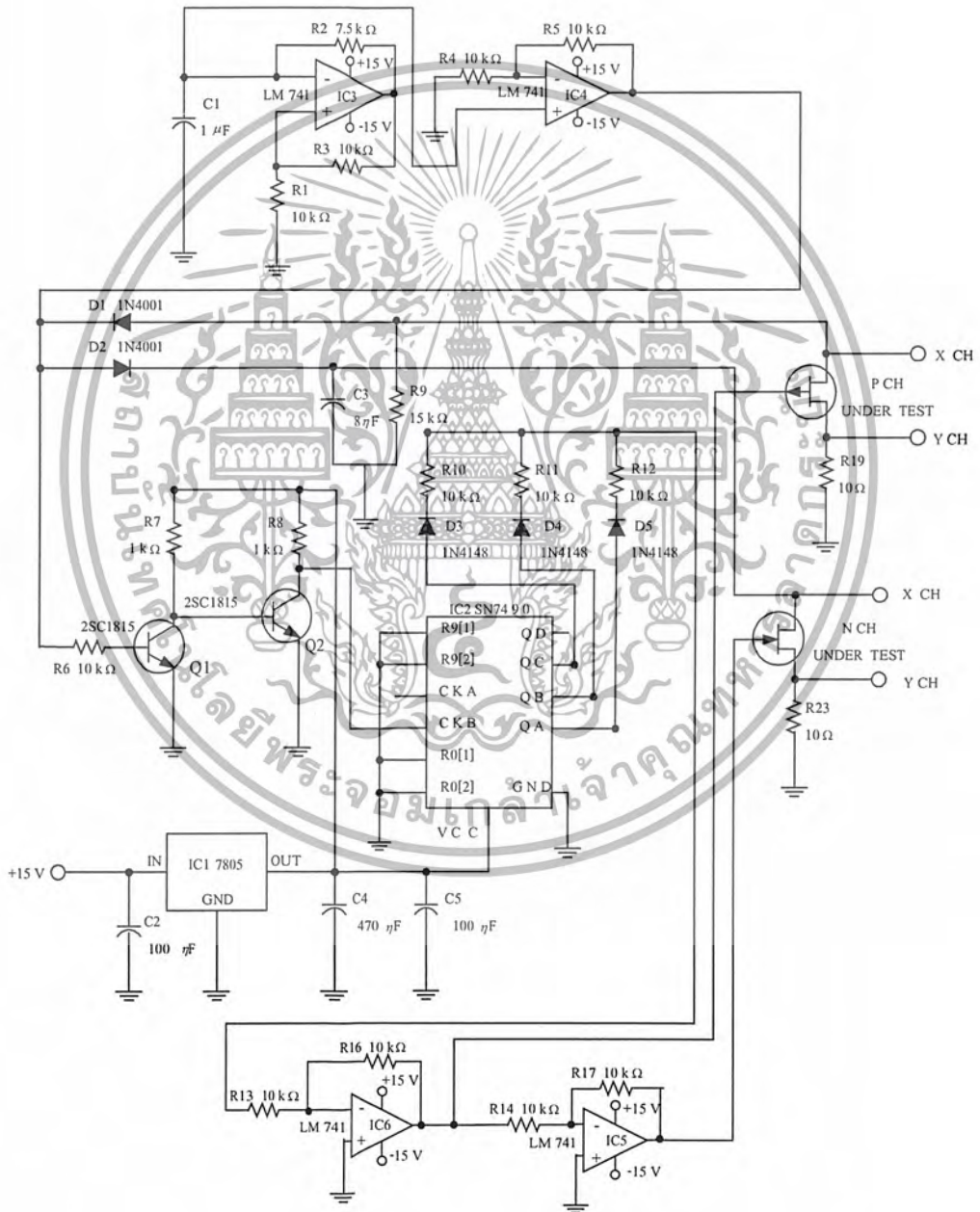


รูปที่ 3.2 วงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงพาณิชย์เท่านั้น เมื่อผู้ซื้อได้หันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 หลักการทำงานของวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของเฟทและไอจีบีที

วงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของเฟทและไอจีบีทีเป็นวงจรที่ประกอบอยู่ในส่วนของใบงานที่ 1 ซึ่งในใบงานมีวัตถุประสงค์ต้องการให้ผู้ศึกษาได้ทราบถึงคุณสมบัติของเฟทและไอจีบีที โดยในส่วนของ วงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของเฟทและ ไอจีบีทีที่แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยที่จะมีรายละเอียดของหลักการทำงานในหัวข้อต่อไป



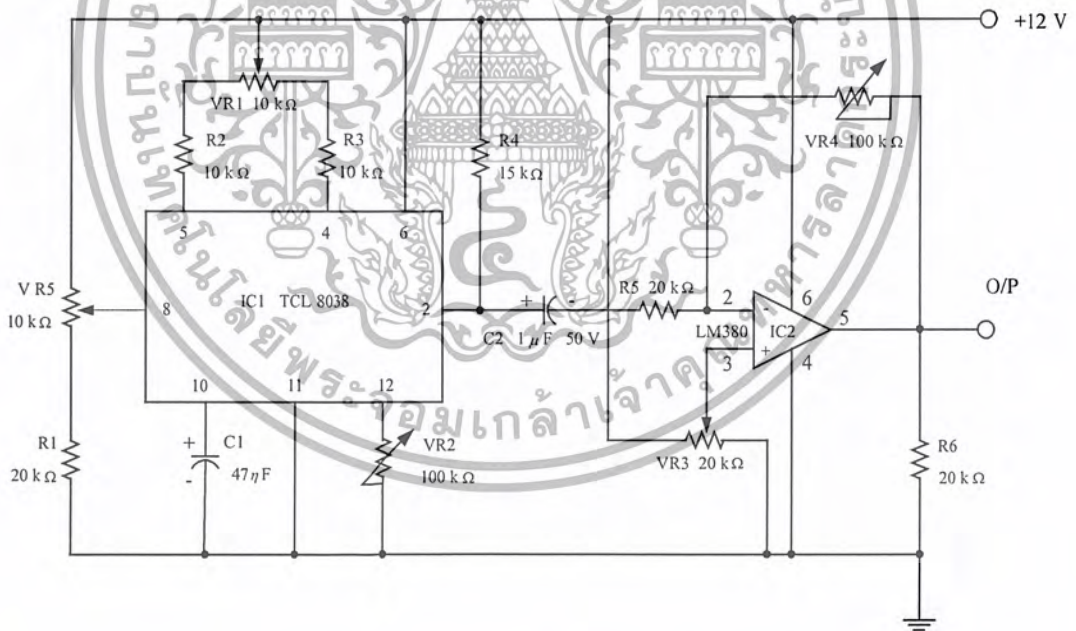
รูปที่ 3.3 วงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของเฟทและไอจีบีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของเฟทและไอจีบีทีนี้ เมื่อพิจารณาจากรูปวงจรที่ 3.3 จะสังเกตเห็นได้ว่าจะมีลักษณะคล้ายกันกับวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ เพียงแต่มีส่วนที่แตกต่างไปคือที่ตัว IC₆ และ IC₅ ซึ่งในส่วนของ IC₆ นั้นจะหน้าที่เปลี่ยนจากกระแสให้เป็นแรงดันแบบกลับเฟส เพื่อนำไปทำการไบอัสที่ขาเกตของเฟทชนิด P และในส่วนของ IC₅ จะเป็นตัวที่ทำการกลับเฟสจากแรงดันไฟลบให้เป็นแรงดันไฟบวก เพื่อนำไปไบอัสให้กับขาเกตของเฟทชนิด N และขาเกตของไอจีบีทีชนิด N เหตุผลเนื่องมาจากเฟทและ ไอจีบีทีจะเป็นตัวที่ควบคุมกระแสด้วยแรงดัน

3.5 หลักการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

ในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์นี้ เป็นวงจรที่จัดอยู่ในใบงานที่ 2 ซึ่งเป็นเรื่องของการกำเนิดสัญญาณไซน์ซอว์ทึ่ สำหรับวงจรการทำงานที่ได้ออกแบบไว้ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เป็นวงจรที่นำไปใช้ประกอบในใบงานการทดลอง



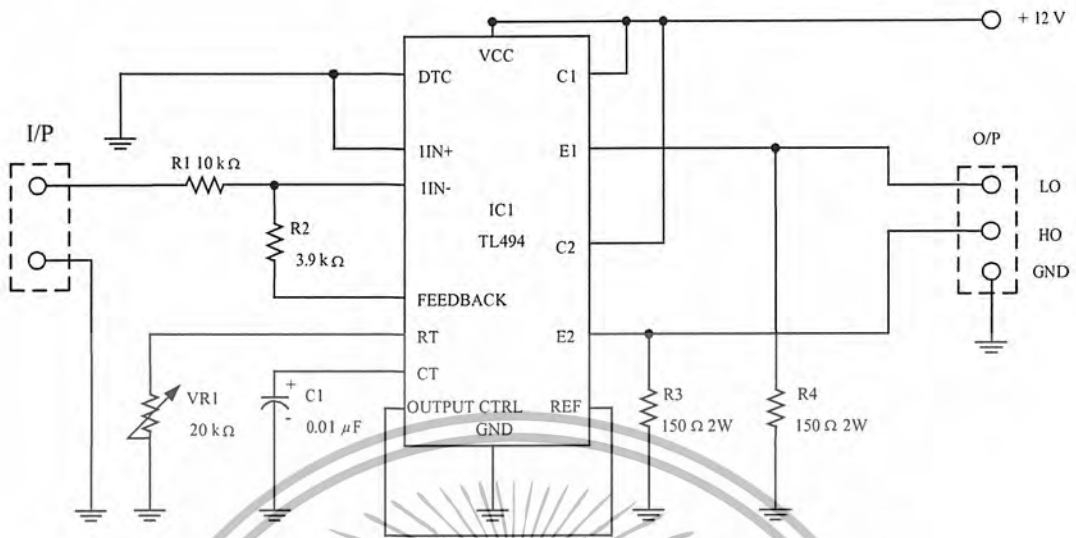
รูปที่ 3.4 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

จากวงจรสร้างสัญญาณของไอซี เบอร์ 8038 โดยเป็น ไอซีที่ถูกพัฒนาและถูกออกแบบมาเพื่อสำหรับสร้างรูปคลื่นสัญญาณ ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วไม่จำเป็นที่จะต้องมียุโรปกรณ์ใดๆ ต่อพ่วงในการใช้งาน แต่ตามหลักความเป็นจริงในทางปฏิบัติจำเป็นต้องมียุโรปกรณ์ต่อพ่วงเพื่อปรับค่าต่างๆ ให้เกิดความเหมาะสมในการใช้งาน โดยขีดความสามารถของตัวไอซีเบอร์ 8038 ที่สามารถทำได้คือการสร้างรูปคลื่นสัญญาณ ไซน์ซอซด์ สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม และสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งรูปคลื่นดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในเรื่องของค่าความถี่และภาระหน้าที่ในการทำงาน (Duty Cycle) เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมียุโรปกรณ์ต่อพ่วงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและขีดความสามารถในการทำงาน

การทำงานของวงจรในขาที่ 8 ของ ไอซีจะถูกต่อร่วมเข้ากับตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยทำหน้าที่เป็นตัวปรับเพิ่มหรือลดค่าความถี่ที่ใช้งานของควมถี่เอาต์พุต ในการใช้งานจริงสามารถปรับค่าความถี่ที่ใช้งานได้ตั้งแต่ 50 เฮิร์ตซ์ ถึง 500 เฮิร์ตซ์ ในส่วนของขา 4 และขา 5 ของ ไอซีต่อร่วมอยู่กับตัวต้านทาน 4.7 กิโลโอห์ม 2 ตัว โดยต่ออนุกรมอยู่กับวงจร ตัวต้านทานดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดค่า Duty Cycle ในการใช้งานจะสามารถใช้ค่าได้ตั้งแต่ 10 เปอร์เซ็นต์ จนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ในชุดทดลองนี้จะกำหนดค่า Duty Cycle ในการใช้งานอยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ และสัญญาณเอาต์พุต ไซน์ซอซด์จะได้จากขาที่ 2 ของ ไอซีส่งผ่านไปยัง ไอซีออปแอมป์ ซึ่งทำหน้าที่ปรับระดับสัญญาณและขยายสัญญาณ เพื่อนำไปใช้ยังภาคต่อไป

3.6 หลักการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างของพัลส์

สำหรับวงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างของพัลส์ เป็นวงจรที่อยู่ในส่วนหนึ่งของใบงานที่ 2 โดยสามารถควบคุมการกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่ควบคุมความถี่และความกว้างของพัลส์ได้ ซึ่งในใบงานนี้เป็นเรื่องของ การควบคุม PWM โดยวัตถุประสงค์ในใบงานต้องการที่จะให้ผู้ศึกษาได้ทราบเกี่ยวกับการกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างของพัลส์และการควบคุม PWM โดยรูปวงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้สามารถดูได้จากรูปที่ 3.5 และจากรูปก็ได้ทำการอธิบายไว้แล้วในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์

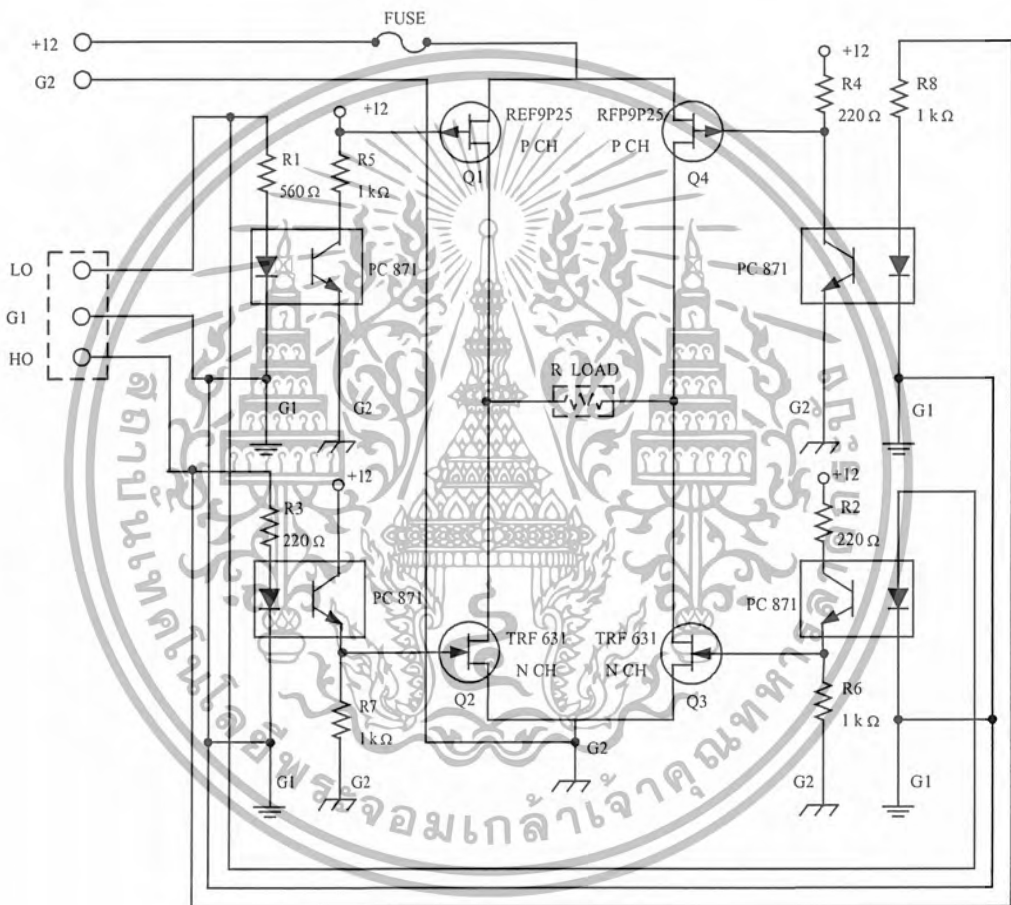
จากรูปวงจรที่ 3.5 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ โดยวงจรการทดลอง จะใช้วงจรรวม เบอร์ TL494 ทำหน้าที่ควบคุมการกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่สามารถควบคุมความถี่และความกว้างของพัลส์ได้ โดยการต่อค่าความต้านทานปรับค่าได้ภายนอก (R_p) ร่วมกับตัวเก็บประจุควบคุมฐานเวลา (C_p) และยังสามารถกำหนดค่า Dead-time ของพัลส์ได้ด้วย แรงดันไบอัส (V_{CC}) ใช้ได้ตั้งแต่ 7 โวลต์ ถึง 40 โวลต์ และสัญญาณของเอาต์พุตจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ชุด คือ ชุดของ Q_1 และ Q_2 เป็นลักษณะพัช-พัลส์ให้แรงดันคอคเคิลเคอร์สูงสุดได้ 40 โวลต์ กระแสของเอาต์พุตไม่เกิน 200 มิลลิแอมป์ ตัวเก็บประจุฐานเวลาใช้ได้ตั้งแต่ 0.47 nF ถึง 10,000 nF และที่ตัวความต้านทานฐานเวลาใช้ได้ตั้งแต่ 1.8 K Ω ถึง 500 K Ω กำหนดความถี่เอาต์พุตของพัลส์ได้ตั้งแต่ 1KHz ถึง 300 KHz

พิจารณาจากวงจรที่ C_1 และ VR_1 จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดความถี่เอาต์พุต ซึ่งจะสามารถปรับความถี่เอาต์พุตได้โดยทำการปรับที่ขา VR_1 ในการควบคุมสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์จะใช้แรงดันควบคุมทางขา 1 IN ซึ่งเมื่อพิจารณาจากวงจรภายในจะเป็นการจับวงจรควบคุมและป้อนกลับแบบลบ ในส่วนของขา Reference เมื่อวงจรทำงานเป็นปกติไม่เกิดการผิดพลาดจะทำให้มีแรงดัน 5 โวลต์ไปควบคุมเอาต์พุตให้ทำงานตามปกติที่ขา ควบคุมเอาต์พุต (Out Control) ในส่วนของภาคเอาต์พุต R_3 และ R_4 เป็นโหลดทางภาคเอาต์พุตซึ่งจะนำสัญญาณที่ตกคร่อม R_3 และ R_4 ไปควบคุมที่ภาคขับกำลังต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 หลักการทำงานของภาคขับกำลังในวงจรอินเวอร์เตอร์โดยใช้มอสเฟต

วงจรภาคขับกำลังนี้เป็นวงจรที่อยู่ในส่วนของใบงานที่ 3 ซึ่งเป็นเรื่องของอินเวอร์เตอร์ ใบงานนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการให้ผู้ที่จะศึกษาได้ทราบถึงภาคการทำงานต่างๆ ของอินเวอร์เตอร์และหลักการทำงานเบื้องต้นของอินเวอร์เตอร์ โดยในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ได้ออกแบบไว้ให้ใช้มอสเฟตเป็นตัวขับโหลดในภาคกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรภาคขับกำลัง

ในรูปที่ 3.6 จะเป็นรูปของภาคขับกำลังที่ในวงจรอินเวอร์เตอร์โดยใช้มอสเฟต โดยมีหลักการเป็นลักษณะการส่งผ่านสัญญาณควบคุมทางแสง มีข้อดีคือ สามารถแยกแหล่งจ่าย ภาคควบคุมกับภาคกำลังออกจากกัน ทำให้วงจรทางภาคควบคุมมีเสถียรภาพ ไม่เกิดสัญญาณทางภาคขับกำลังมารบกวน ในการส่งผ่านสัญญาณควบคุมทางแสงจะใช้อุปกรณ์ที่มีชื่อว่า ออปโตคัพเปลอร์ และในส่วนของภาคขับกำลังจะใช้มอสเฟตที่มีคุณสมบัติพิเศษกว่ามอสเฟตทั่วไป คือ มีไดโอดป้องกัน

แรงดันย้อนกลับอยู่ภายในตัวเองด้วย โดยการสวิตช์ในภาคขั้วกำลังนี้ มีลักษณะการสวิตช์เพื่อให้ โหลดเปรียบเสมือนได้รับแรงดันกระแสสลับ Q_1 และ Q_3 จะทำงานพร้อมกันสลับกับ Q_2 และ Q_4 ซึ่งจะทำงานในลักษณะตรงกับ Q_1 และ Q_3 จะทำให้เอาต์พุตเป็นแรงดันไฟสลับและจากวงจร ทดลองนี้ เมื่อไม่มีโหลดภาคขั้วกำลังจะไม่ทำงาน

เมื่อพิจารณาจากวงจรทดลอง R_1, R_2, R_3 และ R_4 ทำหน้าที่กำหนดกระแสจากอินพุตที่ เข้าไปยังตัวกำเนิดแสง ภายในตัวออปโตคัพเปอร์ เมื่อพิจารณาที่ OP_1 และ OP_2 ได้รับอินพุตจาก แหล่งเดียวกันแต่เอาต์พุตจะกลับเฟสกัน 180 องศาทางไฟฟ้า เหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพื่อไปควบคุม Q_1 และ Q_3 ให้ทำงานพร้อมกันเพราะ Q_1 และ Q_3 เป็นมอสเฟตที่ต่างชนิดกันจึงใช้แรงควบคุมที่สลับไฟ ฟ้าต่างกัน ในส่วนของ OP_3 และ OP_4 มีลักษณะเช่นเดียวกับ OP_1 และ OP_2 แต่นำสัญญาณ ไปควบคุม Q_2 และ Q_4 ซึ่งสัญญาณที่เข้ามาควบคุมจะเป็นสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์

3.8 การสร้างใบงานประกอบการทดลอง

มีขั้นตอนในการสร้างใบงานการทดลอง ดังนี้

1. ศึกษาหลักการของอินเวอร์เตอร์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธีการสร้างใบงาน ซึ่งได้สร้าง ใบงานการทดลองควบคุมไปกับการสร้างชุดทดลอง โดยรายละเอียดในใบงานการทดลองจะ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- 1.1 ชื่อหัวเรื่องการทดลอง
- 1.2 วัตถุประสงค์การทดลอง
- 1.3 ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น
- 1.4 รายการเครื่องมือและอุปกรณ์
- 1.5 ลำดับขั้นตอนการทดลอง
- 1.6 บันทึกผลการทดลอง
- 1.7 สรุปผลการทดลอง

2. ออกแบบรูปแบบของใบงานการทดลอง โดยให้อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโทและ อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโทพร้อม ตรวจสอบ หากมีข้อบกพร่องต้องทำการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

3. เมื่อได้ผ่านการตรวจสอบจากอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโทและอาจารย์ผู้ควบคุม ปริญญาโทพร้อม จึงทำการสร้างใบงานการทดลองขึ้น

4. นำใบงานการทดลองที่สร้างขึ้นให้อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโทและอาจารย์ผู้ควบคุม ปริญญาโทพร้อม ตรวจสอบความสมบูรณ์และความถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ได้ใบงานการทดลองพร้อมที่จะนำไปรับการประเมินคุณภาพของใบงานการทดลอง จากผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งลำดับขั้นตอนการสร้างใบงานการทดลอง แสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการสร้างใบงานการทดลอง

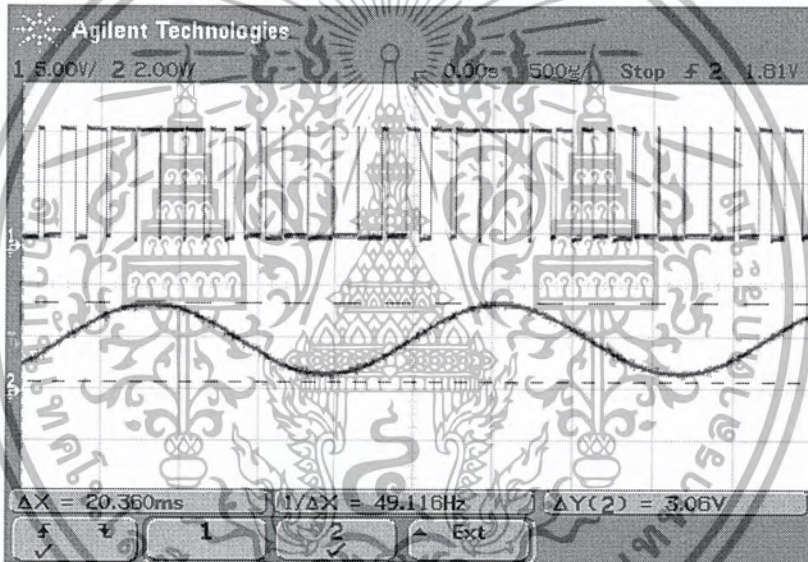
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 12 โวลต์

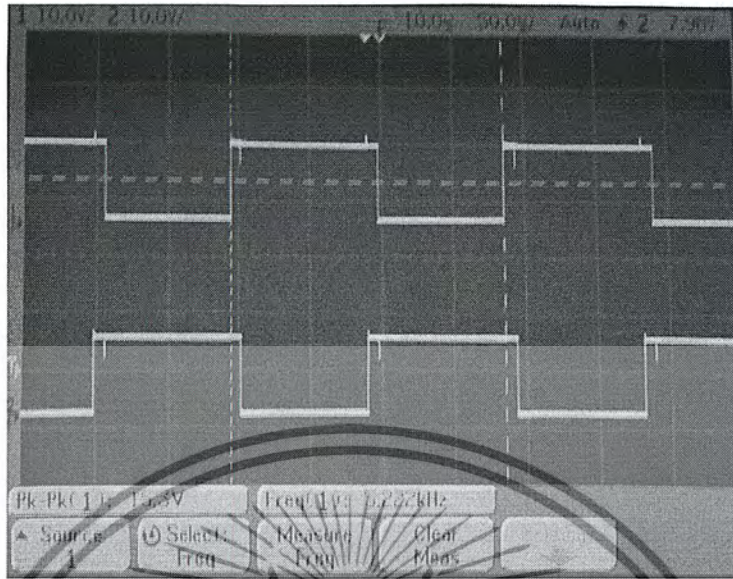
จากผลการทดลองของวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 12 โวลต์ จะได้รูปคลื่น ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 12 โวลต์

4.2 ผลการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์

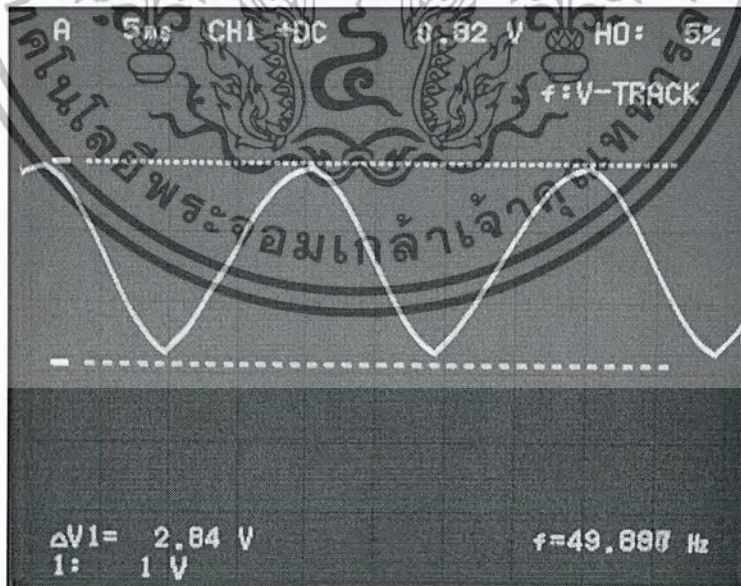
จากผลการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ จะได้รูปคลื่นสัญญาณดัง
ในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์

4.3 ผลการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

จากการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ จะได้รูปคลื่นดังรูปต่อไปนี้



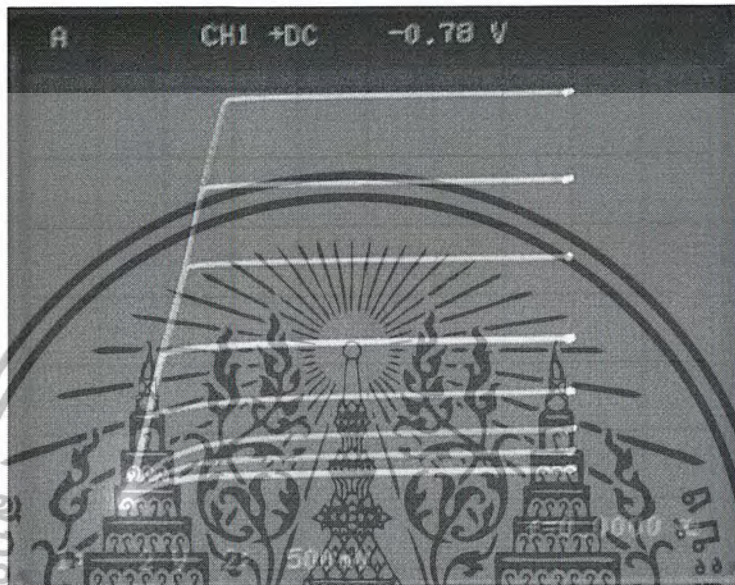
รูปที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองกราฟคุณลักษณะ

4.4.1 กราฟคุณลักษณะของมอสเฟต

ผลการทดลองของวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของมอสเฟต สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



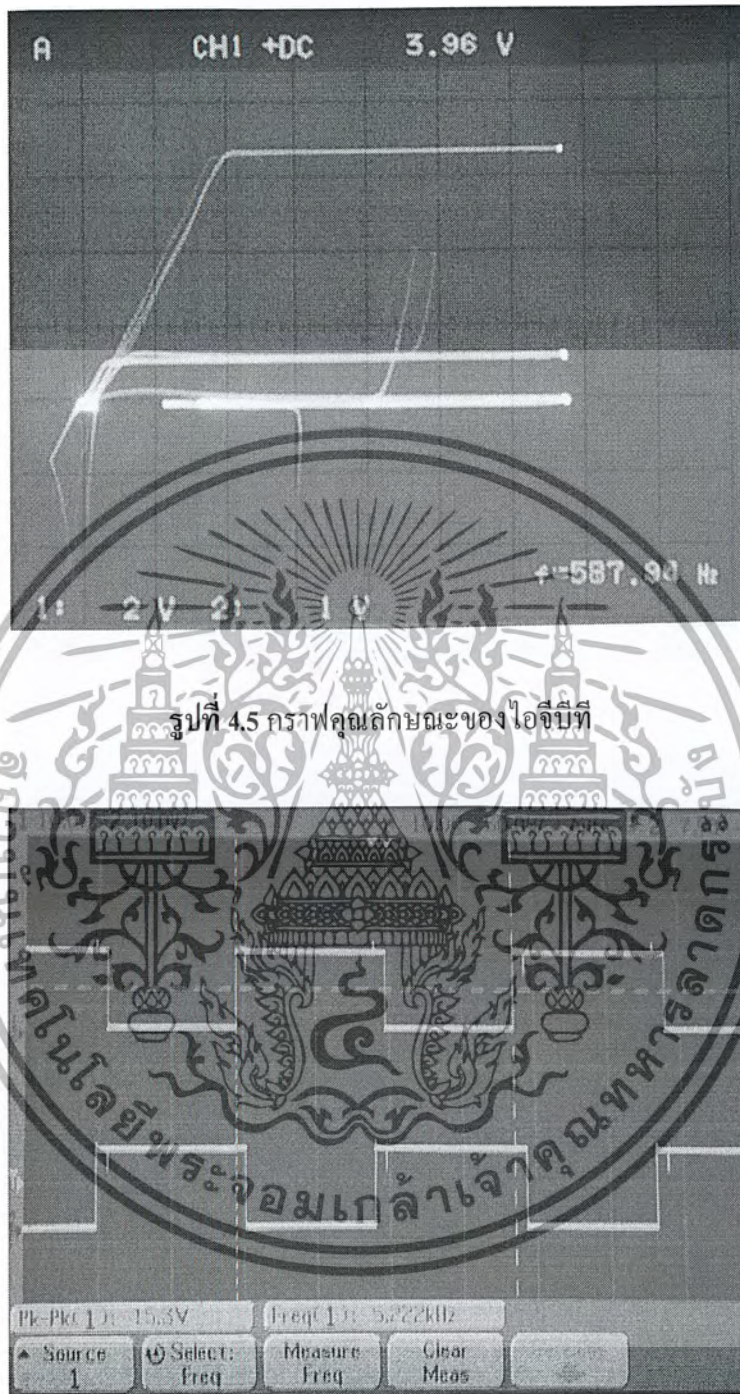
รูปที่ 4.4 กราฟคุณลักษณะของมอสเฟต

4.4.2 กราฟคุณลักษณะของไอจีบีที

จากการทดลองแสดงกราฟคุณลักษณะของไอจีบีที สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5

4.5 ผลการทดลองการเกิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์

จากวงจรกำเนิดสัญญาณ มอดูเลตความกว้างของพัลส์ หรือ PWM สามารถที่จะทำการทดลองและได้ผลการทดลองเป็นสัญญาณตามรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 สัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองหาค่าคุณภาพของชุดทดลอง

เมื่อสร้างชุดทดลองเสร็จ นำอุปกรณ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้วมาประกอบเป็นชุดทดลองและสร้างใบงานการทดลองประกอบเป็นชุดทดลอง แล้วนำชุดทดลองและใบงานการทดลองที่สร้างขึ้นมาให้ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์และผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ร่วมทำการตรวจสอบ จากนั้นนำชุดทดลองและใบงานการทดลองมาให้ผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งเป็นผู้มีประสบการณ์และความชำนาญในด้านของการสร้างชุดทดลองและใบงานการทดลองทำการประเมินคุณภาพ โดยทำการตอบแบบสอบถามเพื่อให้ทราบความพึงพอใจเกี่ยวกับชุดทดลองและใบงานการทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

4.6.1 วิธีการหาค่าคุณภาพ

นำชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสและใบงานการทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น นำไปให้กับผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 4 ท่านตรวจสอบโดยมีรายชื่อดังนี้

1. อาจารย์ อธิศักดิ์ สุวรรณมา
2. อาจารย์ อมรชัย ชัยชนะ
3. อาจารย์ ดร.ณรงค์ พิมสาร
4. อาจารย์ ดร.ฉันทนา ไหมดมณี

จากนั้นนำแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิทั้งในส่วนของแบบแสดงความคิดเห็นที่มีต่อชุดทดลองและแบบแสดงความคิดเห็นที่มีต่อใบงานการทดลองให้กับผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อแสดงความคิดเห็นโดยกำหนดมาตรฐานการประมาณค่าไว้ดังนี้ (ล้วน สายยศ 2538 : 167-169)

- 5 หมายถึง เห็นด้วยกับข้อคำถามมากที่สุด
- 4 หมายถึง เห็นด้วยกับข้อคำถามมาก
- 3 หมายถึง เห็นด้วยกับข้อคำถามปานกลาง
- 2 หมายถึง เห็นด้วยกับข้อคำถามน้อย
- 1 หมายถึง เห็นด้วยกับข้อคำถามน้อยที่สุด

ในการหาค่าความเหมาะสมโดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบชุดทดลองและใบงานการทดลองโดยใช้แบบสอบถามความคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งมีทั้งแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อชุดทดลองและแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อใบงานการทดลอง โดยมีเกณฑ์ในการแปลความหมายดังนี้ (ล้วน สายยศ 2538 : 167-169)

4.50 – 5.00	หมายถึง	เห็นด้วยกับข้อคำถามอยู่ในระดับมากที่สุด
3.50 – 4.49	หมายถึง	เห็นด้วยกับข้อคำถามอยู่ในระดับมาก
2.50 – 3.49	หมายถึง	เห็นด้วยกับข้อคำถามอยู่ในระดับปานกลาง
1.50 – 2.49	หมายถึง	เห็นด้วยกับข้อคำถามอยู่ในระดับน้อย
1.00 – 1.49	หมายถึง	เห็นด้วยกับข้อคำถามอยู่ในระดับน้อยที่สุด

จากนั้นนำแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ทรงคุณวุฒิมาทำการประเมินหาค่าเฉลี่ย โดยในการหาค่าเฉลี่ยจะหาได้จาก คะแนนของข้อมูลทั้งหมดรวมกันหารด้วยจำนวนคะแนนของข้อมูล (สมหวัง พิริยานุวัฒน์ 2541 : 32)



4.6.2 ผลของการหาค่าคุณภาพ

ทั้งนี้ผลของการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้เป็นแบบสอบถามความพึงพอใจ โดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 4 ท่าน ได้แสดงความคิดเห็นต่อชุดทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.97 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี และในส่วนของใบงานการทดลองได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.89 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุป

ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ในปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเรื่องของวงจรอินเวอร์เตอร์และนำชุดทดลองที่ได้ไปใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชาประลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1 ซึ่งผู้จัดทำได้วางขอบเขตคุณสมบัติของชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ที่จะทำการจัดสร้างขึ้นเอาไว้ดังนี้คือ

ในชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสนี้ สามารถที่จะปรับความถี่ได้ตั้งแต่ 50 เฮิร์ตซ์ ถึง 500 เฮิร์ตซ์ โดยเป็นการศึกษาในเรื่องของการทำงานของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เบื้องต้น คือ ทรานซิสเตอร์ เฟท ไอจีบีที วงจรกำเนิดความถี่แบบ PWM หลักการของอินเวอร์เตอร์และผลกระทบของอินเวอร์เตอร์ที่มีต่อ โหลด R L และ RL

จากการที่ได้ทำการศึกษาและทดลองสร้างชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสที่ได้ทำการสร้างสำเร็จแล้วนั้นปรากฏว่าผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง เพราะชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สามารถให้ผลการทำงานเป็นไปตามขอบเขตที่วางเอาไว้ทุกประการและชุดทดลองที่สร้างขึ้นมานั้นยังสามารถที่จะนำไปใช้ในการเรียนการสอนในวิชาประลองอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้

5.2 ปัญหาที่พบ

ในระหว่างการทำปริยญาณิพนธ์ เกิดปัญหาและอุปสรรคขึ้นซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้ทำการรวบรวมปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเอาไว้พอสังเขปดังนี้

5.2.1 ปัญหา

ปัญหาที่เกิดจากมาตรฐานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

5.2.2 แนวทางการแก้ไข

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการประกอบวงจรต่างๆ ในปริยญาณิพนธ์นี้มีค่าของความผิดพลาดอยู่ในตัวอุปกรณ์ จึงทำให้ผลของวงจรที่ได้ในทางปฏิบัติไม่ตรงกับที่คำนวณไว้ทางทฤษฎีหรือบางที่ไม่สามารถหาอุปกรณ์ที่มีค่าและคุณสมบัติที่ตรงกับความต้องการได้ ซึ่งต้องทำการแก้ไขโดยการพยายามที่จะเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพและมาตรฐานที่ใกล้เคียงกับอุปกรณ์เดิมมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางในการพัฒนา

จากชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสนี้ เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์แบบที่ไม่มีการป้อนกลับ แนวทางในการพัฒนาก็คือสามารถที่จะเพิ่มในส่วนของการป้อนกลับเข้าไป เพื่อให้ผู้ที่ต้องการจะทำการศึกษเกี่ยวกับวงจรอินเวอร์เตอร์ได้ทราบถึงหลักการของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีการทำงานแบบควบคุมป้อนกลับด้วย และในส่วนของภาคขั้วกำลังนั้นทางการทดลองในโครงการนี้จะใช้มอสเฟต แต่ในส่วนของแนวทางในการพัฒนาสามารถใช้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ชนิดอื่นๆ มาใช้แทนได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ดำรง จินขาวำ. “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2.” กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2543

ดำรง จินขาวำ. “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2 (ภาคปฏิบัติ).” กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2543

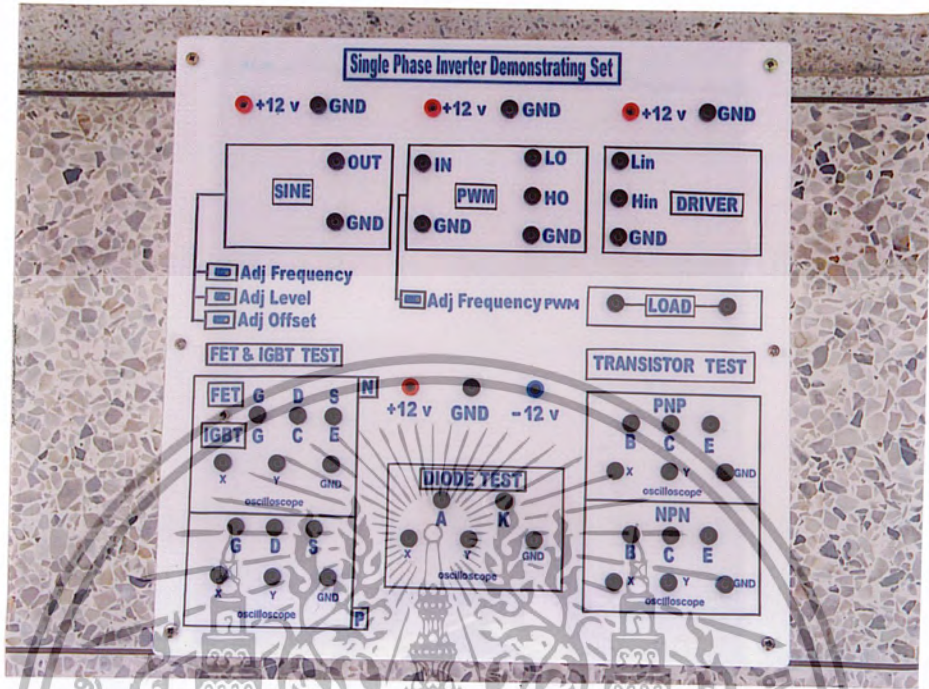
อุดมศักดิ์ ยั่งยืน. “POWER ELECTRONIC 1.” กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัดเอ็กเพรสมีเดีย. 2528



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ภาพด้านบนของชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส



รูปที่ ก.2 ภาพด้านข้างของชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

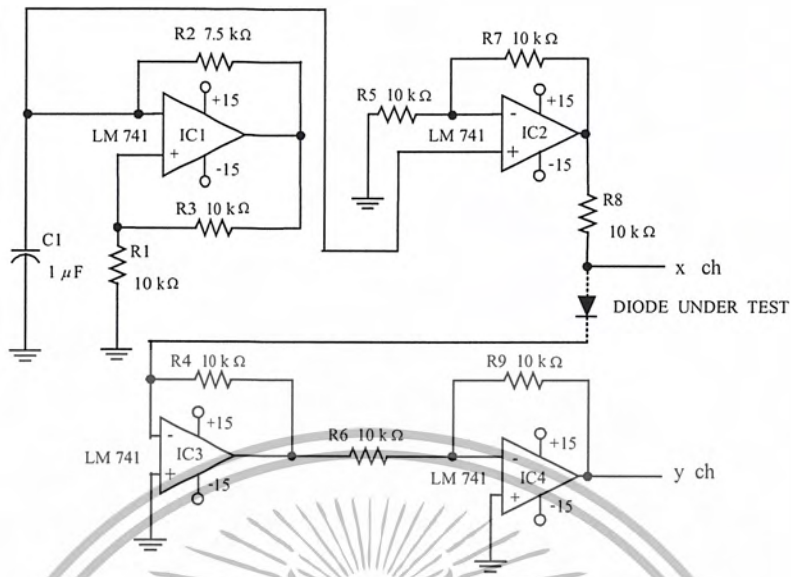
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



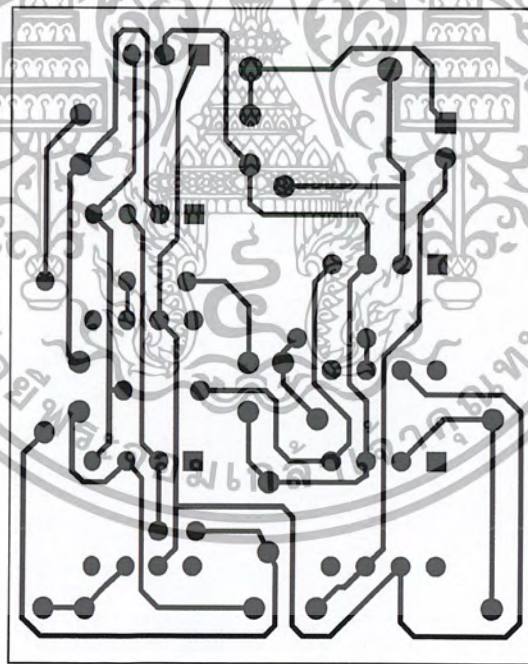
ภาคผนวก ข

วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

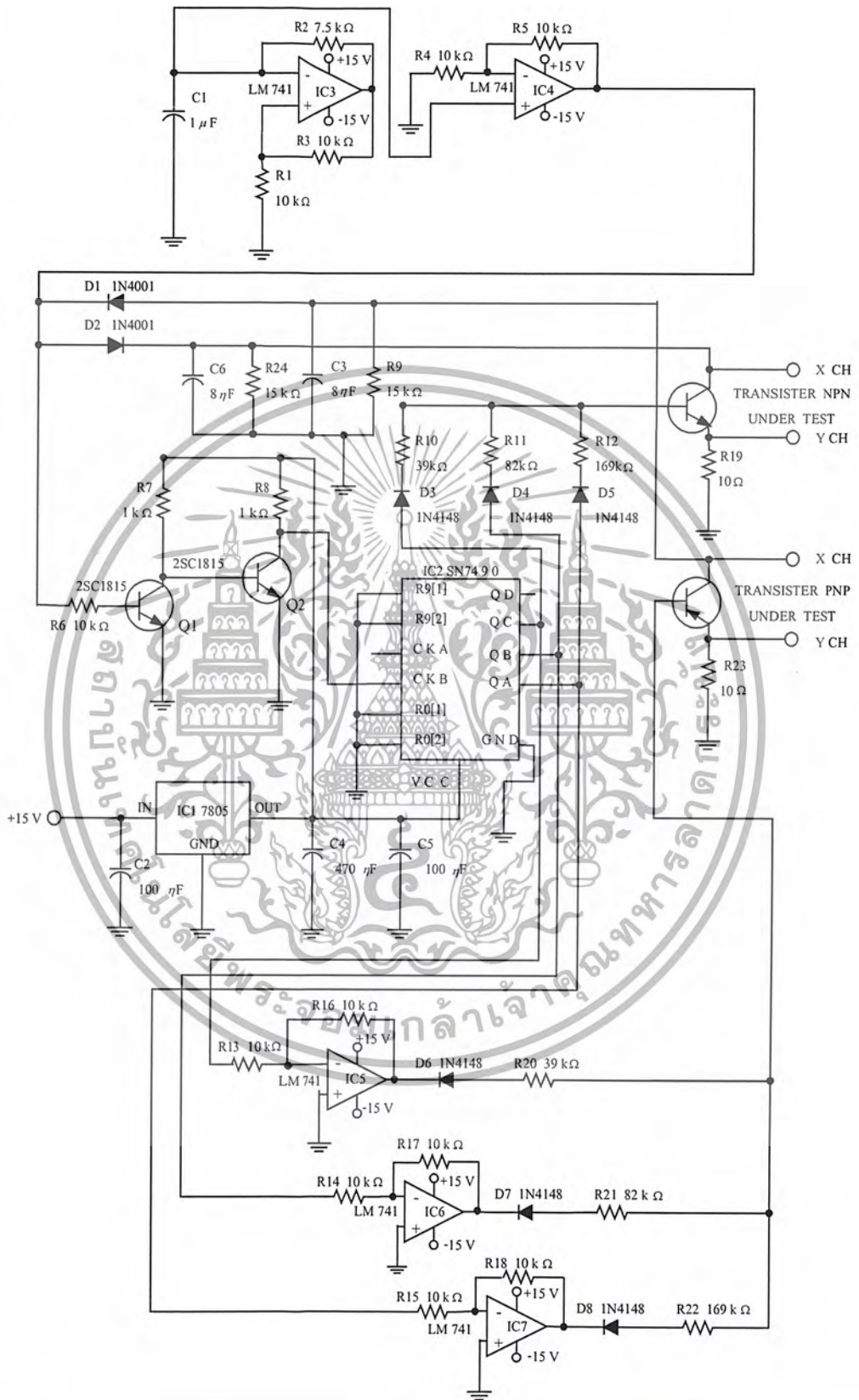


รูปที่ ข.1 วงจรกำหนดกราฟคุณลักษณะของไดโอด



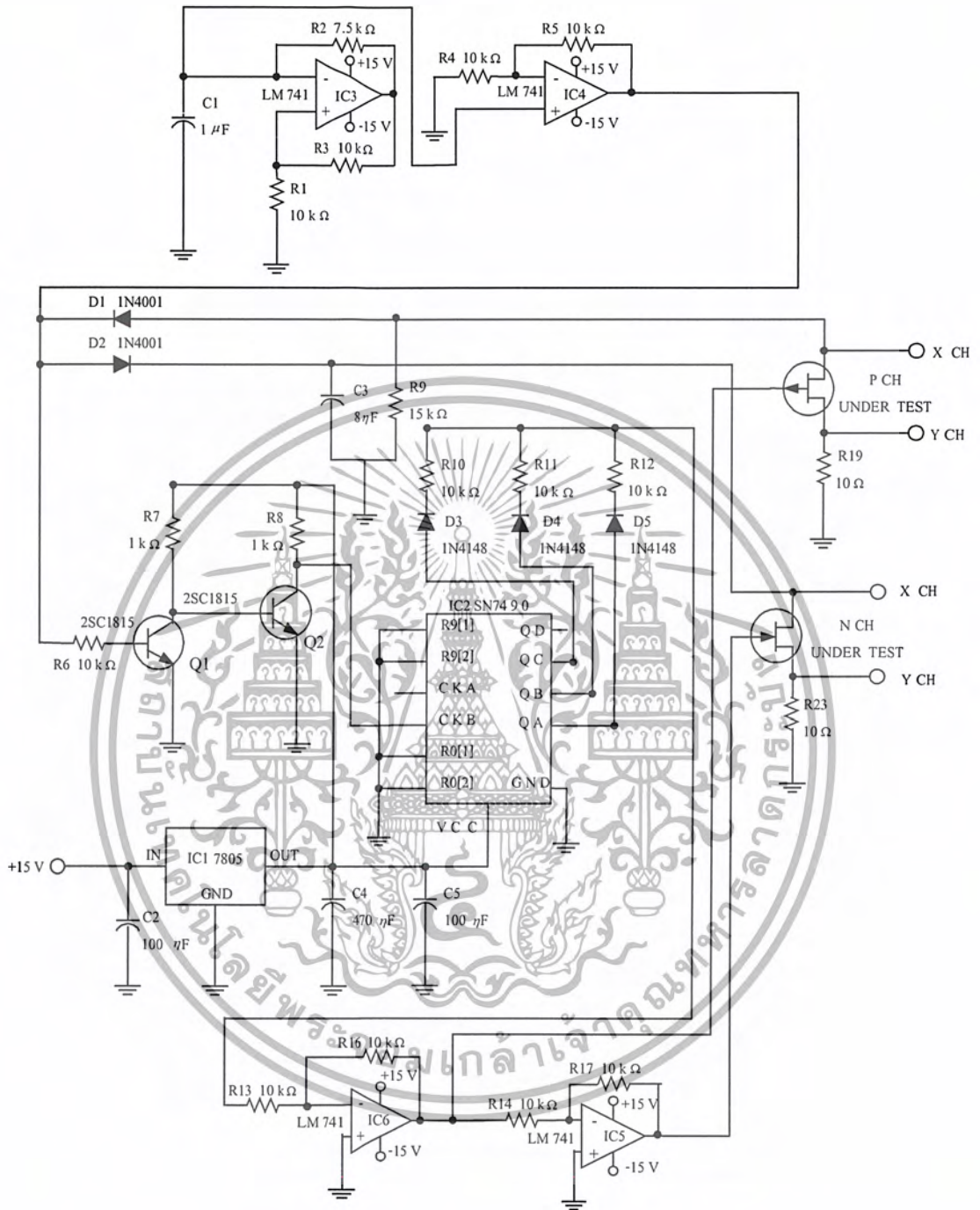
รูปที่ ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์กำหนดกราฟคุณลักษณะของไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



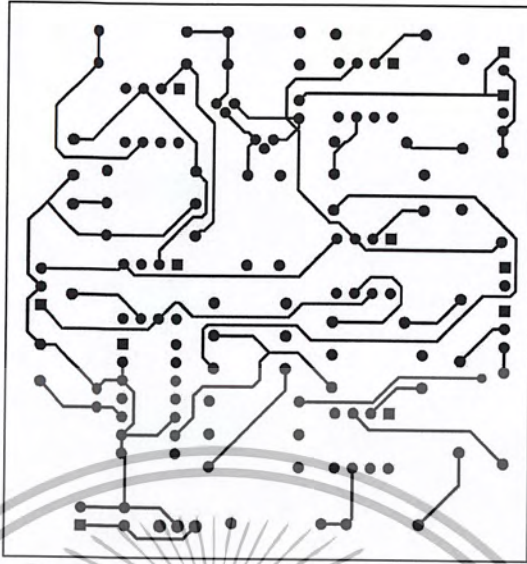
รูปที่ ข.3 วงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก่อนหน้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

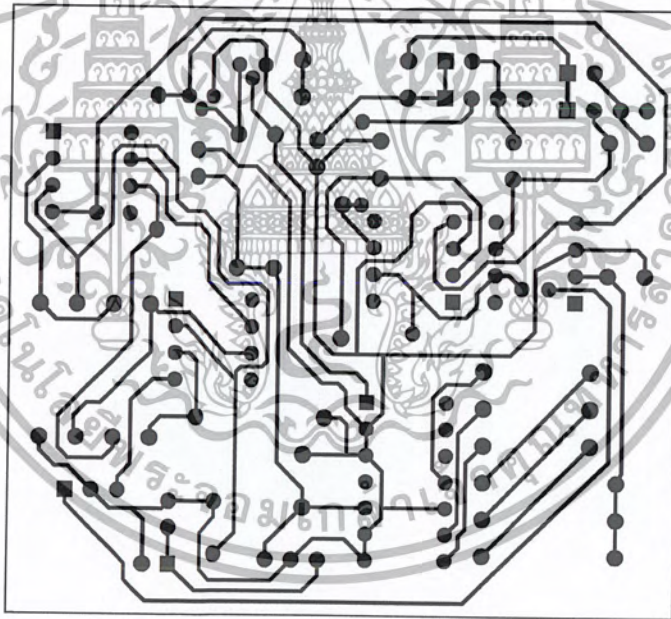


รูปที่ ข.4 วงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของเฟทและไอซีบีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

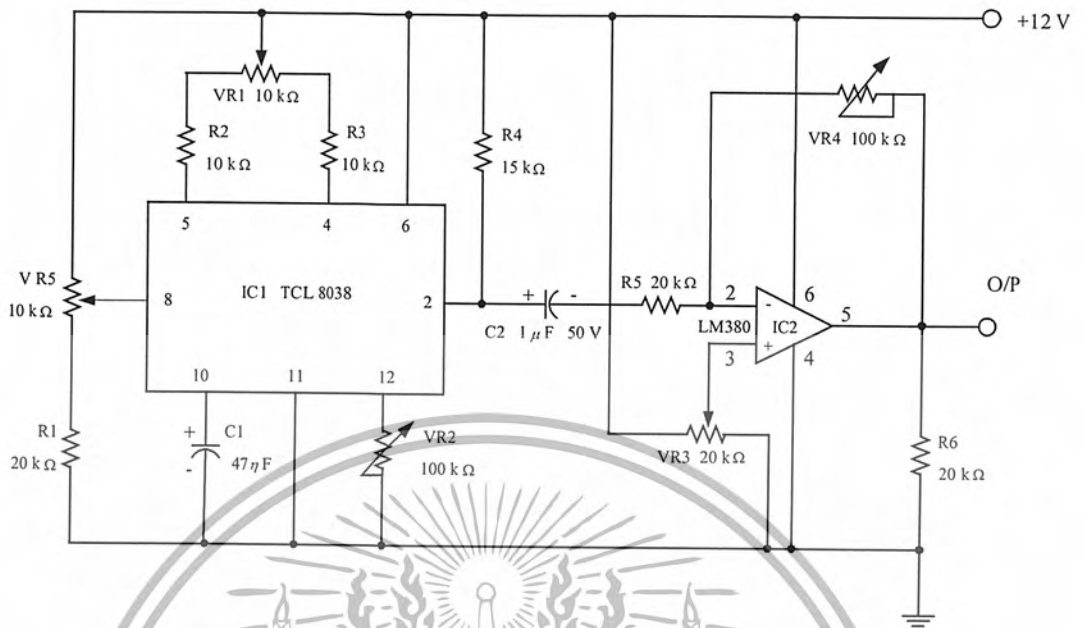


รูปที่ ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์กราฟิกลักษณะของทรานซิสเตอร์

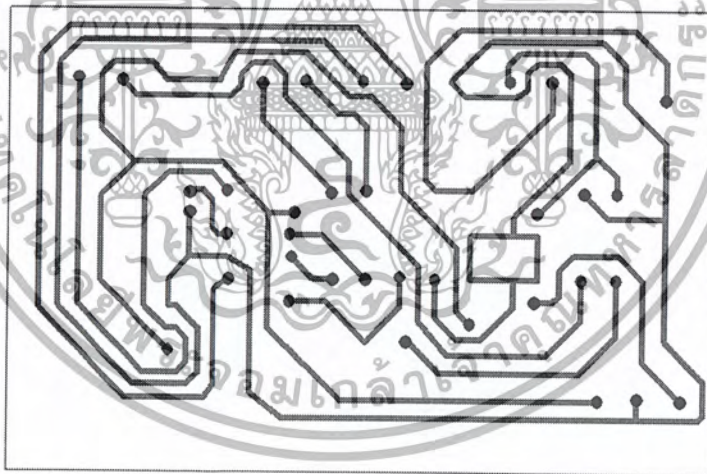


รูปที่ ข.6 แผ่นวงจรพิมพ์กราฟิกลักษณะของเพนเทลและไอจีบีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

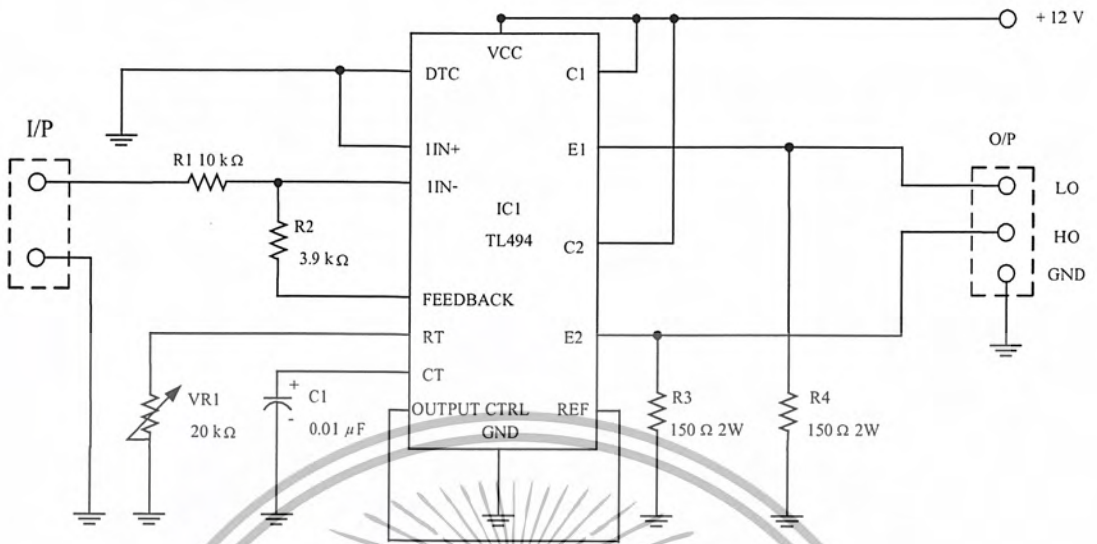


รูปที่ ข.7 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

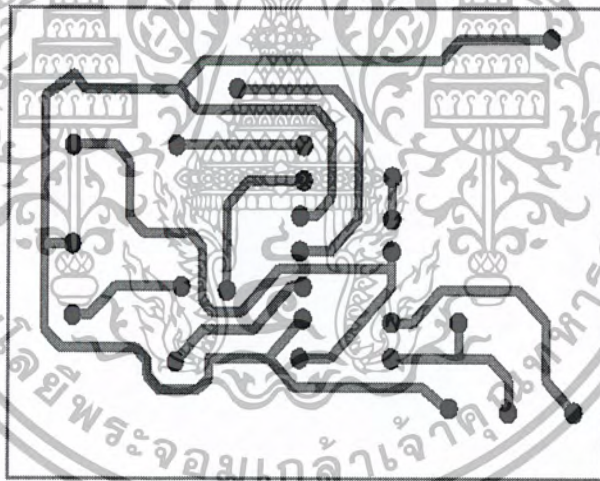


รูปที่ ข.8 แผ่นวงจรพิมพ์กำเนิดสัญญาณไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

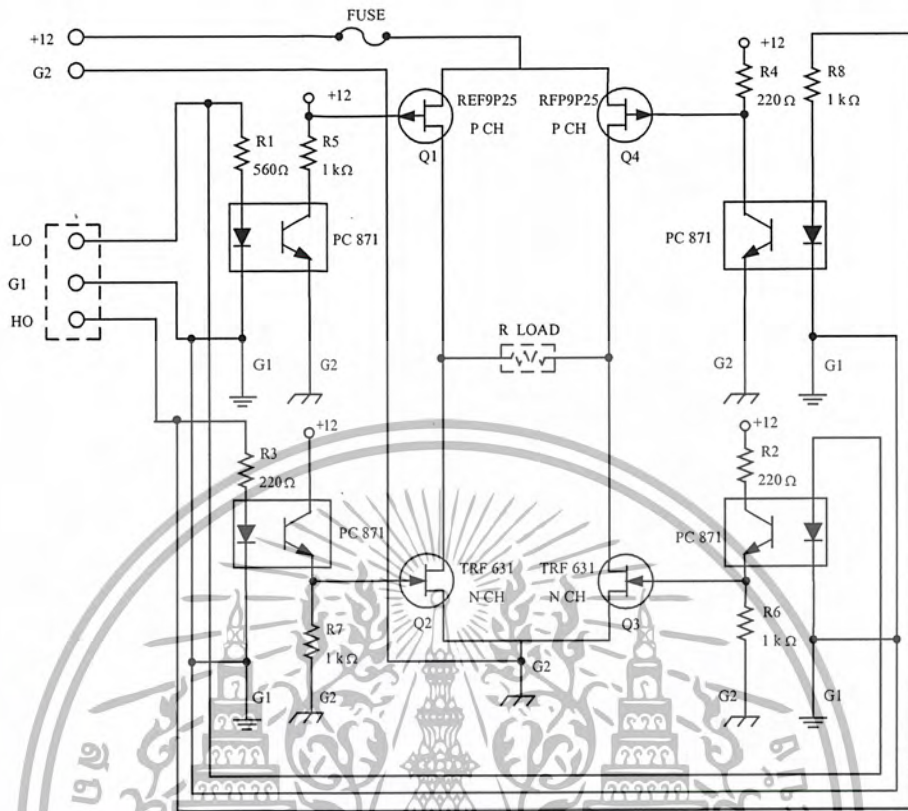


รูปที่ ข.9 วงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์

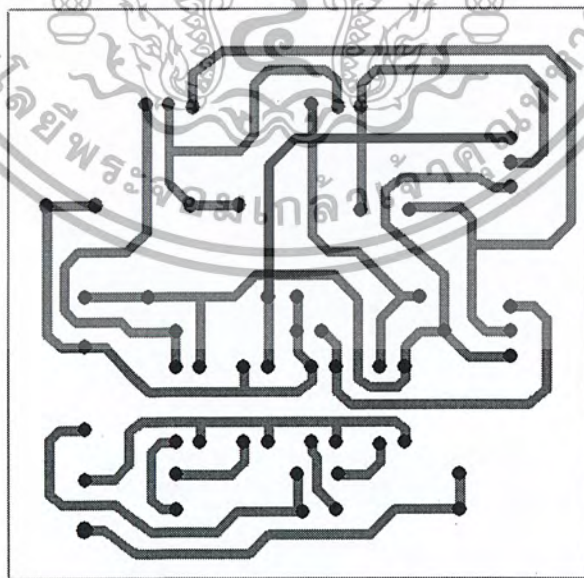


รูปที่ ข.10 แผ่นวงจรพิมพ์กำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.11 วงจรภาคขับเคลื่อน



รูปที่ ข.12 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

รายการอุปกรณ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรกำเนิดกราฟคุณลักษณะของไดโอด

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1-IC4	LM 741	4 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D1 (Test)	1N4001	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	1 μ F 16 V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1,R3-R9	10 k Ω 1/4W 1%	8 ตัว
R2	7.5 k Ω 1/4W 1%	1 ตัว

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	Regulator 7805	1 ตัว
IC2	SN 7490	1 ตัว
IC3-IC7	LM 741	5 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D1-D2	1N4001	2 ตัว
D3-D8	1N4148	6 ตัว
Q1-Q2	2SC 1815	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	1 μ F 25V	1 ตัว
C2,C5	100 η F 65V	2 ตัว
C3	8 η F 63V	1 ตัว
C4	470 η F 50V	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ตัวความต้านทาน		
R1,R3-R6,R13-R23	10 k Ω 1/4W 1%	13 ตัว
R2	7.5 k Ω 1/4W 1%	1 ตัว
R7-R8	1 k Ω 1/4W 1%	2 ตัว
R9	15 k Ω 1/4W 1%	1 ตัว
R10-R20	39 k Ω 1/4W 1%	2 ตัว
R11-R21	82 k Ω 1/4W 1%	2 ตัว
R12-R22	169 k Ω 1/4W 1%	2 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
Transistor (Test)	NPN	1 ตัว
Transistor (Test)	PNP	1 ตัว

ตารางที่ ก.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของเฟดและไอซีบีที

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	Regulator 7805	1 ตัว
IC2	SN 7409	1 ตัว
IC3-IC6	LM 741	4 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D1-D2	1N4001	2 ตัว
D3-D5	1N4148	3 ตัว
Q1-Q2	2 SC 1815	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	1 μ F 25V	1 ตัว
C2,C5	100 η F 65V	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3(ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงกราฟคุณลักษณะของเฟตและ ไอจีบีที

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ตัวเก็บประจุ		
C3	8 η F 63V	1 ตัว
C4	470 η F 50V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1,R3-R6,R13-R17	10 k Ω 1/4W 1%	10 ตัว
R2	7.5 k Ω 1/4W 1%	2 ตัว
R7-R8	1 k Ω 1/4W 1%	1 ตัว
R9	15 k Ω 1/4W 1%	1 ตัว
R10	13 k Ω 1/4W 1%	1 ตัว
R11	25 k Ω 1/4W 1%	1 ตัว
R12	50 k Ω 1/4W 1%	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
FET (Test)	BS 170	1 ตัว
IGBT (Test)	70N60	1 ตัว

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	TCL 8038	1 ตัว
IC2	LM 380	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	47 η F 63V	1 ตัว
C2	1 μ F 50V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1,R5-R6	20 k Ω 1/4W 1%	3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ตัวความต้านทาน		
R2-R3	10 k Ω 1/4W 1%	2 ตัว
R4	15 k Ω 1/4W 1%	1 ตัว
VR1,VR5	10 k Ω Trimpot	2 ตัว
VR2,VR4	100 k Ω Trimpot	2 ตัว
VR3	20 k Ω Trimpot	1 ตัว

ตารางที่ ค.5 รายการอุปกรณ์ของวงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	TCL 8038	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	0.01 μ F 50V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1	10 k Ω 1/4W 1%	1 ตัว
R2	3.9 k Ω 1/4W 1%	1 ตัว
R3-R4	150 k Ω 2W 1%	2 ตัว
VR	20 k Ω Trimpot	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1

เรื่อง คุณสมบัติของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ นักศึกษาอธิบายทฤษฎีและหลักการทำงานของไดโอดและทรานซิสเตอร์ได้
2. นักศึกษาสามารถอธิบายกราฟแสดงคุณสมบัติของไดโอดและทรานซิสเตอร์
3. นักศึกษาสามารถใช้เครื่องมือในการทดลอง ได้ถูกต้อง
4. นักศึกษาสามารถอ่านค่าและบันทึกค่าได้ถูกต้อง
5. นักศึกษาสามารถสรุปผลการทดลองได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส
2. ออสซิลโลสโคป
3. มัลติมิเตอร์
4. สายต่อวงจร
5. ไดโอดและทรานซิสเตอร์เบอร์ต่างๆ
6. มอสเฟตและ ไอจีบีทีเบอร์ต่างๆ

ตอนที่ 1

ทฤษฎีเบื้องต้น

ไดโอด คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีโครงสร้างมาจากสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นมี 1รอยต่อ ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากมีใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า กระแสตรง (DC.Power Supply) ไดโอดทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงนี้ จำเป็นต้องมีเพื่อจ่ายให้กับวงจรไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

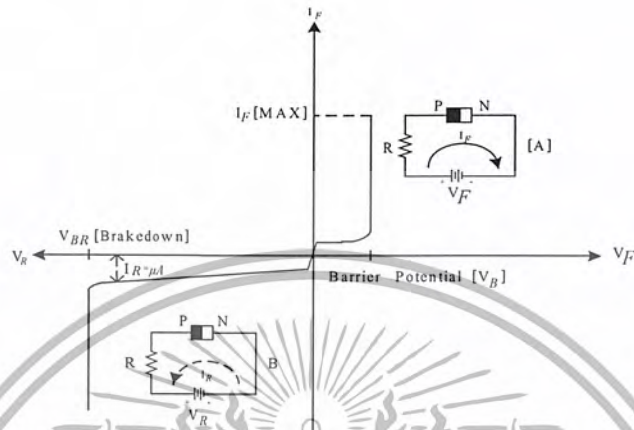
กราฟแสดงลักษณะสมบัติของไดโอด (Diode Characteristic Curve) สามารถหาได้จาก การให้ไบแอสตรงและไบแอสกลับให้กับไดโอดชนิดรอยต่อ (PN Junction Diode) ไดโอดเมื่อได้รับ

ไบแอสตรงจะเกิดกระแสไหลผ่านไดโอดได้ในทิศทางจากรอยต่อพีไปยังที่รอยต่อเอ็น และกระแสไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอน เมื่อผู้เผยแพร่เอกสารนี้เป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวเรียกว่ากระแสไบแอสตรง(I_F , Forward Current) ส่วนแรงดันไบแอสตรงเรียกว่า (V_F , Forward- Voltage) ดังรูปที่ 1.1

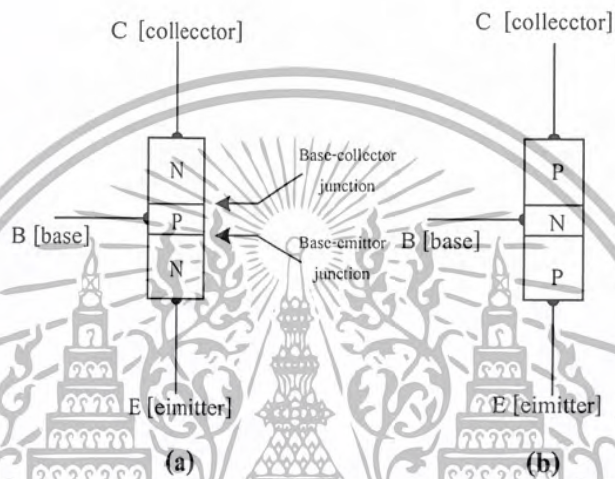


รูปที่ 1.1 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของไดโอดชนิดรอยต่อ

เมื่อใช้แรงดันไบแอสตรงกับไดโอดมากกว่าแรงดันตกคร่อมรอยต่อของไดโอด (V_B) จะทำให้ไดโอดนำกระแสได้ โดยไดโอดจะมีกระแส ที่ทำการไหลผ่านไดโอดดังในรูปที่ 1 และค่า I_F สูงสุด คือ $I_{F(max)} = \frac{V_F - V_B}{R}$ การต่อตัวต้านทาน R เพื่อกำหนดกระแสสูงสุดที่ผ่านไดโอดไม่ให้เกิดทะลุเสียหายได้จะเห็นว่าเมื่อไดโอดเท่ากับ V_B (0.3 V หรือ 0.7 V ขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ใช้สร้างเป็นไดโอด)

เมื่อให้ไบแอสกลับกับ ไดโอดดังรูปที่ 1.1 ในขณะที่ให้แรงดันไบแอสกลับ (V_R) ให้กับ ไดโอดจะเกิดกระแสรั่วไหล (I_R) ไหลผ่านไดโอดซึ่งกระแสดังกล่าวมีจำนวนน้อยมากเป็นไมโครแอมแปร์ ($I_R = \mu A$) เปรียบได้ว่าขณะที่ไดโอดได้รับไบแอสกลับ ไดโอดจะไม่มีกระแสไหลผ่าน (ไม่นำกระแส) แต่ถ้าเพิ่มแรงดันไบแอสกลับ (V_R) ให้สูงมากขึ้นค่าโดยทั่วไปประมาณ 50 โวลต์ ซึ่งเรียกว่าแรงดันจุดพังทลาย (Breakdown voltage, V_{BR}) ไดโอดจะนำกระแสได้ ในสภาวะนี้รอยต่อพี-เอ็นของไดโอดจะทะลุและมีกระแสไหลจำนวนมากผ่านรอยต่อพี-เอ็น ในการใช้งานทั่วไปจะไม่ยอมให้แรงดันไบแอสกลับกับ ไดโอดเกินกว่าค่าแรงดันจุดพังทลาย (V_{BR}) ของไดโอดเบอร์นั้นๆ

ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อหรือ BJT นี้ ประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นนำมาต่อกันโดยการเติมสารเจือปน (Doping) จำนวน 3 ชั้นทำให้เกิดรอยต่อ (Junction) ขึ้นจำนวน 2 รอยต่อ การสร้างทรานซิสเตอร์จึงสร้างได้ 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีสารตัวนำเอ็น 2 ชั้น หรือเรียกว่าชนิด NPN และชนิดที่มีสารชนิดพี 2 ชั้น เรียกว่าชนิด PNP โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN แสดงในรูปที่ 1.2(a) และชนิด PNP แสดงในรูปที่ 1.2(b)



รูปที่ 1.2 แสดงโครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ PNP

ย่านการทำงานของทรานซิสเตอร์แบ่งออกเป็น 3 ย่าน ดังนี้

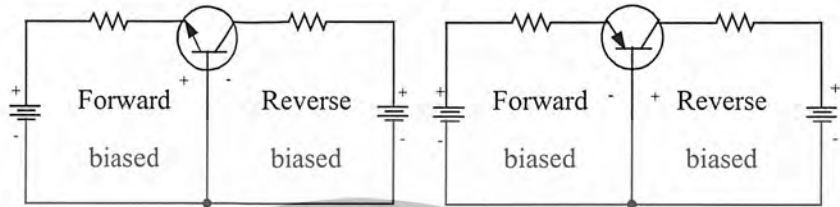
- ย่านคัทออฟ (Cutoff region)
- ย่านอิ่มตัว (Saturation region)
- ย่านแอคทีฟ (Active region)

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 1.2 จะเห็นว่าโครงสร้างของทรานซิสเตอร์จะมีสารกึ่งตัวนำ 3 ชั้น แต่ละชั้นจะต่อลวดตัวนำจากเนื้อสารกึ่งตัวนำไปใช้งาน ชั้นที่เล็กที่สุด(บางที่สุด)เรียกว่า เบส (Base) ใช้ตัวอักษรย่อ B สำหรับสารกึ่งตัวนำชั้นที่เหลือคือคอลเลกเตอร์ (Collector หรือ C) และ อิมิตเตอร์ (Emitter และ E) นั่นคือทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด NPN และชนิด PNP จะมีอยู่ด้วยกัน 3 ขา ก็คือ ขาเบส ขาคอลเลกเตอร์ และขาอิมิตเตอร์

ทรานซิสเตอร์ทั้งสองชนิด NPN และชนิด PNP เมื่อนำไปใช้งานว่าจะใช้ในวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) หรือทำงานเป็นสวิตช์ จะต้องทำการไบแอสให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ โดยใช้หลักการไบแอสดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ไบแอสตรง ให้กับรอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์กับเบส
 2. ไบแอสกลับ ให้กับรอยต่อระหว่างคอลเลกเตอร์กับเบส
- ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงไบแอสทรานซิสเตอร์

พิจารณาการไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ดังรูปที่ 1.3 (a) จะเห็นการไบแอสตรงให้กับรอยต่ออิมิตเตอร์-เบส โดยให้ศักดาบวกกับเบส (เพราะเบสเป็น P) และให้ศักดาลบกับอิมิตเตอร์ (เพราะอิมิตเตอร์เป็น N) เช่นเดียวกันต้องให้ไบแอสกลับกับรอยต่อคอลเลกเตอร์-เบส โดยให้ศักดาบวกกับคอลเลกเตอร์ (เพราะคอลเลกเตอร์เป็น N) และให้ศักดาลบกับเบส (เพราะเบสเป็น P) นี่คือการไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ที่ถูกต้องตามเงื่อนไข 2 ข้อที่กำหนดไว้

การไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ก็กระทำเช่นเดียวกันดังรูปที่ 1.3 (b)

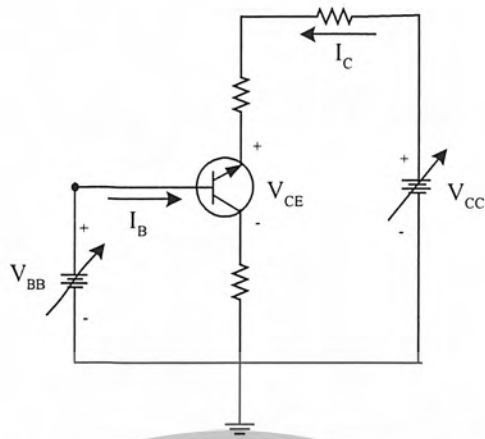
เส้นแสดงลักษณะสมบัติของคอลเลกเตอร์ (Collector Characteristic Curves) เส้นกราฟนี้จะแสดงคุณลักษณะของกระแสและแรงดันที่คอลเลกเตอร์ โดยที่มีกระแสเบสเป็นตัวควบคุมตามความสัมพันธ์ของสมการ

$$I_C = \beta_{dc} \times I_B$$

พิจารณาจากวงจรในรูปที่ 1.4 (a) ให้แหล่งจ่าย V_{BB} เป็นแหล่งจ่ายปรับค่าได้ไบแอสตรงให้กับรอยต่อ B และ E การปรับค่า คือการปรับค่าของกระแส V_{BB} ถ้าปรับค่า I_B ให้มีค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่ง $I_B > 0$ และค่อยๆ ปรับค่าแรงดัน V_{CC} เพิ่มมากขึ้นจาก 0 โวลต์ จะปรากฏว่า I_C ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุด B ในรูปที่ 4 (b) ค่า I จะคงที่และไปตามสมการ

$$I_C = \beta_{dc} \times I_B$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 แสดงสัญลักษณ์และสมบัติของคอลเลกเตอร์

จากรูปที่ 1.4 จะได้กราฟแสดงขอบเขตของย่านการทำงานที่ปลอดภัยของทรานซิสเตอร์ดังต่อไปนี้

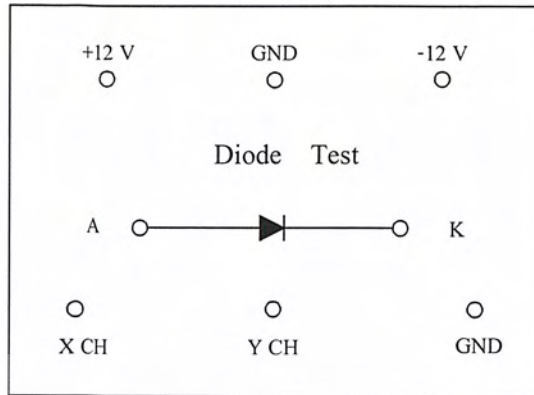


รูปที่ 1.5 กราฟคุณลักษณะสมบัติด้านเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

ลำดับขั้นตอนในการทดลอง

1. การวัดกราฟแสดงคุณลักษณะของไดโอด
 - 1.1 ต่อไดโอดเบอร์.....เข้ากับขั้วต่อขา A และขา K ตามลักษณะ
 - 1.2 ต่อแหล่งจ่ายไฟ +12 V และ GND ดังรูปที่ 1.6
 - 1.3 ต่อออสซิลโลสโคปตามจุดวัด ดังรูปที่ 1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.6 แผงทดลองไดโอด

- 1.4 เปิดสวิตช์ POWER ของออสซิลโลสโคปและแหล่งจ่ายไฟ
- 1.5 กดปุ่ม X-Y ของออสซิลโลสโคปแล้วปรับค่าโดยให้แสดงผลเต็มจอภาพ เพื่อให้อ่านค่าได้อย่างเหมาะสม
- 1.6 บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 1
- 1.7 ปิดสวิตช์ POWER ของออสซิลโลสโคปและแหล่งจ่ายไฟ
- 1.8 ทำการกลับขั้วของ ไดโอด ในลักษณะ BACKWARD แล้วทำการทดลองซ้ำในขั้นตอนที่ 1.4 ถึง 1.7

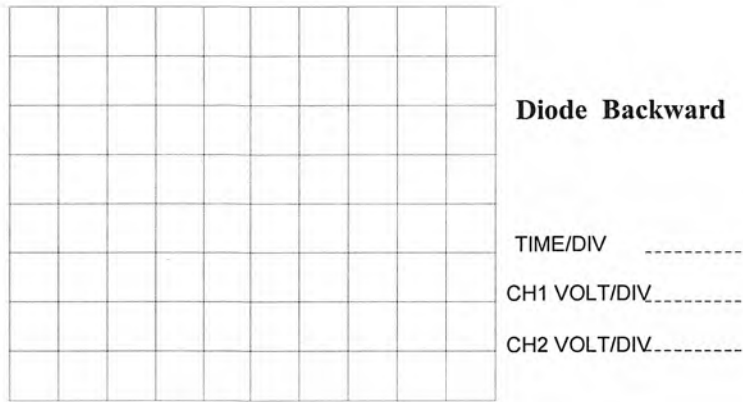
Diode Forward

TIME/DIV

CH1 VOLT/DIV.....

CH2 VOLT/DIV.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 1 กราฟคุณสมบัติของไดโอด

2. การวัดกราฟคุณลักษณะของ Zener Diode

- 2.1 ต่อ Zener Diode เบอร์..... เข้ากับขั้วมาตามลักษณะ Forward
- 2.2 ต่อแหล่งจ่ายไฟ +12V และ GND ตามรูปที่ 1.7
- 2.3 ต่อออสซิลโลสโคปตามจุดวัด ตามรูปที่ 1.7



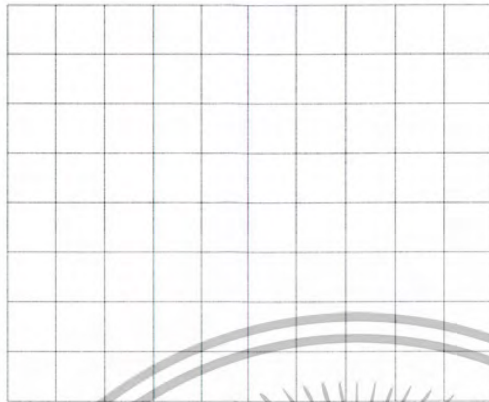
รูปที่ 1.7 แผงทดลองซีเนอร์ไดโอด

- 2.4 เปิดสวิตช์ POWER ของออสซิลโลสโคปและแหล่งจ่ายไฟ
- 2.5 กดปุ่ม X-Y ของออสซิลโลสโคปแล้วปรับค่าออสซิลโลสโคปให้แสดงผลเต็มจอภาพ เพื่อให้อ่านค่าได้อย่างเหมาะสม
- 2.6 บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 2
- 2.7 ปิดสวิตช์ POWER ของออสซิลโลสโคปและแหล่งจ่ายไฟ

2.8 ทำการกลับขั้วของ Zener Diode ลักษณะ BACKWARD แล้วทำการทดลองซ้ำในขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2.4 ถึง 2.7



Zener Diode Forward

TIME/DIV -----

CH1 VOLT/DIV.....

CH2 VOLT/DIV.....



Zener Diode Backward

TIME/DIV -----

CH1 VOLT/DIV.....

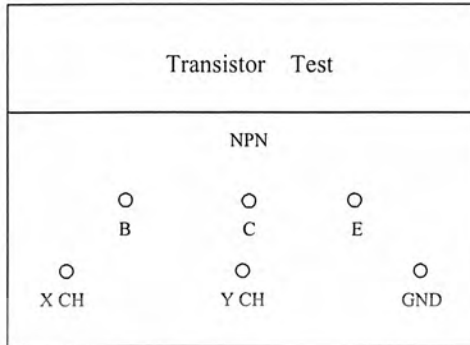
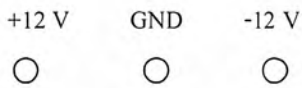
CH2 VOLT/DIV.....

ตารางที่ 2 กราฟแสดงคุณลักษณะของซีเนอร์ไดโอด

3. การวัดกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์

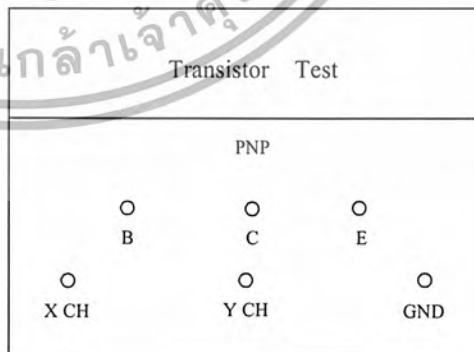
- 3.1 ต่อ PNP ทรานซิสเตอร์เบอร์.....เข้ากับขั้วต่อขาอุปกรณ์ B C E ที่สำหรับ Test ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN
- 3.2 ต่อแหล่งจ่ายไฟ +12 และ GND ตามรูปที่ 1.8
- 3.3 ต่อออสซิลโลสโคปตามจุดวัด ดังรูปที่1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.8 แผงทดลองคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์

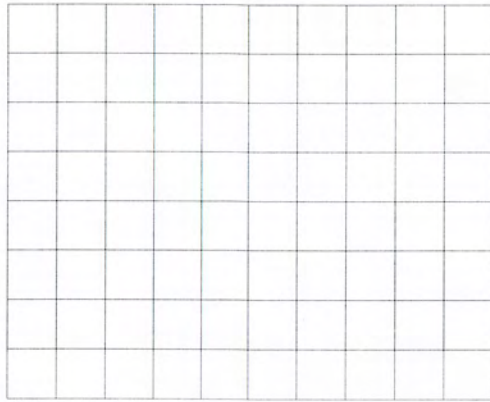
- 3.4 เปิดสวิตช์ POWER ของออสซิลโลสโคปและแหล่งจ่ายไฟ
- 3.5 กดปุ่ม X-Y ของออสซิลโลสโคป แล้วปรับค่าออสซิลโลสโคปให้แสดงผลเต็มจอภาพ เพื่อให้อ่านค่าได้เหมาะสม
- 3.6 บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 3
- 3.7 ปิดสวิตช์ POWER ของออสซิลโลสโคปและแหล่งจ่ายไฟ
- 3.8 ต่อ PNP ทรานซิสเตอร์ เบอร์.....เข้ากับขั้วต่อขาอุปกรณ์ B C E ที่สำหรับ Test ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP
- 3.9 ต่อออสซิลโลสโคปตามจุดวัด ตามรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 แผงทดลองคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

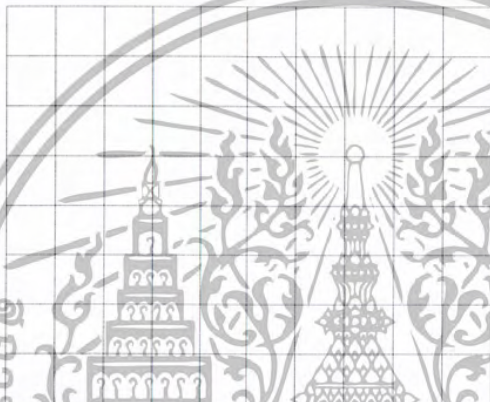
3.10 ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 3.4 ถึง 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



NPN Transistor

TIME/DIV -----
 CH1 VOLT/DIV -----
 CH2 VOLT/DIV -----



PNP Transistor

TIME/DIV -----
 CH1 VOLT/DIV -----
 CH2 VOLT/DIV -----

ตารางที่ 3 กราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

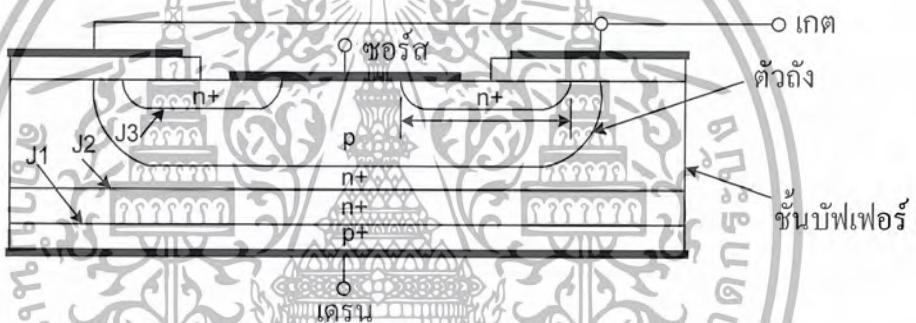
.....

ตอนที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้น

มอสเฟต เป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้เหมือนทรานซิสเตอร์กำลัง แต่ขณะอยู่ในสถานะการนำ สามารถนำกระแสได้ดี และอยู่ในสถานะการหยุดนำ สามารถที่จะกั้นแรง ได้ดีดังนั้นจึงนิยมมาใช้แทนทรานซิสเตอร์กับอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

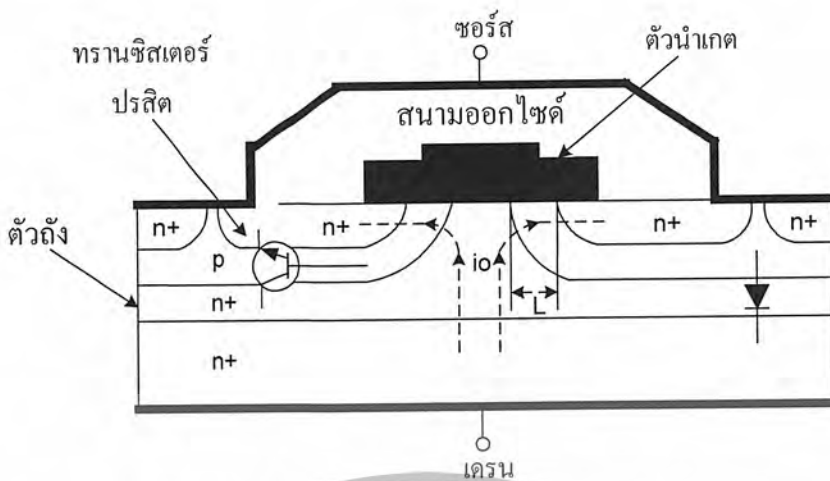
โครงสร้างของมอสเฟต โดยการ โด๊ปของมอสเฟสที่นิยมมากที่สุดได้แก่การ โด๊ป p และ n สลับกันเป็น 4 ชั้นดังรูป 1.10 การทำงาน เริ่มต้นที่มอสเฟตจะไม่มีทางผ่านสำหรับการไหลของกระแสเดรนและซอร์ส เพราะรอยต่อ pn กำลังถูกไบอัสย้อนกลับด้วยสภาพขั้วของแหล่งจ่ายกำลัง ป้อนกลับเดรนและซอร์ส และนอกจากนี้ไม่สามารถไหลผ่านเกตไปยังบริเวณตัวถัง ได้อีก



รูปที่ 1.10 โครงสร้างของมอสเฟต

จากรูปที่ 1.10 เป็นมอสเฟตที่มีการแพร่ซึมในแนวตั้ง โดยมีลำดับการสร้างดังนี้ คือ เริ่มต้นด้วยฐานล่างสุดก่อน ซึ่งเป็นเซลล์ n+ ต่อมาได้แก่บริเวณ n- โดยความหนาแน่นของการแพร่ซึม ต้องมีค่าน้อยกว่าชนิดอื่นๆ ดังระบุนมาแล้ว หลังจากนั้น คือ ชั้น p ซึ่งเป็นตัวถัง ได้ถูกแพร่ซึม ทางด้านข้างซอร์สไปยังเวเฟอร์ และสุดท้าย ได้แก่ การแพร่ซึมซอร์ส n+ และการแพร่ซึมตัวถังซอร์ส ได้กระทำโดยผ่านทางหน้ากาบ เพราะว่าบางส่วนของเวเฟอร์นั้น ได้ถูกป้องกันด้วยซิลิกอนออกไซด์ ดังนั้นการ โด๊ปจึงแพร่ซึมถึงเวเฟอร์ได้

ไอจีบีที จะมีโครงสร้างคล้ายกับมอสเฟตที่ได้จากการแพร่ซึม ดังรูปที่ 1.11 สำหรับส่วนที่แตกต่าง ได้แก่ p+ ซึ่งเป็นเดรนของไอจีบีทีพร้อมกับ ทำให้เกิดเป็นรอยต่อ pn ขึ้น ด้วยการฉีดพาหะข้างน้อยเข้าไปดูคล้ายกับเป็นบริเวณ n- ของมอสเฟต



รูปที่ 1.11 โครงสร้างของไอจีบีที

สำหรับการโคปของไอจีบีทีแต่ละชั้นเหมือนกับมอสเฟตแนวตั้ง ยกเว้นบริเวณตัวถัง และการโคปไอจีบีทีแบบแซนแนล p จะโคปโดยการเปลี่ยนชนิดของสารกึ่งตัวนำกัน

จากรูปที่ 1.11 โครงสร้างไอจีบีที ได้มีทรานซิสเตอร์ปรสิตด้วย โดยขณะที่ไอจีบีทีนำกระแส ทรานซิสเตอร์นี้ไม่ควรนำกระแส และสามารถควบคุมได้โดยการผลิตไอจีบีที ให้มีโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไปที่สำคัญ ได้แก่

1. บริเวณตัวถัง ซึ่งการขึ้นรูปได้ทำให้เกิดรอยต่อ J2 และ J3 ดังในรูป 1.11
2. ซอร์ส ซึ่งยังวางอยู่เหนือตัวถัง จะเหมือนกับมอสเฟต โดยได้มีการลัดวงจรซอร์ส-ตัวถัง เพื่อช่วยลดโอกาสนำกระแส ของทรานซิสเตอร์ปรสิตนี้ได้

สำหรับชั้นบัฟเฟอร์ n+ ซึ่งได้สัมผัสระหว่างเดรน p+ กับชั้น n- โดยส่วนนี้ ยังไม่มีความจำเป็นกับไอจีบีทีมากนัก และจะเห็นว่าไอจีบีทีบางตัวไม่มีส่วนนี้ และจะเรียกไอจีบีทีแบบนี้ว่า ไอจีบีทีแบบสมมาตร ในทำนองตรงกันข้าม ถ้าเป็นไอจีบีทีที่มีบัฟเฟอร์ด้วย จะมีชื่อเรียกว่า ไอจีบีทีแบบไม่สมมาตร ถ้าค่าความหนาแน่นของระดับการโคปกับความกว้างของชั้น กระทำกันอย่างเหมาะสม ผลที่ตามมา คือ ทำให้การทำงานของไอจีบีที มีผลดี 2 ประการคือ

1. สามารถทำให้แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ขณะนำกระแสต่ำ
2. เวลาการหยุดการนำกระแสสั้น

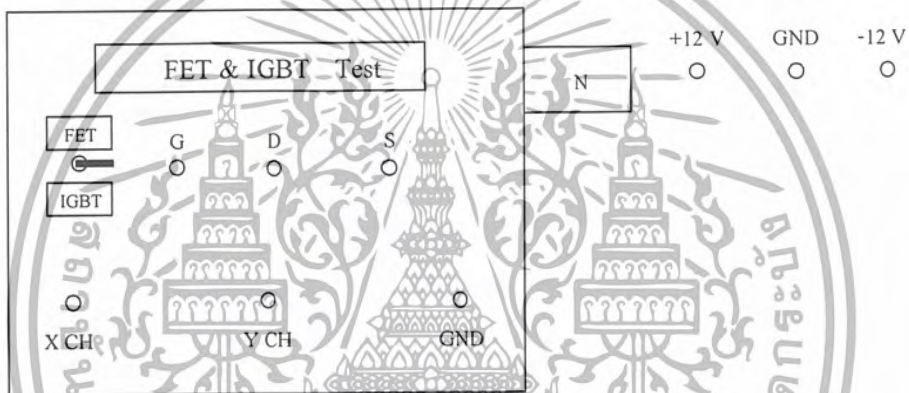
แต่อย่างไรก็ตาม ผลที่ตามมาอีก คือ ทำให้ความสามารถในการกันแรงดันย้อนกลับของ

ไอจีบีทีลดลงมาก

ลำดับขั้นตอนในการทดลอง

1. การวัดกราฟคุณลักษณะของมอสเฟต

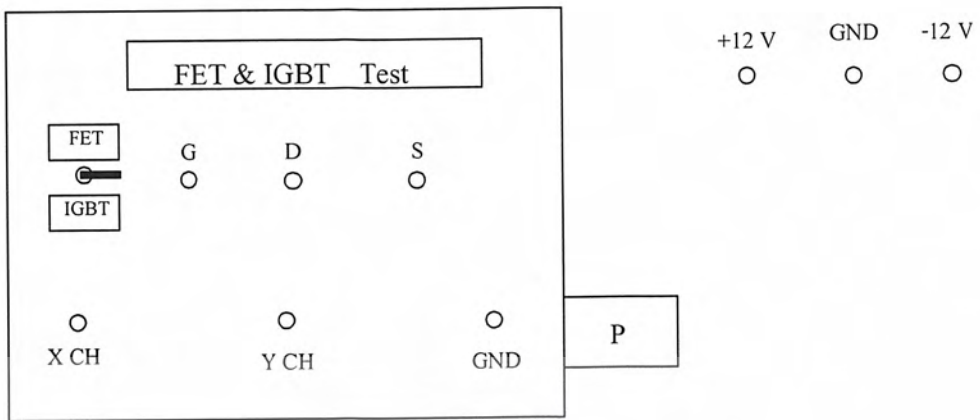
- 1.1 ต่อมอสเฟตชนิด N เบอร์..... เข้ากับขั้วต่อขาอุปกรณ์ G D S ที่สำหรับ Test มอสเฟต และไอจีบีที ชนิด N ch
- 1.2 โยกสวิตช์เลือกการทำงานของชุดทดลองไปที่ FET
- 1.3 ต่อแหล่งจ่ายไฟ +12 V และ GND ตามรูปที่ 1.12
- 1.4 ต่อออสซิลโลสโคปตามจุดวัด ดังรูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 แผงทดลองคุณลักษณะของมอสเฟตชนิด N

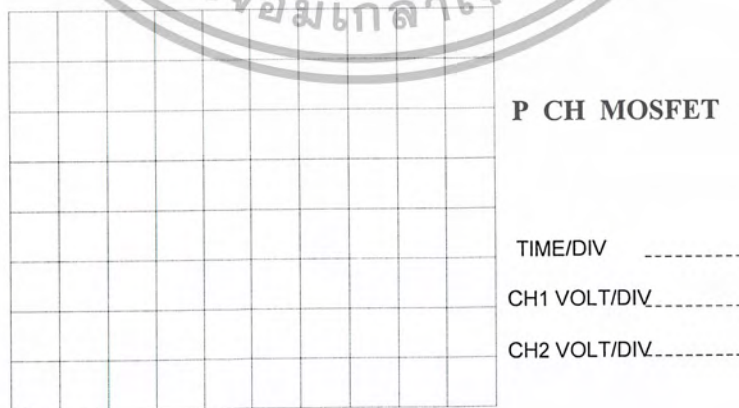
- 1.5 เปิดสวิตช์ POWER ของออสซิลโลสโคปและแหล่งจ่ายไฟ
- 1.6 กดปุ่ม X-Y ของออสซิลโลสโคปแล้วปรับค่า ออสซิลโลสโคปให้แสดงผลเต็มหน้าจอ เพื่อให้อ่านค่าได้อย่างเหมาะสม
- 1.7 บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4
- 1.8 ปิดสวิตช์ POWER ของออสซิลโลสโคปและแหล่งจ่ายไฟ
- 1.9 ต่อมอสเฟตชนิด P เบอร์.....เข้ากับขั้วต่อขาอุปกรณ์ G D S ที่สำหรับ Test มอสเฟต และไอจีบีที ชนิด P ch
- 1.10 ต่อออสซิลโลสโคปตามจุดวัด ตามรูปที่ 1.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.13 แผงทดลองคุณลักษณะของมอสเฟทชนิด P

1.11 ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 1.5 ถึง 1.8



ตารางที่ 4 กราฟแสดงคุณลักษณะของมอสเฟท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2

เรื่อง วงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์

วัตถุประสงค์

1. หาคคุณสมบัติของวงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์
2. ทดลองวัดรูปคลื่นสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ จากวงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์
3. สรุปผลการทดลองได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส
2. ออสซิลโลสโคป
3. สายต่อวงจร

ทฤษฎีเบื้องต้น

การมอดูเลตความกว้างพัลส์(Pulse width Modulation) คือการเปลี่ยนค่าความกว้างพัลส์ของพัลส์สี่เหลี่ยม โดยรักษาคาบเวลาของพัลส์ (T) นั้นให้คงที่ด้วยหลักการนี้จะสามารถควบคุมแรงดันไฟตรง (ค่าเฉลี่ย) ของรูปคลื่นพัลส์ (T) ที่เหลี่ยมนี้ได้โดยคำนวณค่าแรงดันไฟตรงได้จากสมการ

$$V_{dc} = \frac{t_{on}}{T} \cdot V_s$$

เมื่อ V_{dc} = ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ย

V_s = แรงดันแหล่งจ่ายไฟตรง

t_{on} = ความกว้างของพัลส์

T = คาบเวลาของพัลส์

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 1 เมื่อ $t_{on} = 0.2 T$ จะได้ค่าแรงดันเฉลี่ยของรูปคลื่นพัลส์เท่ากับ 2 V เมื่อ $V_s = 10 V$ และจากรูปที่ 1 เมื่อ $t_{on} = 0.5 T$ จะได้ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นพัลส์เท่ากับ 5 V และในทำนองเดียวกัน จากรูปที่ 1 เมื่อ $t_{on} = 0.8 T$ จะได้ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นพัลส์เท่ากับ 8 V เป็นต้น นั้น

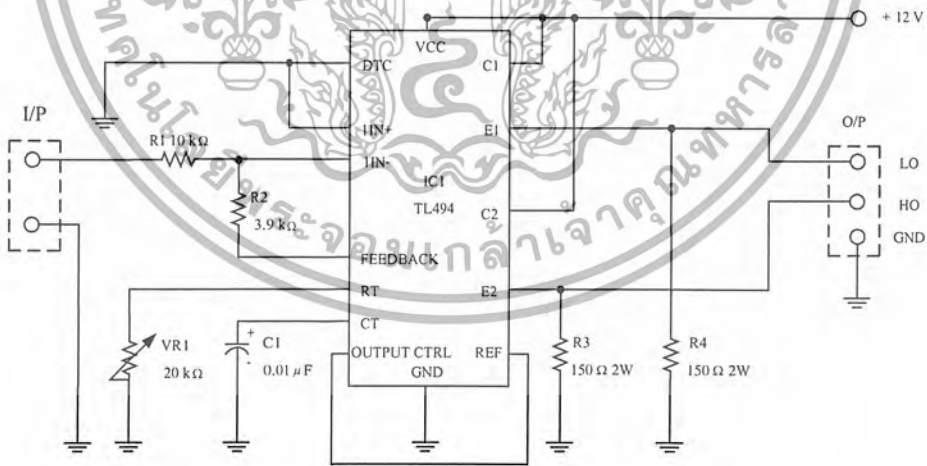
แสดงว่าหลักการมอดูเลตความกว้างพัลส์จะสามารถปรับค่าแรงดันได้ไฟตรงของรูปคลื่นพัลส์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรวมเบอร์ TL 494 ทำหน้าที่ควบคุมกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่สามารถควบคุมความถี่ (f) และความกว้างของพัลส์ (t_{on}) ได้โดยการต่อความต้านทานปรับค่าได้ภายนอก (R_T) ร่วมกับตัวเก็บประจุควบคุมฐานเวลา (C_T) และยังสามารถกำหนดค่า Dead-time ของพัลส์ได้ด้วยแรงดันไบแอส (V_{CC}) ใช้ได้ในย่าน +7 V ถึง +40 โวลต์ สัญญาณเอาต์พุตมี 2 ชุด คือ ชุด Q_1 และ Q_2 เป็นลักษณะพุก - พูลให้ได้แรงดันคอลลเลกเตอร์สูงสุดได้ 40 V กระแสเอาต์พุตไม่เกิน 200 mA ตัวเก็บประจุฐานเวลา (C_T) ใช้ได้ตั้งแต่ 0.47 nF ถึง 10,000 nF ความต้านทานเวลา (R_T) ใช้ได้ตั้งแต่ 1.8 K Ω ถึง 500 K Ω กำเนิดความถี่เอาต์พุต (f) ของพัลส์ได้ตั้งแต่ 1KHz ถึง 300 KHz ลักษณะภายนอกของวงจรรวม TL 494 แสดงดังรูปที่ 2 และวงจรภายในแสดงดังรูปที่ 3

เมื่อทำการทดสอบการทำงานของวงจรรวม TL 494 ด้วยวงจรทดสอบดังรูปที่ 4 โดยใช้แรงดันไบแอส +15 V และกำหนดความถี่เอาต์พุต 10 KHz โดยใช้ค่า $C_T = 0.01 \mu F$ และใช้ $R_T = 12 K\Omega$ และค่าแรงดันควบคุม Dead-time (ขา 4) ใช้ในย่าน 0 ถึง +5.25 โวลต์ โดยแรงดันควบคุมที่ขา 4 นี้ จะทำหน้าที่ปรับความกว้างของพัลส์ ผลการทดสอบวงจรรวม TL 494 แสดงให้เห็นรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต 1 เอาต์พุต 2 แรงดันที่คร่อม C_T และแรงดันควบคุม Dead-time

วงจรการทดลอง



รูปที่ 2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 2

ลำดับขั้นตอนในการทดลอง

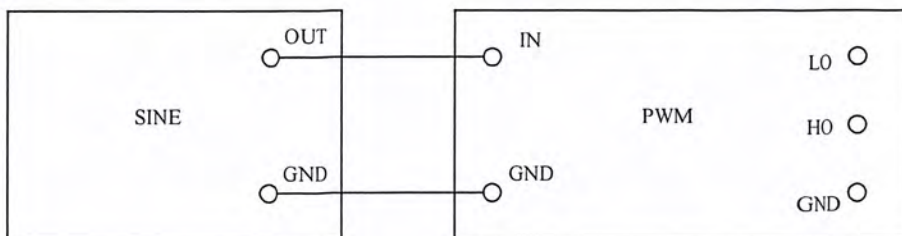
1. ต่อแหล่งจ่ายแรงดันให้กับภาคกำเนิดสัญญาณ ไซน์ แล้วทำการเปิดสวิทช์แหล่งจ่ายแรงดัน
2. นำออสซิลโลสโคปวัดเอาต์พุตของภาคกำเนิดสัญญาณ ไซน์
3. ปรับค่าการกำเนิดความถี่ของสัญญาณ ไซน์ ให้มีค่าเท่ากับ 50 Hz
4. ทำการปรับรูปคลื่นของสัญญาณ ไซน์ ให้ช่วงแอมพลิจูดต่ำสุดของสัญญาณ ไซน์ มีค่าเท่ากับแรงดันอินพุตที่ทำให้ภาค PWM มีค่าควิตซ์ไซเคิลเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามตารางที่ 1 และปรับรูปคลื่นสัญญาณ ไซน์ ให้ช่วงแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณ ไซน์ มีค่าเท่ากับแรงดันอินพุตที่ทำให้ภาค PWM มีค่าควิตซ์ไซเคิลเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยปรับที่

- Adj Level

- Adj Offset

5. ต่อแรงดันให้กับภาค PWM แล้วทำการจ่ายแรงดัน

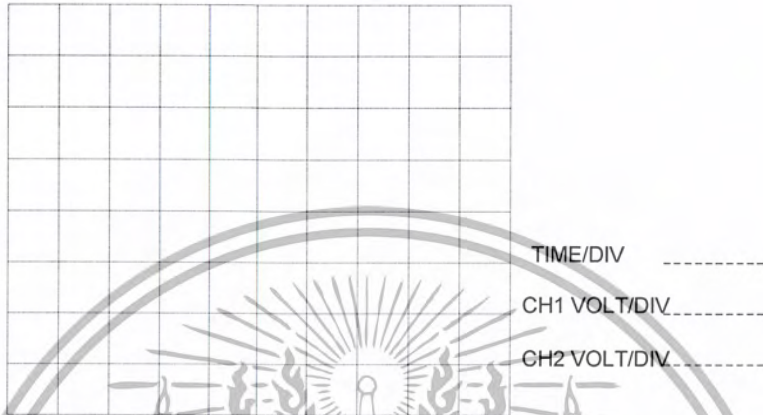
6. นำเอาต์พุตจากภาคกำเนิดสัญญาณ ไซน์ ที่ปรับค่าไว้แล้วมาควบคุมภาค PWM โดยต่อวงจรตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผงทดลอง PWM

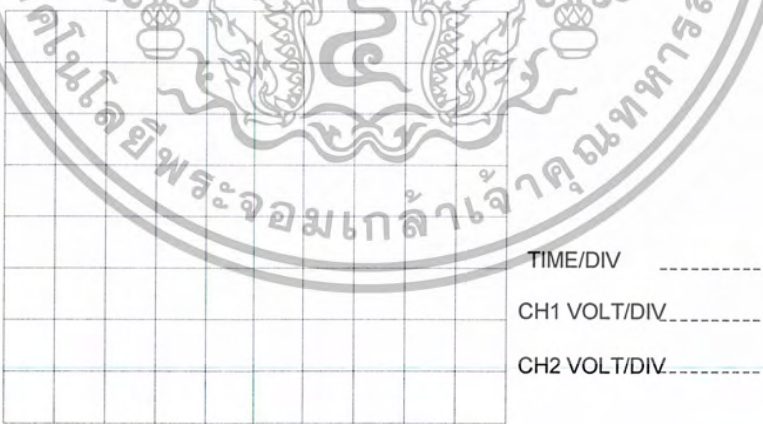
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7. นำออสซิลโลสโคปวัด LO เทียบกับสัญญาณอินพุตที่ภาคPWM
- 8. บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 3



ตารางที่ 3 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตภาค PWM

- 9. นำออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุต LO เปรียบเทียบกับ HO
- 10. บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4



ตารางที่ 4 เอาต์พุต LO เปรียบเทียบกับ HO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 3

เรื่อง วงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสได้
2. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถใช้เครื่องมือในการทดลองได้อย่างถูกต้อง
3. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถบันทึกผลและสรุปผลการทดลองได้

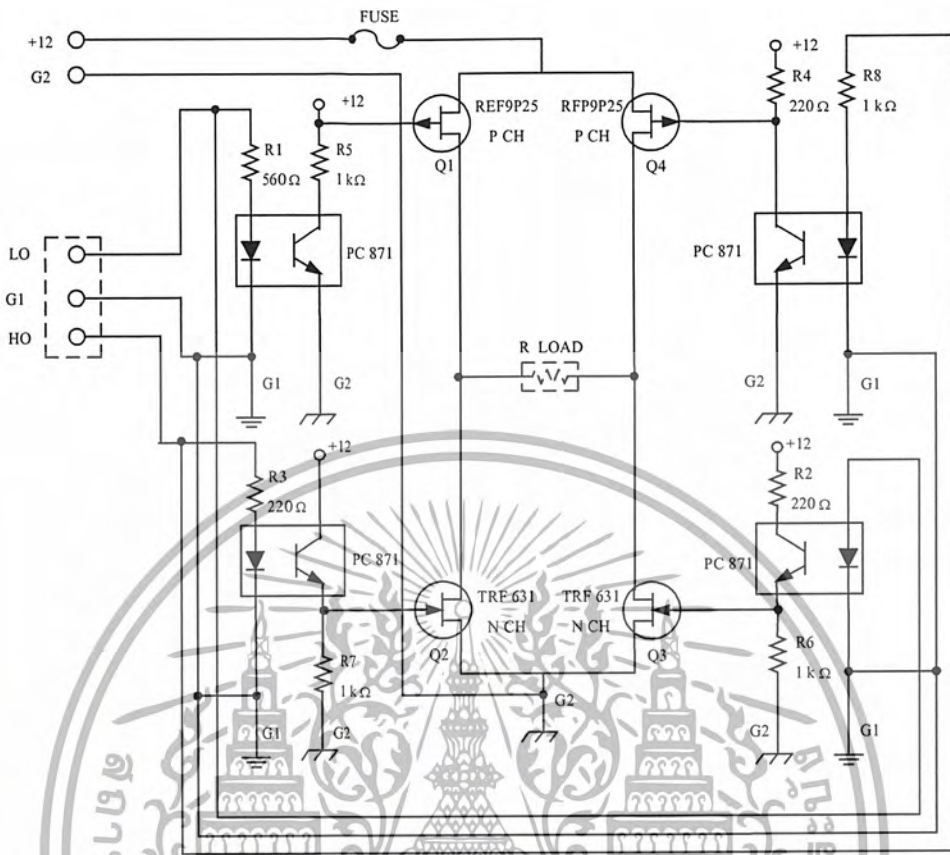
เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส
2. ออสซิลโลสโคป
3. มัลติมิเตอร์
4. สายต่อวงจร
5. ใบงานประกอบการทดลอง
6. ตัวต้านทานทำหน้าที่เป็น โหลด 1 กิโลโอห์ม 10 วัตต์

ทฤษฎีเบื้องต้น

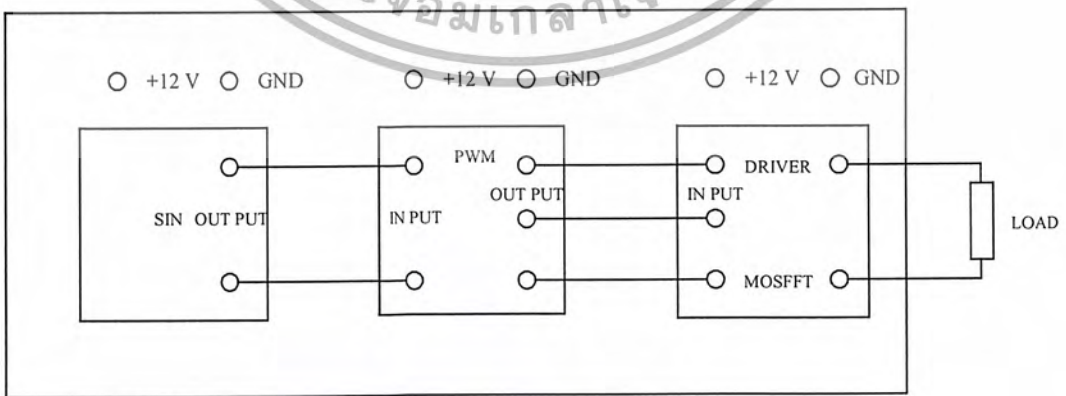
เป็นการนำสัญญาณ ไซน์มาทำการปรับระดับให้ได้สัญญาณตามค่าที่เหมาะสมเพื่อนำระดับสัญญาณ ไซน์ที่ได้ มาควบคุมสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ ให้เกิดความเปลี่ยนแปลงความกว้างพัลส์ตามสัญญาณควบคุม แล้วนำเอาตัวตัดจากวงจรมอดูเลตทางความกว้างพัลส์ มาควบคุม วงจรทางด้านภาคขับกำลัง เพื่อควบคุมกระแสที่ไหลคให้มีลักษณะเป็นแรงดันกระแสสลับต่อไปซึ่งระดับของสัญญาณควบคุมหรือสัญญาณ ไซน์นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันในการทดลองป้อนแรงดันควบคุม วงจรมอดูเลตทางความกว้างพัลส์ ในใบงานการทดลองที่ 2 คือค่าแรงดันต่ำสุดของรูปคลื่นสัญญาณ ไซน์จะมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุตที่ทำให้สัญญาณมอดูเลตทางความกว้างพัลส์ มีค่าตัวชี้ไขเคลน้อยที่สุด และค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณ ไซน์ที่จะนำมาควบคุม วงจรภาคมอดูเลตทางความกว้างพัลส์ คือค่าแรงดันที่ต่ำที่สุดที่นำมาควบคุมสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์แล้วจะมีค่าตัวชี้ไขเคลสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 วงจรภาคขับเคลื่อนกำลังที่มีมอดเฟทจำนวน 4 ตัว

ขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3.2 แผงชุดทดลองวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ให้กับภาค PWM และภาคกำเนิดสัญญาณไซน์
2. ทำการต่อวงจรและปรับค่าของสัญญาณต่างๆ ให้มีค่าเหมือนกับใบงานที่ 2 ตอนที่ 2
3. บันทึกค่าสัญญาณ L_o เทียบกับรูปสัญญาณไซน์และบันทึกค่า H_o เทียบกับรูปสัญญาณไซน์ลงในตารางที่ 1
4. นำเอาต์พุตของภาค PWM ต่อเข้าไปยังอินพุตของภาค DRIVER
5. ต่อโหลดที่ขั้วอุปกรณ์โดยใช้ค่าความต้านทาน 1 K Ω 10 W
6. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณตกคร่อมโหลด
7. จ่ายแรงดันให้กับภาค DRIVER
8. ทำการปรับออสซิลโลสโคปให้มีค่าเหมาะสมกับการอ่านรูปคลื่นสัญญาณ
9. บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 2
10. สรุปผลการทดลอง



สัญญาณไซน์เทียบกับ HO

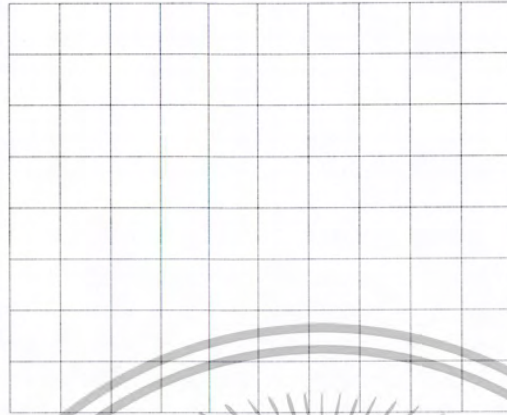
TIME/DIV -----

CH1 VOLT/DIV-----

CH2 VOLT/DIV-----

ตารางที่ 1 สัญญาณควบคุม PWM และสัญญาณ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TIME/DIV -----

CH1 VOLT/DIV-----

CH2 VOLT/DIV-----

ตารางที่ 2 สัญญาณ AC

สรุปผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4

เรื่อง ผลตอบสนองของโหลดที่เป็นตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ ต่อวงจรอินเวอร์เตอร์

วัตถุประสงค์

1. นักศึกษาสามารถอธิบายรูปคลื่นสัญญาณที่เกิดจากตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำได้
2. นักศึกษาสามารถเปรียบเทียบรูปคลื่นแรงดันและกระแสได้
3. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถบันทึกผลและสรุปผลการทดลองได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์
2. ออสซิลโลสโคป
3. มัลติมิเตอร์
4. สายต่อวงจร
5. ตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำค่าต่างๆ

ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรอินเวอร์เตอร์มีแรงดันเอาต์พุตเป็น ไฟฟ้ากระแสสลับ ในกรณีที่จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับตัวต้านทาน เปรียบเสมือนว่าได้จ่ายพลังงานให้แก่โหลดชนิดหนึ่ง และพลังงานได้ถูกใช้หมดไปในรูปของพลังงานความร้อน ถ้าตัวต้านทานมีค่ามากเท่าไรหรือกระแสที่ไหลในวงจรจะลดลงเป็นปฏิภาคกับค่าความต้านทาน เมื่อมองว่าเป็นการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้วงจรคงที่

ให้ $V(t)$ คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (V)

$i(t)$ คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลภายในวงจร (A)

R คือ ค่าความต้านทาน (Ω)

โดยที่ $i(t)$ และ $v(t)$ จะเป็นฟังก์ชันไซน์หรือโคไซน์ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้แก่วงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว จะทำให้กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าพร้อมเฟสกัน คือ มุมต่างเฟสกันมีค่าเท่ากับศูนย์องศา ($\theta = 0^\circ$)

$$\text{จาก } V(t) = V_m \sin \omega t$$

$$i(t) = I_m \sin \omega t$$

เมื่อ V_m และ I_m คือ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูงสุดในคาบเวลาหนึ่งๆ จะได้กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในตัวต้านทานเท่ากับ $P(t)$

$$\begin{aligned} P(t) &= V(t) \cdot I(t) \\ &= V_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \omega t \\ &= V_m I_m \sin^2 \omega t \\ P \text{ เฉลี่ย} &= P = 0.707 V_m \cdot 0.707 I_m \\ &= 0.5 V_m I_m \\ &= \frac{V_m I_m}{2} \end{aligned}$$

ในกรณีที่จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับตัวเหนี่ยวนำ เมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่วงจรและพลังงานถูกเก็บสะสมอยู่ในรูปสนามแม่เหล็ก แสดงว่าวงจรนั้นประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำบริสุทธิ์ แต่ความเป็นจริงแล้วในตัวเหนี่ยวนำจะประกอบด้วยค่าความต้านทานต่ออนุกรมกับค่าความเหนี่ยวนำเสมอ

เมื่อกระแส $i(t)$ รูปคลื่นไซน์เปลี่ยนแปลงตามเวลาไหลเข้าสู่ขดลวด จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กขดลวดและฟองตัวตามการเปลี่ยนแปลงของ $i(t)$ เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กขดลวดฟองตัวก็จะไปตัดกับขดลวดเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นตามกฎของฟาราเดย์ ซึ่งจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อหน่วยเวลา เมื่อให้ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำของตัวขดลวดเองคงที่ (L จะคงที่)

ในวงจรที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำบริสุทธิ์ ค่าของกระแสไฟฟ้าจะล่าหลัง (Lagging) แรงดันเป็นมุม 90° เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจรในรูปคลื่นไซน์ก็จะได้สมการตามลำดับต่อไปนี้ในวงจรที่มีเฉพาะค่าความเหนี่ยวนำอย่างเดียวจะไม่มีกำลังไฟฟ้าจริงเกิดขึ้น

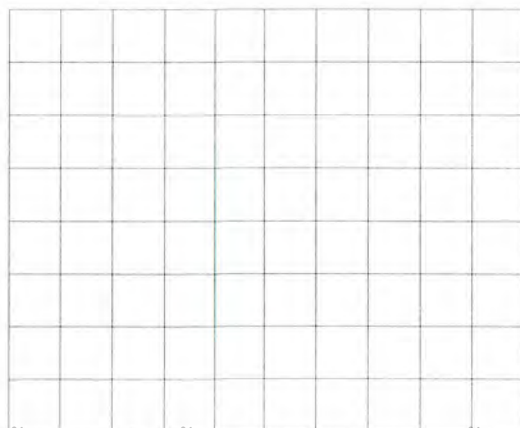
ค่า P จะต้องเท่ากับศูนย์เพราะกำลังครึ่งบวกและครึ่งลบเท่ากัน เมื่อเอามาเฉลี่ยแล้วจะหักล้างกันไป (เฉลี่ยในช่วง 0 ถึง π เรเดียน) และข้อสังเกตอีกประการหนึ่งจะพบว่าในช่วงมุม 0 ถึง 2π เรเดียน จะมีคลื่นสัญญาณของ $P(t)$ เกิดขึ้น 2 ไซเคิล

พลังงานสะสมในสนามแม่เหล็ก จากการพิสูจน์ได้ว่าค่า P จะเท่ากับศูนย์ จึงเป็นการสนับสนุนทฤษฎีที่ว่าพลังงานในตัวเหนี่ยวนำบริสุทธิ์มิได้ใช้หมดไป แต่ในทางตรงกันข้ามพลังงานนี้จะถูกสะสมไว้ในสนามแม่เหล็กจะแทนด้วย " ω_L " มีหน่วยเป็นจูล (joules)

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. จากการทดลองในใบงานที่ 3 ไม่ต้องทำการปรับเปลี่ยนค่าของของวงจรและสัญญาณใดๆ
2. นำตัวต้านทานค่า 500 โอห์ม 10 วัตต์ มาต่อที่ขั้วต่ออุปกรณ์โหลดในภาค DRIVER
3. นำออสซิลโลสโคปวัดแรงดันที่ตกคร่อมโหลด
4. จ่ายแรงดันให้กับวงจร
5. ปรับค่าออสซิลโลสโคปให้มีค่าเหมาะสมกับการอ่านรูปคลื่นสัญญาณ
6. บันทึกผลลงในตารางที่ 1
7. หยุดจ่ายแรงดันให้กับวงจร
8. เปลี่ยน LOAD เป็นหม้อแปลงหรือตัวเหนี่ยวนำ
9. ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนการทดลองข้อ 3 ถึงข้อ 7
10. เปลี่ยน LOAD เป็นตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน
11. ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนการทดลองข้อ 3 ถึงข้อ 7

บันทึกผลการทดลอง



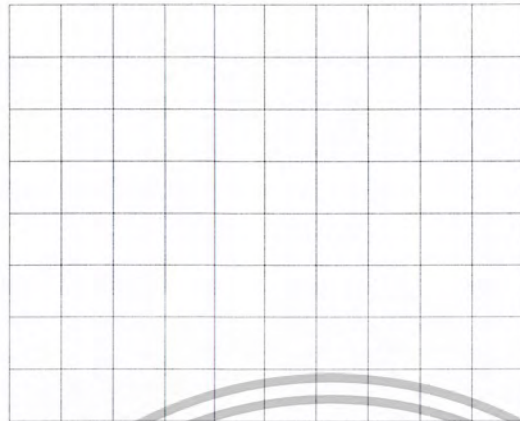
สัญญาณ AC เมื่อ
โหลดเป็น R

TIME/DIV

CH1 VOLT/DIV

CH2 VOLT/DIV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัญญาณ AC เมื่อ
โหลดเป็น L

TIME/DIV -----
CH1 VOLT/DIV-----
CH2 VOLT/DIV-----



สัญญาณ AC เมื่อ
โหลดเป็น RL

TIME/DIV -----
CH1 VOLT/DIV-----
CH2 VOLT/DIV-----

ตารางที่ 1 สัญญาณ AC เมื่อ โหลดเป็น R,L และ RL

สรุปผลการทดลอง

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



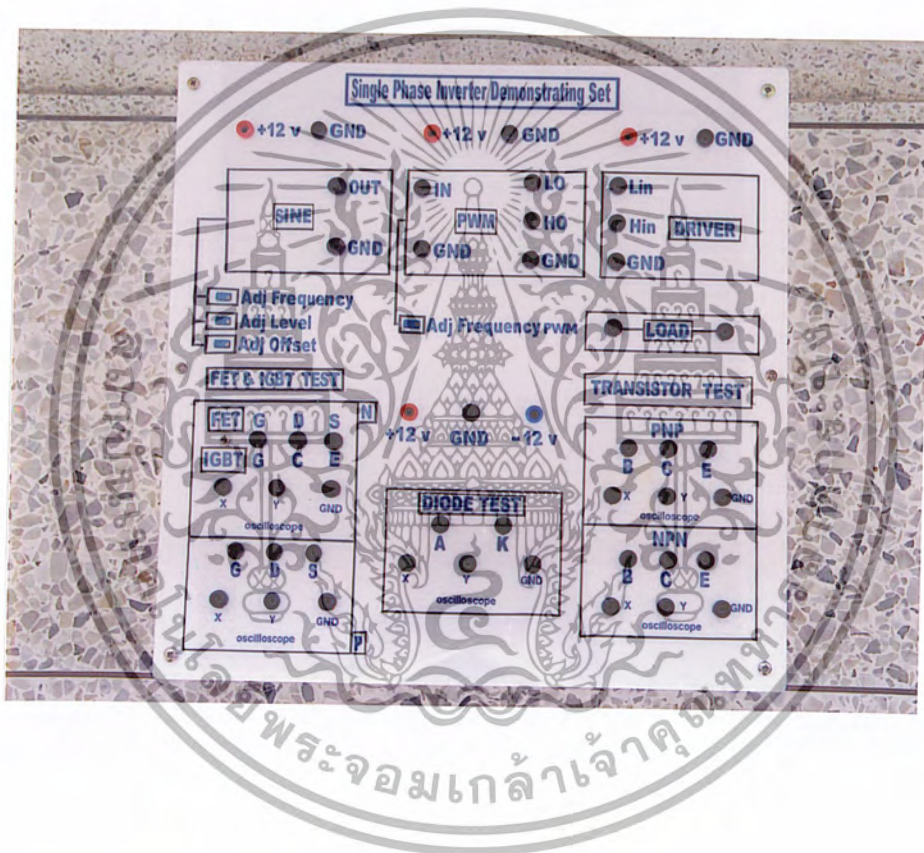
ภาคผนวก จ

คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน

ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำแนะนำเบื้องต้น

ควรปิดแหล่งจ่ายไฟก่อนที่จะทำการต่อสายทดลองเนื่องจากวงจรมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับจากทางด้านเอาต์พุตของชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสรวมทั้งศึกษาทำความเข้าใจวงจรการทดลองก่อน

2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

จากรูปที่ จ.1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์
2. วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ซอซอซด์
3. วงจรสัญญาณมอดคูเลตทางความกว้างพัลส์
4. วงจรภาคขับกำลังทางด้านเอาต์พุต
5. จุดต่อเอาต์พุตใช้งาน (LOAD)
6. ปุ่มปรับค่าต่างๆของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ซอซอซด์
7. ปุ่มปรับความถี่ของวงจรสัญญาณมอดคูเลตทางความกว้างพัลส์
8. จุดทดลองอุปกรณ์ชนิดไดโอด
9. จุดทดลองอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์
10. จุดทดลองอุปกรณ์เฟทและไอจีบีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การติดตั้งและการใช้งาน

- 3.1 ถ้าต้องการทดสอบอุปกรณ์ให้ต่ออุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบเข้ากับจุดทดสอบ
- 3.2 ต่อออสซิลโลสโคปเข้ากับจุดวัดสัญญาณที่ต้องการจะวัด
- 3.3 ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรทดสอบ
- 3.4 อ่านค่าและบันทึกรูปสัญญาณ
- 3.5 ถ้าต้องการวัดรูปสัญญาณไขว้ชอยด์ต่อสายวัดเข้าที่วงจรกำเนิดสัญญาณไขว้ชอยด์
- 3.6 ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้ากับจุดต่อ
- 3.7 ทำการวัดค่าสัญญาณที่ได้และบันทึกผล
- 3.8 ถ้าต้องการวัดจากเอาต์พุตของชุดทดลองอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ให้ต่อสายสัญญาณเข้าที่จุดวัดทั้งหมด
- 3.9 ต่อออสซิลโลสโคปเข้ากับจุดวัดสัญญาณเอาต์พุต
- 3.10 เปิดแหล่งจ่ายไฟ
- 3.11 เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้ว ปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้า แล้วจึงถอดสายวัดออกจากเครื่องแล้วเก็บเข้าที่ให้เรียบร้อย

4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหา ในการใช้งานชุดทดลองอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สามารถตรวจสอบแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้จากตารางข้างล่างนี้

อาการ	สาเหตุและวิธีแก้ไข
ไม่มีสัญญาณออกทางด้านเอาต์พุต	- ตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง - ตรวจสอบสายวงจร

5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

5.1 การดูแลรักษา

- ถอดสายวงจรออกจากชุดทดลองทุกครั้งหลังการใช้งานเสร็จ
- เก็บสายต่อวงจรไว้ในกล่องที่เตรียมไว้ให้เสมอ
- เช็ดทำความสะอาดชุดทดลองด้วยผ้าสะอาดนุ่มๆ อย่าใช้สารใดๆ ที่เป็นตัวทำละลายเพราะอาจทำให้ตัวชุดทดลองเป็นรอยเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อควรระวัง

- ปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้าก่อนต่อสายทดลอง
- ต่อสายทดลองกับจุดต่อให้แน่น

6. ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
แหล่งจ่ายพลังงาน	ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์
การปรับความถี่	ปรับสัญญาณ ไซน์ชอยด์ตั้งแต่ 50 – 500 เฮิร์ตซ์
การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ	ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ เป็น 24 โวลต์ความถี่ 50 – 500 เฮิร์ตซ์
สามารถทดสอบคุณลักษณะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	ทรานซิสเตอร์, ไดโอด, เฟท, ไอจีบีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฉ

แบบประเมินค่าคุณภาพของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อชุดฝึกทดลอง

คำชี้แจง

แบบสอบถามชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ถามความพึงพอใจ เกี่ยวกับใบงานการทดลองที่สร้างขึ้น

ตอนที่ 2 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

การประเมิน

ตอนที่ 1 กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับการประเมินเพียงช่องเดียว โดยระดับคะแนนจะแสดงความหมายดังนี้

5	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยมากที่สุด
4	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยมาก
3	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยปานกลาง
2	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยน้อย
1	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยน้อยที่สุด

ตอนที่ 2 โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ เพื่อให้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงต่อไป

ตรวจเรียบร้อยแล้ว

ลงนามชื่อ.....

(.....)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 1 ความพึงพอใจของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อชุดฝึกทดลอง

คำชี้แจง : กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับความพึงพอใจ				
		5 มากที่สุด	4 มาก	3 ปานกลาง	2 น้อย	1 น้อยที่สุด
1.	ดึงดูดความสนใจในการทดลองใช้ชุดฝึกทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
2.	รูปแบบของชุดฝึกทดลองกระตุ้นและจูงใจแก่ผู้ทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
3.	มีความเหมาะสมกับระดับความรู้ของผู้ทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
4.	ชุดฝึกทดลองสามารถทำให้ผู้ทดลองบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้.....	.....	.....	.....	.....	.....
5.	สามารถนำความรู้เดิมที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้ร่วมกับชุดฝึกทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
6.	ชุดฝึกทดลองที่สร้างขึ้นนี้สามารถพัฒนาการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี.....	.....	.....	.....	.....	.....
7.	ชุดฝึกทดลองส่งเสริมประสบการณ์ในการฝึกทักษะความรู้ใหม่ๆ.....	.....	.....	.....	.....	.....
8.	ชุดฝึกทดลองใช้งานได้สะดวกและเป็นไปตามขั้นตอน.....	.....	.....	.....	.....	.....
9.	ชุดฝึกทดลองมีลำดับขั้นตอนการทดลองสัมพันธ์กับคู่มือการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
10.	มีความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์.....	.....	.....	.....	.....	.....
11.	มีความปลอดภัยในขณะที่ทำการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
12.	การจัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์มีความเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....	.....
13.	รูปร่าง ขนาดของชุดฝึกทดลองมีความเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....	.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อที่	ข้อความ	ระดับความพึงพอใจ				
		5 มาก ที่สุด	4 มาก	3 ปาน กลาง	2 น้อย	1 น้อย ที่สุด
14.	สะดวกในการต่อสายนำสัญญาณและต่ออุปกรณ์ ข้างเคียง.....	.....	.....	.....	.....	.....
15.	การบำรุงรักษาสามารถทำได้ง่าย.....	.....	.....	.....	.....	.....
16.	ผู้ทดลองสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม
โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

1. ความคิดเห็นอื่นๆ และข้อเสนอแนะ โดยทั่วไป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อใบงานการทดลอง

คำชี้แจง

แบบสอบถามชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ถามความพึงพอใจ เกี่ยวกับใบงานการทดลองที่สร้างขึ้น

ตอนที่ 2 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

การประเมิน

ตอนที่ 1 กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับการประเมินเพียงช่องเดียว โดยระดับคะแนนจะแสดงความหมายดังนี้

5	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยมากที่สุด
4	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยมาก
3	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยปานกลาง
2	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยน้อย
1	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยน้อยที่สุด

ตอนที่ 2 โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงต่อไป

ตรวจเรียบร้อยแล้ว

ลงนามชื่อ.....

(.....)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 1 ความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อใบงานการทดลอง

คำชี้แจง : กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับความพึงพอใจ				
		5 มาก ที่สุด	4 มาก	3 ปาน กลาง	2 น้อย	1 น้อย ที่สุด
1.	ใบงานมีความน่าสนใจ.....	.....	.....	.....	.....	.....
2.	การทดลองในใบงานดึงดูดความสนใจในการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
3.	บอกวัตถุประสงค์ของการทดลองในใบงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
4.	สามารถนำความรู้ที่มีอยู่เดิมแล้ว นำกลับมาใช้ได้ใหม่.....	.....	.....	.....	.....	.....
5.	ใบงานการทดลองมีการนำความรู้ใหม่เข้ามาใช้ในการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
6.	ชุดฝึกทดลองที่สร้างขึ้นมานี้สามารถพัฒนาการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี.....	.....	.....	.....	.....	.....
7.	ใบงานมีการทดลองเรียงตามลำดับจากง่ายไปหายาก.....	.....	.....	.....	.....	.....
8.	ใบงานการทดลองมีความเหมาะสมกับผู้ที่ทำการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
9.	การทดลองในใบงานมีการทดลอง เพื่อที่จะให้ผู้ทดลองได้ทดลองตามขั้นตอน.....	.....	.....	.....	.....	.....
10.	มีความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
11.	คำอธิบายลำดับขั้นการทดลองเข้าใจง่าย.....	.....	.....	.....	.....	.....
12.	รูปวงจรมีความถูกต้องเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....	.....
13.	ตารางมีความถูกต้องเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....	.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อที่	ข้อความ	ระดับความพึงพอใจ				
		5 มาก ที่สุด	4 มาก	3 ปาน กลาง	2 น้อย	1 น้อย ที่สุด
14.	การทดลองง่ายต่อการจดจำ.....	.....	.....	.....	.....	.....
15.	ผู้ทดลองสามารถทบทวนความรู้ที่ได้จากการ ทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
16.	ใบงานมีคำถามที่เหมาะสมกับการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
17.	สามารถนำความรู้ไปพัฒนาการออกแบบที่ช่วย- ซ้อนขึ้นได้.....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

1. ความคิดเห็นอื่นๆ และข้อเสนอแนะ โดยทั่วไป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ ศธ 0524.04(5)/๐๒๘

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

13 ตุลาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน อาจารย์อดิศักดิ์ สุวรรณมา

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถามเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วย นายจรงค์ศักดิ์ โปร่งใจ นายสัญญา ศรีวิธรรม นายสิทธิรัตน์ นิตย์สุข และนางสาวสุกัญญา อังคชน
นักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้จัดทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “ชุดทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส”
ในวิชาโครงการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอน และภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมพิจารณาเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้
ความสามารถ ประสบการณ์ และเชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือการวิจัย จึงมีความประสงค์ขอเรียนเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิ
ตรวจเครื่องมือการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ จักขอบคุณยิ่ง และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

โทรศัพท์. 0-2326-4322

โทรสาร. 0-2326-4322

เอกสารนี้เป็นการขอใช้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

โทร. 2702-3

ที่ ศธ 0524.04(5)/คทช

วันที่ 25 พฤศจิกายน 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน ดร.ณรงค์ พิมสาร

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถามเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วย นายจรศักดิ์ ไปร่งใจ นายสัญญา ศรีวระมย์ นายสิทธิรัตน์ นิตย์สุข และนางสาวสุกัญญา อังคชร นักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้จัดทำปฏิญานินพนธ์ เรื่อง “ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส” ในวิชาโครงการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอน และภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมพิจารณาเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ ประสบการณ์ และเชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือการวิจัย จึงมีความประสงค์ขอเรียนเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ ด้กขอบคุณยั้ง และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(นายสุรสิทธิ์ รัตรี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

โทร. 2702-3

ที่ ศธ 0524.04(5)/คท1

วันที่ 25 พฤศจิกายน 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน ดร.ฉันทนา โหมดมณี

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถามเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วย นายขจรศักดิ์ โปรงใจ นายสัญญา ศรีวระรัมย์ นายสิทธิรัตน์ นิตย์สุข และนางสาวสุกัญญา อังคนร นักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้จัดทำปฏิญานินพนธ์ เรื่อง “ชุดทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส” ในวิชาโครงการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอน และภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมพิจารณาเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ ประสบการณ์ และเชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือการวิจัย จึงมีความประสงค์ขอเรียนเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ จักขอบคุณยิ่ง และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(นายสุรสิทธิ์ ราตรี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม



ภาคผนวก ข

รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



August 1986
Revised September 1998

DM7490A Decade and Binary Counter

DM7490A Decade and Binary Counter

General Description

The DM7490A monolithic counter contains four master-slave flip-flops and additional gating to provide a divide-by-two counter and a three-stage binary counter for which the count cycle length is divide-by-five.

The counter has a gated zero reset and also has gated set-to-nine inputs for use in BCD nine's complement applications.

To use the maximum count length (decade or four-bit binary), the B input is connected to the Q_A output. The input count pulses are applied to input A and the outputs

are as described in the appropriate truth table. A symmetrical divide-by-ten count can be obtained from the counters by connecting the Q_D output to the A input and applying the input count to the B input which gives a divide-by-ten square wave at output Q_A .

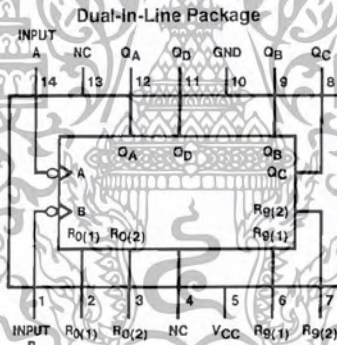
Features

- Typical power dissipation
—90A 145 mW
- Count frequency 42 MHz

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM7490AN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package, JECEC MS-001, 0.300" Wide

Connection Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DM7490A

Function Tables (Note 1)

BCD Count Sequence (Note 2)

Count	Outputs			
	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H

BCD Bi-Quinary (5-2) (Note 3)

Count	Outputs			
	Q _A	Q _D	Q _C	Q _B
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	H	L	L	L
6	H	L	L	H
7	H	L	H	L
8	H	L	H	H
9	H	H	L	L

Reset/Count Function Table

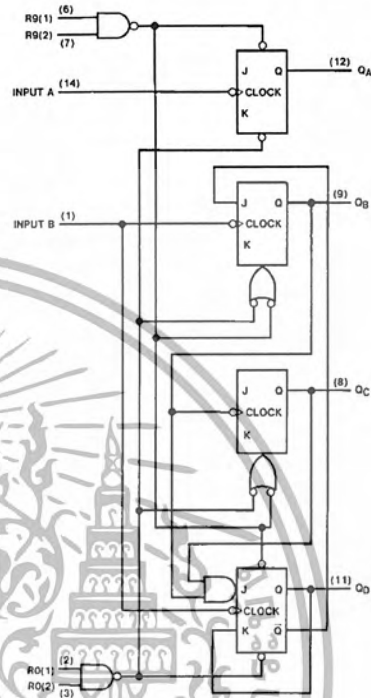
Reset Inputs				Outputs			
R0(1)	R0(2)	R9(1)	R9(2)	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
H	H	L	X	L	L	L	L
H	H	X	L	L	L	L	L
X	X	H	H	H	L	L	H
X	L	X	L	COUNT			
L	X	L	X	COUNT			
L	X	X	L	COUNT			
X	L	L	X	COUNT			

Note 1: H = High Level, L = Low Level, X = Don't Care.

Note 2: Output Q_A is connected to input B for BCD count.

Note 3: Output Q_D is connected to input A for bi-quinary count.

Logic Diagram



The J and K inputs shown without connection are for reference only and are functionally at a high level.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings(Note 4)

Supply Voltage	7V	Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Input Voltage	5.5V	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter		Min	Nom	Max	Units
V _{CC}	Supply Voltage		4.75	5	5.25	V
V _{IH}	High Level Input Voltage		2			V
V _{IL}	Low Level Input Voltage				0.8	V
I _{OH}	High Level Output Current				-0.8	mA
I _{OL}	Low Level Output Current				16	mA
f _{CLK}	Clock Frequency (Note 5)	A	0		32	MHz
		B	0		16	
t _W	Pulse Width (Note 5)	A	15			ns
		B	30			
		Reset	15			
t _{REL}	Reset Release Time (Note 5)		25			ns
T _A	Free Air Operating Temperature		0		70	°C

Note 4: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Note 5: T_A = 25°C and V_{CC} = 5V.

DC Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 6)	Max	Units
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = -12 mA			-1.5	V
V _{OH}	High Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OH} = Max V _{IL} = Max, V _{IH} = Min	2.4	3.4		V
V _{OL}	Low Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OL} = Max V _{IH} = Min, V _{IL} = Max (Note 7)		0.2	0.4	V
I _I	Input Current @ Max Input Voltage	V _{CC} = Max, V _I = 5.5V			1	mA
I _{IH}	High Level Input Current	V _{CC} = Max V _I = 2.7V	A		80	μA
			Reset		40	
			B		120	
I _{IL}	Low Level Input Current	V _{CC} = Max V _I = 0.4V	A		-3.2	mA
			Reset		-1.6	
			B		-4.8	
I _{OS}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max (Note 8)	DM54		-57	mA
			DM74		-57	
I _{CC}	Supply Current	V _{CC} = Max (Note 9)		29	42	mA

Note 6: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 7: Q_A outputs are tested at I_{OL} = Max plus the limit value of I_{IL} for the B input. This permits driving the B input while maintaining full fan-out capability.

Note 8: Not more than one output should be shorted at a time.

Note 9: I_{CC} is measured with all outputs open, both RO inputs grounded following momentary connection to 4.5V, and all other inputs grounded.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

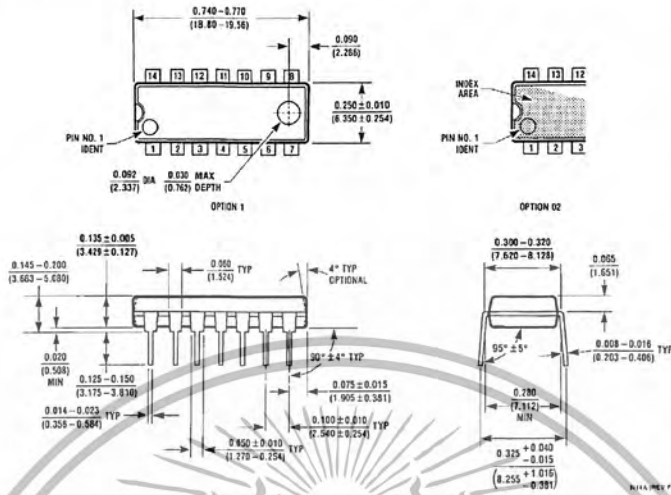
DM7490A

AC Switching Characteristics at $V_{CC} = 5V$ and $T_A = 25^\circ C$

Symbol	Parameter	From (Input) To (Output)	$R_L = 400\Omega$ $C_L = 15\text{ pF}$		Units
			Min	Max	
f_{MAX}	Maximum Clock Frequency	A to Q_A	32		MHz
		B to Q_B	16		
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	A to Q_A		16	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	A to Q_A		18	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	A to Q_D		48	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	A to Q_D		50	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	B to Q_B		16	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	B to Q_B		21	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	B to Q_C		32	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	B to Q_C		35	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	B to Q_D		32	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	B to Q_D		35	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	SET-9 to Q_A, Q_D		30	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	SET-9 to Q_B, Q_C		40	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	SET-0 Any Q		40	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



14-Lead Plastic Dual-In-Line Package, JEDEC MS-001, 0.300" Wide Package Number N14A

LIFE SUPPORT POLICY

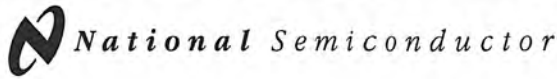
FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

www.fairchildsemi.com

Fairchild does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and Fairchild reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



August 2000

LM741 Operational Amplifier

LM741 Operational Amplifier

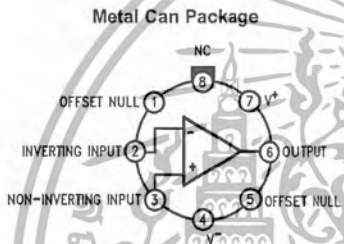
General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C is identical to the LM741/LM741A except that the LM741C has their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Connection Diagrams

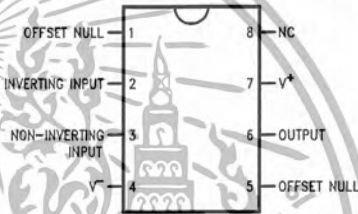


DS009341-2

Note 1: LM741H is available per JM38510/10101

Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 1),
LM741AH/883 or LM741CH
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line or S.O. Package



DS009341-3

Order Number LM741J, LM741J/883, LM741CN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Ceramic Flatpak

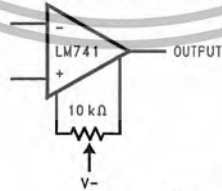


DS009341-6

Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A

Typical Application

Offset Nulling Circuit



DS009341-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.
(Note 7)

	LM741A	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 3)	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 4)	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	150°C	100°C
Soldering Information			
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C
M-Package			
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD Tolerance (Note 8)	400V	400V	400V

Electrical Characteristics (Note 5)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \leq 50\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0	2.0	6.0	mV	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0		7.5	mV	
				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Average Input Offset Voltage Drift				15						$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 20\text{V}$		±10			±15			±15	mV	
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200	20	200	nA	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70		85	500		300	nA	
Average Input Offset Current Drift				0.5						nA/°C	
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500	80	500	nA	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210			1.5		0.8	μA	
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 20\text{V}$		1.0	6.0		0.3	2.0	0.3	2.0	M Ω	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $V_S = \pm 20\text{V}$		0.5							M Ω	
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13	V	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$									V	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)													
Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units		
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max			
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$	50						50	200		20	200	V/mV V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$	32						25			15		V/mV V/mV V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}$, $V_O = \pm 2\text{V}$	10											V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	± 16											V V
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$							± 12 ± 10	± 14 ± 13		± 12 ± 10	± 14 ± 13	V V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	25	35				25			25		mA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10		40									mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$ $R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$							70	90		70	90	dB dB
		80	95										
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $V_S = \pm 20\text{V}$ to $V_S = \pm 5\text{V}$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$												dB dB
		86	96					77	96		77	96	
Transient Response	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	Rise Time	0.25	0.8				0.3			0.3		μs
		Overshoot	6.0	20				5			5		%
Bandwidth (Note 6)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5										MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	0.3	0.7				0.5			0.5			V/ μs
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$						1.7	2.8		1.7	2.8		mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$	LM741A	80	150				50	85		50	85	mW mW
		LM741			165								mW
	$V_S = \pm 15\text{V}$	$T_A = T_{AMIN}$			135								mW
		$T_A = T_{AMAX}$						60	100				mW
	$T_A = T_{AMIN}$						45	75				mW	
	$T_A = T_{AMAX}$											mW	

Note 2: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)

Note 3: For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and T_j max. (listed under "Absolute Maximum Ratings"). $T_j = T_A + (\theta_{JA} P_D)$.

Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (N)	HO8 (H)	SO-8 (M)
θ_{JA} (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
θ_{JC} (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

Note 4: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

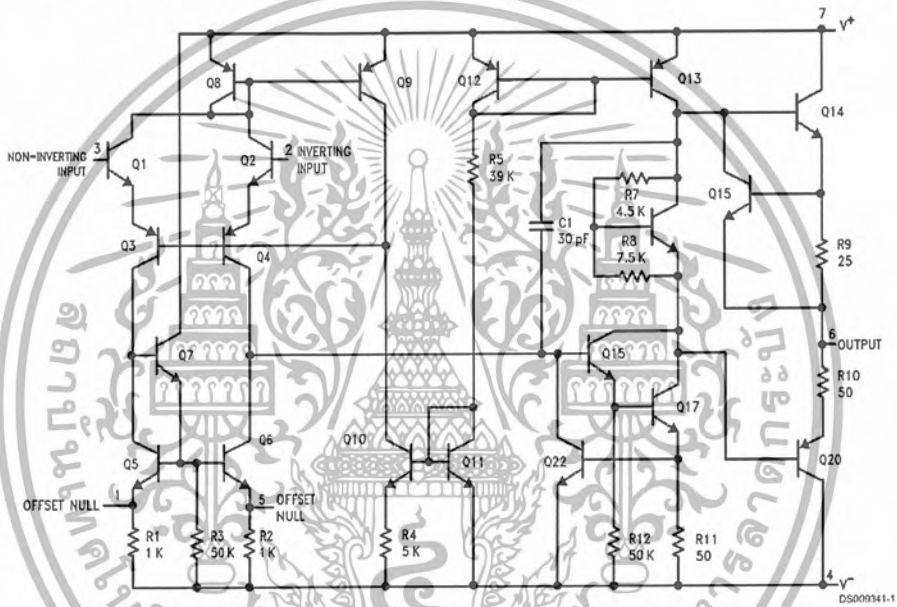
Note 5: Unless otherwise specified, these specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$.

Note 6: Calculated value from: BW (MHz) = $0.35/\text{Rise Time}(\mu s)$.

Note 7: For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

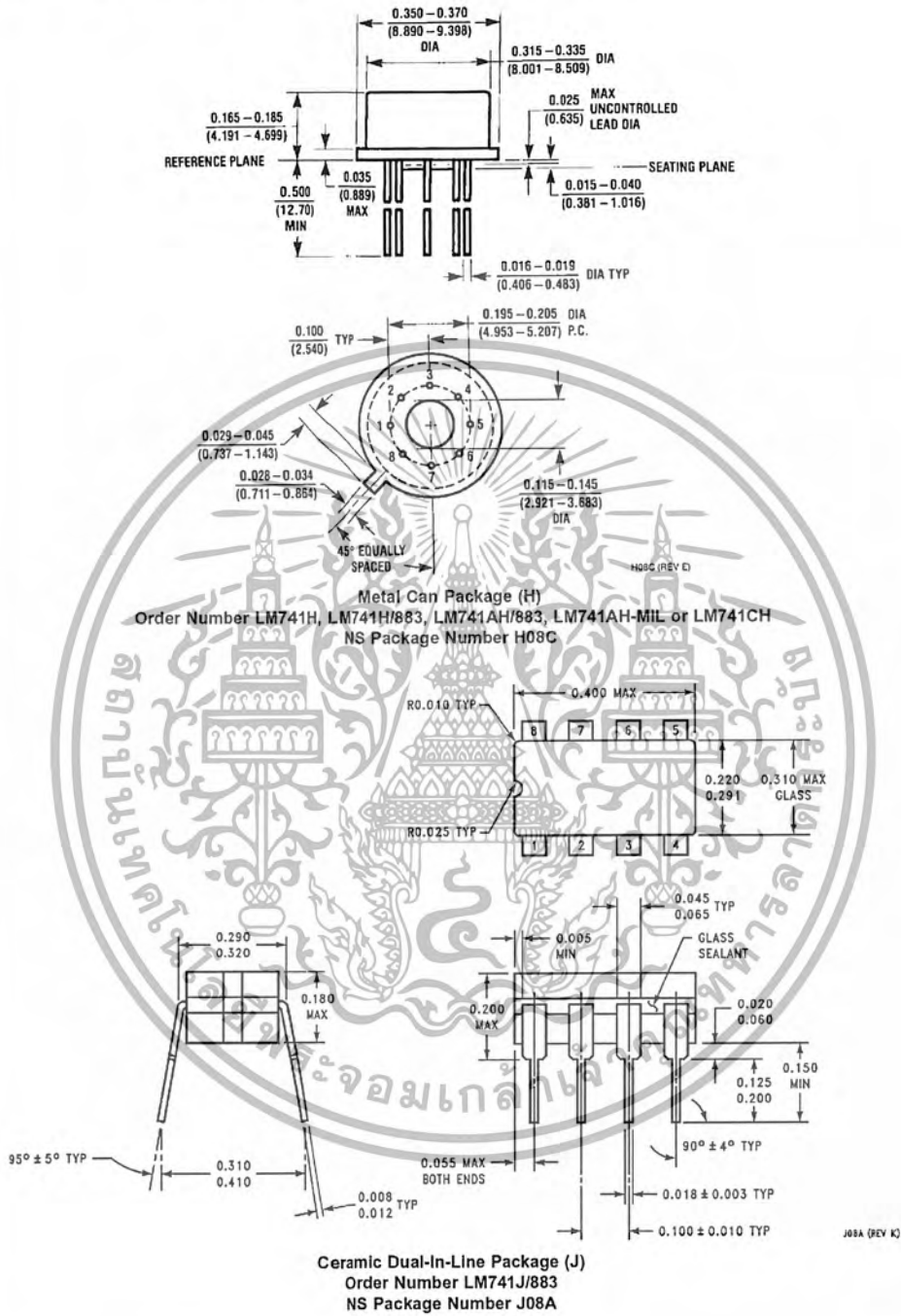
Note 8: Human body model. 1.5 k Ω in series with 100 pF.

Schematic Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

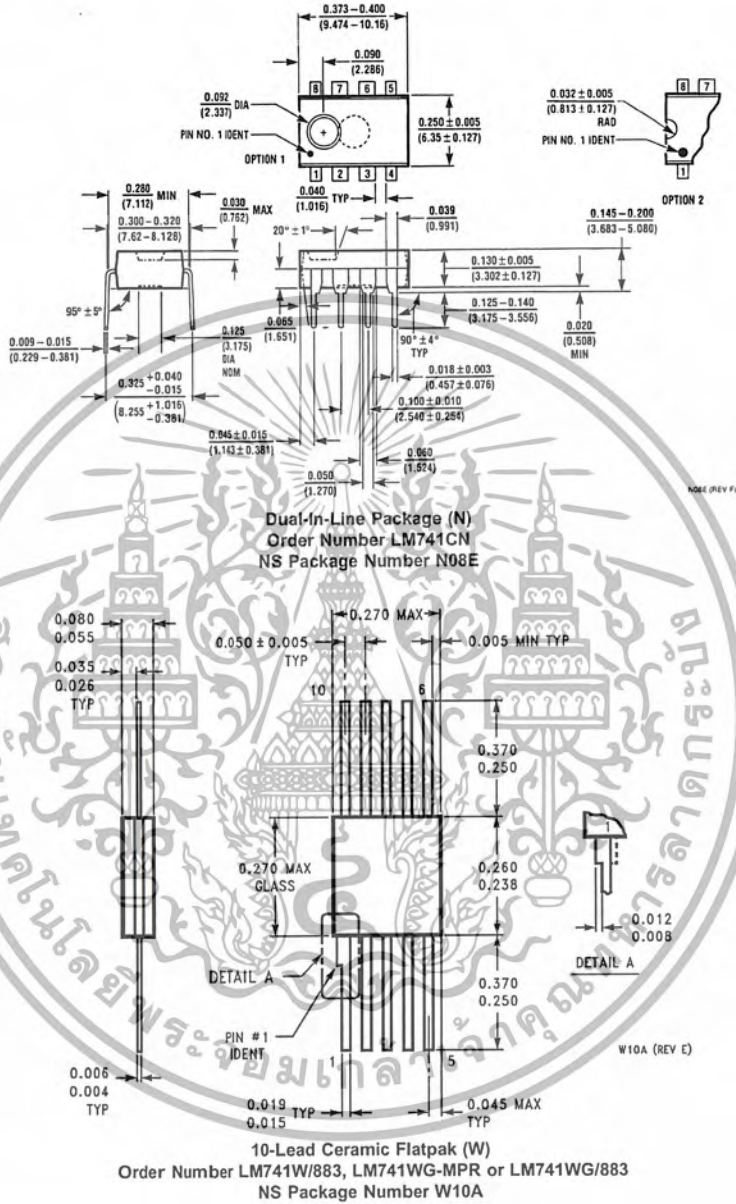
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM741

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

- Complete PWM Power Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source Current
- Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation
- Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output
- Variable Dead Time Provides Control Over Total Range
- Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply With 5% Tolerance
- Circuit Architecture Allows Easy Synchronization

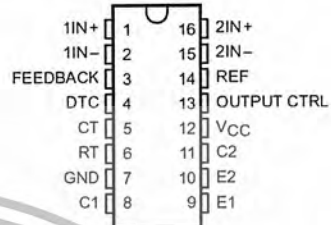
description

The TL494 incorporates on a single monolithic chip all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation control circuit. Designed primarily for power supply control, this device offers the systems engineer the flexibility to tailor the power supply control circuitry to a specific application.

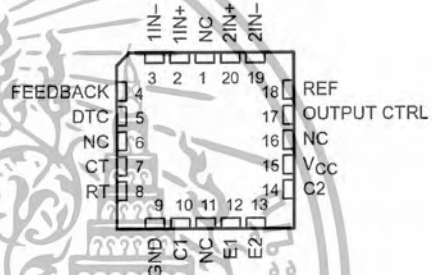
The TL494 contains two error amplifiers, an on-chip adjustable oscillator, a dead-time control (DTC) comparator, a pulse-steering control flip-flop, a 5-V, 5%-precision regulator, and output-control circuits.

The error amplifiers exhibit a common-mode voltage range from -0.3 V to $V_{CC} - 2\text{ V}$. The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time. The on-chip oscillator may be bypassed by terminating RT to the reference output and providing a sawtooth input to CT, or it may drive the common circuits in synchronous, multiple-rail power supplies.

TL494C, TL494I . . . D, N, OR PW PACKAGE
TL494M . . . J PACKAGE
(TOP VIEW)



TL494M . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

FUNCTION TABLE

INPUT TO OUTPUT CTRL	OUTPUT FUNCTION
$V_I = GND$	Single-ended or parallel output
$V_I = V_{ref}$	Normal push-pull operation

AVAILABLE OPTIONS

T _A	PACKAGED DEVICES					CHIP FORM (Y)
	SURFACE MOUNT (D)†	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (J)	PLASTIC DIP (N)	SHRINK SMALL OUTLINE (PW)‡	
0°C to 70°C	TL494CD	—	—	TL494CN	TL494CPW	TL494Y
-40°C to 85°C	TL494ID	—	—	TL494IN	—	—
-55°C to 125°C	—	TL494MFK	TL494MJ	—	—	—

† The D package is available taped and reeled. Add R suffix to device type (e.g., TL494CDR).
‡ The PW package is only available left-end taped and reeled.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



Copyright © 1995, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-STD-883, Class B, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

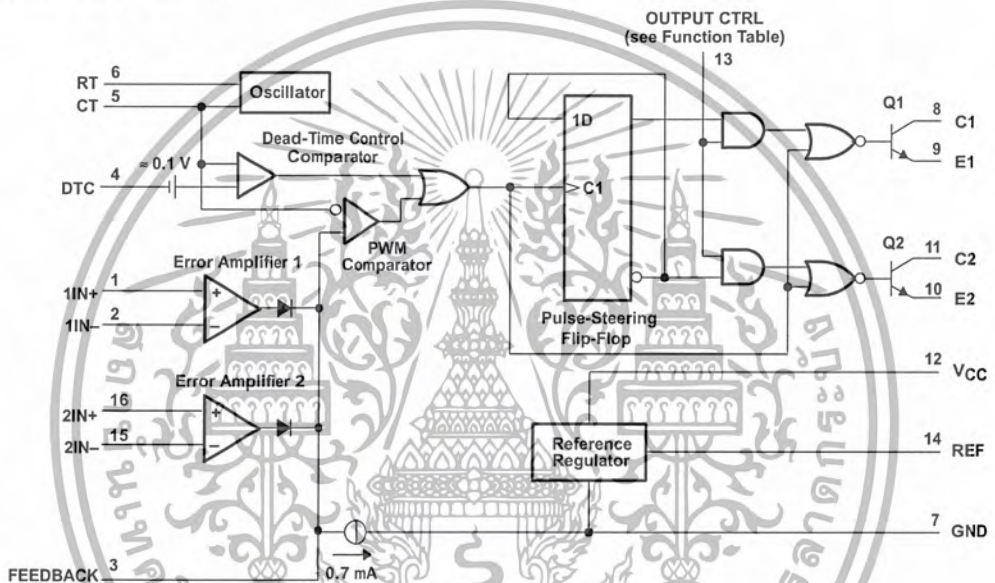
SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

description (continued)

The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. The TL494 provides for push-pull or single-ended output operation, which may be selected through the output-control function. The architecture of this device prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation.

The TL494C is characterized for operation from 0°C to 70°C. The TL494I is characterized for operation from -40°C to 85°C. The TL494M is characterized for operation from -55°C to 125°C.

functional block diagram



NOTE A. The terminal numbers indicated apply only to the D, J, N, and PW packages.



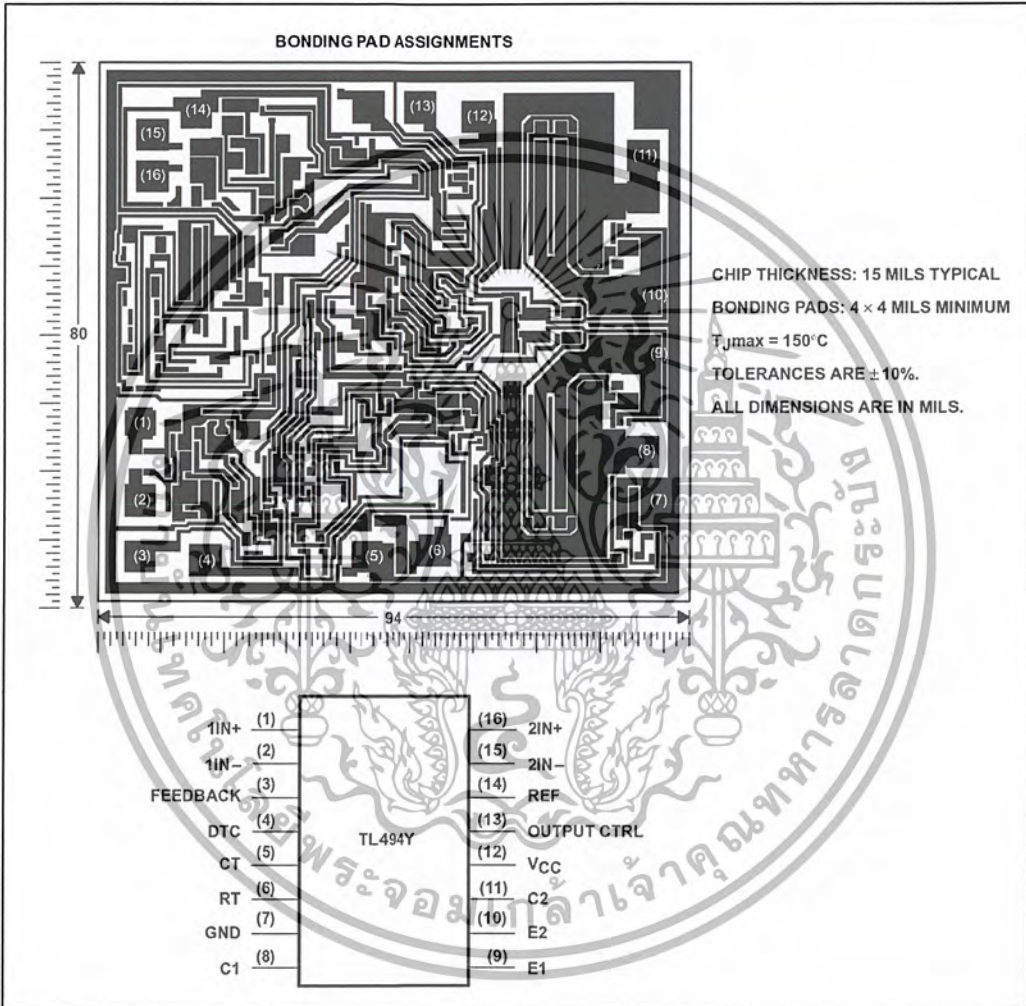
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

TL494Y chip information

This chip, when properly assembled, display characteristics similar to the TL494C. Thermal compression or ultrasonic bonding may be used on the doped aluminum bonding pads. The chips may be mounted with conductive epoxy or a gold-silicon preform.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

	TL494C	TL494I	TL494M	UNIT
Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	41	41	41	V
Amplifier input voltage, V_I	$V_{CC} + 0.3$	$V_{CC} + 0.3$	$V_{CC} + 0.3$	V
Collector output voltage, V_O	41	41	41	V
Collector output current, I_O	250	250	250	mA
Continuous total power dissipation	See Dissipation Rating Table			
Operating free-air temperature range, T_A	0 to 70	-40 to 85	-55 to 125	°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	°C
Case temperature for 60 seconds, T_C : FK package	—	—	260	°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: D, N, or PW package	260	260	—	°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: J package	—	—	300	°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values, except differential voltages, are with respect to the network ground terminal.

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$		DERATE ABOVE T_A	$T_A = 70^\circ\text{C}$		$T_A = 85^\circ\text{C}$		$T_A = 125^\circ\text{C}$	
	POWER RATING	DERATING FACTOR		POWER RATING	POWER RATING	POWER RATING	POWER RATING		
D	900 mW	7.6 mW/°C	25°C	558 mW	444 mW	—	—	—	—
FK	1375 mW	11.0 mW/°C	25°C	880 mW	715 mW	275 mW	—	—	—
J	1375 mW	11.0 mW/°C	25°C	880 mW	715 mW	275 mW	—	—	—
N	1000 mW	9.2 mW/°C	41°C	733 mW	595 mW	—	—	—	—
PW	700 mW	5.6 mW/°C	25°C	448 mW	—	—	—	—	—

recommended operating conditions

	TL494C		TL494I		TL494M		UNIT
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	7	40	7	40	7	40	V
Amplifier input voltage, V_I	-0.3	$V_{CC} - 2$	-0.3	$V_{CC} - 2$	-0.3	$V_{CC} - 2$	V
Collector output voltage, V_O		40		40		40	V
Collector output current (each transistor)		200		200		200	mA
Current into feedback terminal		0.3		0.3		0.3	mA
Oscillator frequency, f_{osc}	1	300	1	300	1	300	kHz
Timing capacitor, C_T	0.47	10000	0.47	10000	0.47	10000	nF
Timing resistor, R_T	1.8	500	1.8	500	1.8	500	k Ω
Operating free-air temperature, T_A	0	70	-40	85	-55	125	°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

reference section

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494C, TL494I			TL494M			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	MIN	TYP‡	MAX	
Output voltage (REF)	$I_O = 1\text{ mA}$	4.75	5	5.25	4.75	5	5.25	V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		2	25		2	25	mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$		1	15		1	15	mV
Output voltage change with temperature	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$		2	10		2	30*	mV/V
Short-circuit output current§	REF = 0 V			25			-25	mA

* On products compliant to MIL-STD-883, Class B, this parameter is not production tested.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values except for parameter changes with temperature are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

§ Duration of the short circuit should not exceed one second.

oscillator section, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494C, TL494I			TL494M			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	MIN	TYP‡	MAX	
Frequency			10			10		kHz
Standard deviation of frequency¶	All values of V_{CC} , C_T , R_T , and T_A constant		100			100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		1			1		Hz/kHz
Frequency change with temperature#	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$			10			10*	Hz/kHz

* On products compliant to MIL-STD-883, Class B, this parameter is not production tested.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values except for parameter changes with temperature are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

¶ Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

Temperature coefficient of timing capacitor and timing resistor not taken into account.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

error amplifier section (see Figure 2)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494C, TL494I TL494M			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Input offset voltage	$V_O(\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		2	10	mV
Input offset current	$V_O(\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		25	250	nA
Input bias current	$V_O(\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		0.2	1	μA
Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		-0.3 to $V_{CC}-2$		V
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$, $R_L = 2\ \text{k}\Omega$, $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$		70	95	dB
Unity-gain bandwidth	$V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2\ \text{k}\Omega$		800		kHz
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_O = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		65	80	dB
Output sink current (FEEDBACK)	$V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$, $V(\text{FEEDBACK}) = 0.7\text{ V}$		0.3	0.7	mA
Output source current (FEEDBACK)	$V_{ID} = 15\text{ mV to }5\text{ V}$, $V(\text{FEEDBACK}) = 3.5\text{ V}$		-2		mA

‡ All typical values except for parameter changes with temperature are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

reference section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Output voltage (REF)	$I_O = 1\text{ mA}$		5		V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		2		mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$		1		mV
Short-circuit output current‡	REF = 0 V		25		mA

oscillator section, $C_T = 0.01\text{ }\mu\text{F}$, $R_T = 12\text{ k}\Omega$ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency§	All values of V_{CC} , C_T , R_T , and T_A constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		1		Hz/kHz

error amplifier section (see Figure 2)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Input offset voltage	$V_O(\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		2		mV
Input offset current	$V_O(\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		25		nA
Input bias current	$V_O(\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		0.2		μA
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$		95		dB
Unity-gain bandwidth	$V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$		800		kHz
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_O = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		80		dB
Output sink current (FEEDBACK)	$V_{ID} = -15\text{ mV to }+5\text{ V}$, $V_O(\text{FEEDBACK}) = 0.7\text{ V}$		0.7		mA

† All typical values except for parameter changes with temperature are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

‡ Duration of the short circuit should not exceed one second.

§ Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

 TEXAS
INSTRUMENTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

output section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494C, TL494I TL494M, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Collector off-state current	$V_{CE} = 40\text{ V}$, $V_{CC} = 40\text{ V}$		2	100	μA
Emitter off-state current	$V_{CC} = V_C = 40\text{ V}$, $V_E = 0$			-100	μA
Collector-emitter saturation voltage	Common emitter	$V_E = 0$,	$I_C = 200\text{ mA}$		V
	Emitter follower	$V_{O(C1\text{ or }C2)} = 15\text{ V}$, $I_E = -200\text{ mA}$			
Output control input current	$V_I = V_{ref}$			3.5	mA

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

dead-time control section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494C, TL494I TL494Y			TL494M			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	MIN	TYP†	MAX	
Input bias current (DEAD-TIME CTRL)	$V_I = 0\text{ to }5.25\text{ V}$		-2	-10	-2	-10		μA
Maximum duty cycle, each output	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 0, $C_T = 0.1\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$		45%		45%	50%*		
Input threshold voltage (DEAD-TIME CTRL)	Zero duty cycle		3	3.3	3	3.3		V
	Maximum duty cycle		0		0*			

* On products compliant to MIL-STD-883, Class B, this parameter is not production tested.

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

PWM comparator section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494C, TL494I TL494M, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Input threshold voltage (FEEDBACK)	Zero duty cycle		4	4.5	V
Input sink current (FEEDBACK)	V (FEEDBACK) = 0.7 V	0.3	0.7		mA

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

total device

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494C, TL494I TL494Y			TL494M			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	MIN	TYP†	MAX	
Standby supply current	$R_T = V_{ref}$, All other inputs and outputs open	$V_{CC} = 15\text{ V}$	6	10	6	21	mA	
	$V_{CC} = 40\text{ V}$	9	15	9	26			
Average supply current	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 2 V, See Figure 1		7.5		7.5		mA	

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$,
 $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted) (continued)

switching characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494C, TL494I TL494Y			TL494M			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	MIN	TYP†	MAX	
Rise time	Common-emitter configuration, See Figure 3	100	200		100	200*	ns	
Fall time		25	100		25	100*	ns	
Rise time	Emitter-follower configuration, See Figure 4	100	200		100	200*	ns	
Fall time		40	100		40	100*	ns	

* On products compliant to MIL-STD-883, Class B, this parameter is not production tested.

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



 TEXAS
INSTRUMENTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

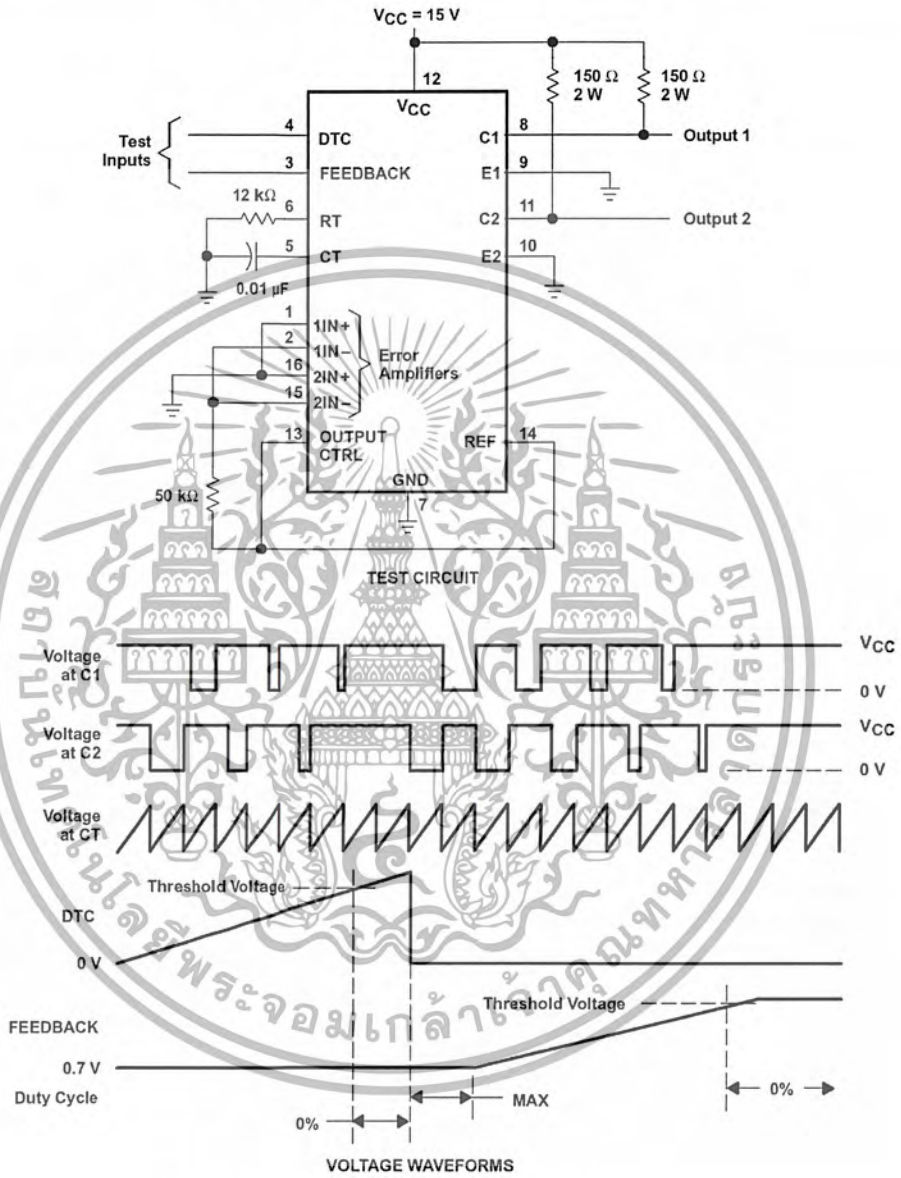


Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

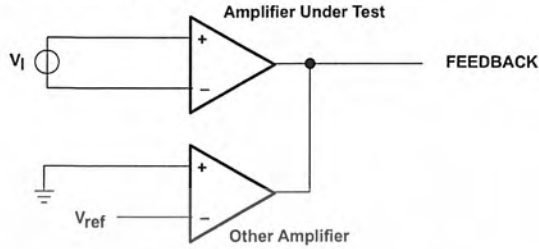


Figure 2. Amplifier Characteristics

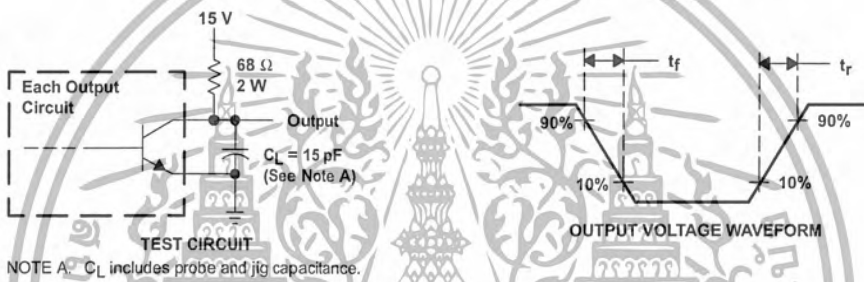


Figure 3. Common-Emitter Configuration

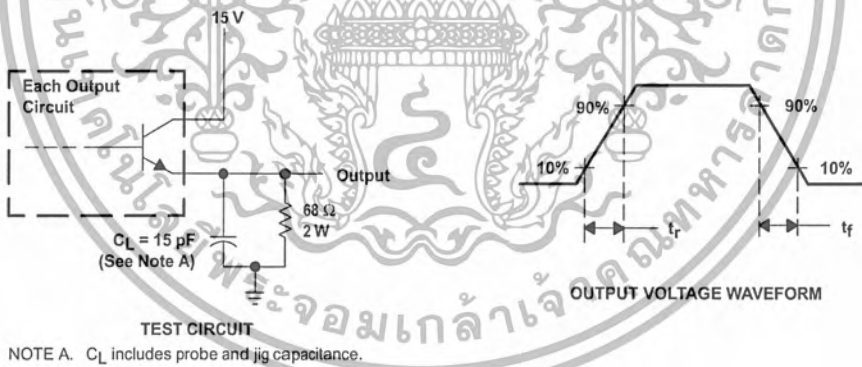


Figure 4. Emitter-Follower Configuration



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

TYPICAL CHARACTERISTICS

OSCILLATOR FREQUENCY AND
FREQUENCY VARIATION†
vs
TIMING RESISTANCE

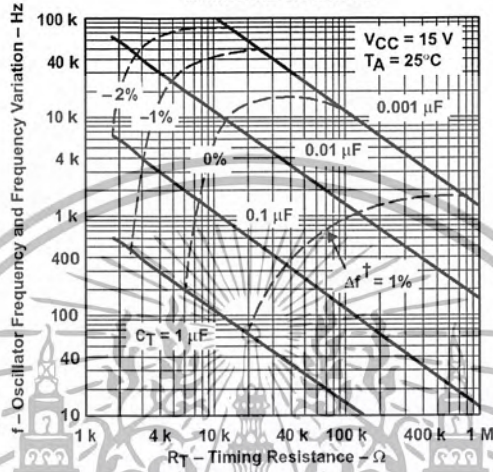


Figure 5

† Frequency variation (Δf) is the change in oscillator frequency that occurs over the full temperature range.

AMPLIFIER VOLTAGE AMPLIFICATION
vs
FREQUENCY

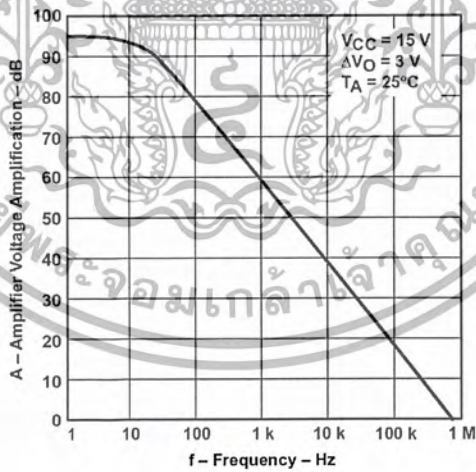


Figure 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ICL8038

Precision Waveform Generator/ Voltage Controlled Oscillator

November 1996

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

Description

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.

Ordering Information

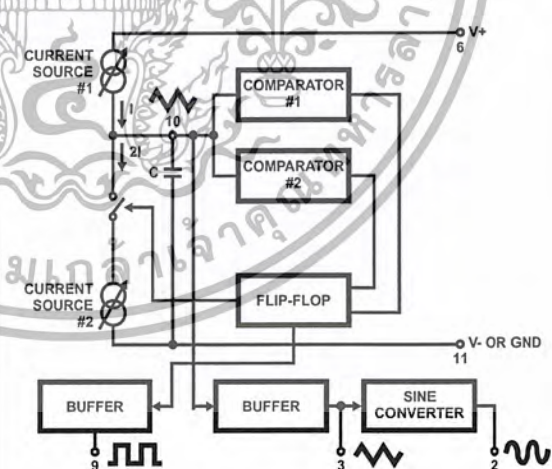
PART NUMBER	STABILITY	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
ICL8038CCPD	250ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld PDIP	E14.3
ICL8038CCJD	250ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld CERDIP	F14.3
ICL8038BCJD	180ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld CERDIP	F14.3
ICL8038ACJD	120ppm/°C (Typ)	0 to 70	14 Ld CERDIP	F14.3
ICL8038BMJD (Note)	350ppm/°C (Max)	-55 to 125	14 Ld CERDIP	F14.3
ICL8038AMJD (Note)	250ppm/°C (Max)	-55 to 125	14 Ld CERDIP	F14.3

NOTE: Add /883B to part number if 883 processing is required.

Pinout



Functional Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL8038

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	
ICL8038AM, ICL8038BM	-55°C to 125°C
ICL8038AC, ICL8038BC, ICL8038CC	0°C to 70°C

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.

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	θ_{JA} (°C/W)	θ_{JC} (°C/W)
CERDIP Package	75	20
PDIP Package	115	N/A
Maximum Junction Temperature (Ceramic Package)	175°C	
Maximum Junction Temperature (Plastic Package)	150°C	
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C	
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300°C	

Electrical Specifications $V_{SUPPLY} = \pm 10V$ or $+20V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L = 10k\Omega$, Test Circuit Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	ICL8038CC			ICL8038BC(BM)			ICL8038AC(AM)			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Supply Voltage Operating Range	V_{SUPPLY}	Single Supply	+10	-	+30	+10	-	+30	+10	-	+30	V
	V+, V-	Dual Supplies	±5	-	±15	±5	-	±15	±5	-	±5	V
Supply Current	I_{SUPPLY}	$V_{SUPPLY} = \pm 10V$ (Note 2)	8038AM, 8038BM			8038AC, 8038BC, 8038CC						
			-	-	-	12	15	-	12	15	mA	
FREQUENCY CHARACTERISTICS (All Waveforms)												
Max. Frequency of Oscillation	f_{MAX}		100	-	-	400	-	-	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)	$\Delta f/\Delta T$	8038AC, 8038BC, 8038CC	0°C to 70°C			-			120			ppm/°C
		8038AM, 8038BM	-55°C to 125°C			-			350			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}	$V_G = 30V$	-	-	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	$R_L = 4.7k\Omega$	-	180	-	-	180	-	-	180	-	ns
Fall Time	t_F	$R_L = 4.7k\Omega$	-	40	-	-	40	-	-	40	-	ns
Typical Duty Cycle Adjust (Note 6)	ΔD		2		98	2		98	2		98	%
Triangle/Sawtooth/Ramp												-
Amplitude	$V_{TRIANGLE}$	$R_{TRI} = 100k\Omega$	0.30	0.33	-	0.30	0.33	-	0.30	0.33	-	x V_{SUPPLY}
Linearity			-	0.1	-	-	0.05	-	-	0.05	-	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL8038

Electrical Specifications $V_{SUPPLY} = \pm 10V$ or $+20V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L = 10k\Omega$, Test Circuit Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	ICL8038CC			ICL8038BC(BM)			ICL8038AC(AM)			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Output Impedance	Z_{OUT}	$I_{OUT} = 5mA$	-	200	-	-	200	-	-	200	-	Ω
Sine Wave Amplitude	V_{SINE}	$R_{SINE} = 100k\Omega$	0.2	0.22	-	0.2	0.22	-	0.2	0.22	-	xV_{SUPPLY}
THD	THD	$R_S = 1M\Omega$ (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:

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

Test Conditions

PARAMETER	R_A	R_B	R_L	C	SW ₁	MEASURE
Supply Current	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Current Into Pin 6
Sweep FM Range (Note 7)	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Open	Frequency at Pin 9
Frequency Drift with Temperature	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Frequency at Pin 3
Frequency Drift with Supply Voltage (Note 8)	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Frequency at Pin 9
Output Amplitude (Note 10)						
Sine	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Pk-Pk Output at Pin 2
Triangle	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Pk-Pk Output at Pin 3
Leakage Current (Off) (Note 9)	10k Ω	10k Ω		3.3nF	Closed	Current into Pin 9
Saturation Voltage (On) (Note 9)	10k Ω	10k Ω		3.3nF	Closed	Output (Low) at Pin 9
Rise and Fall Times (Note 11)	10k Ω	10k Ω	4.7k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 9
Duty Cycle Adjust (Note 11)						
Max	50k Ω	-1.6k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 9
Min	-25k Ω	50k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 9
Triangle Waveform Linearity	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 3
Total Harmonic Distortion	10k Ω	10k Ω	10k Ω	3.3nF	Closed	Waveform at Pin 2

NOTES:

- 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 ($\frac{2}{3} V_{SUPPLY} + 2V$) $\leq V_{SWEEP} \leq V_{SUPPLY}$ where V_{SUPPLY} is the total supply voltage. In Figure 5B, pin 8 should vary between 5.3V and 10V with respect to ground.
- $10V \leq V_+ \leq 30V$, or $\pm 5V \leq V_{SUPPLY} \leq \pm 15V$.
- Oscillation can be halted by forcing pin 10 to +5V or -5V.
- Output Amplitude is tested under static conditions by forcing pin 10 to 5V then to -5V.
- Not tested; for design purposes only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL8038

Test Circuit

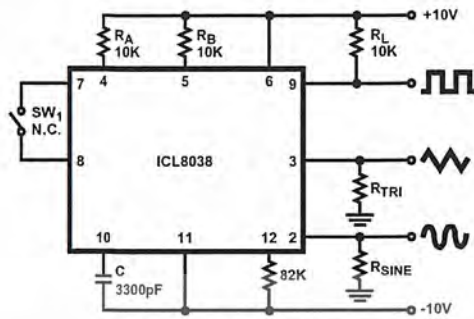
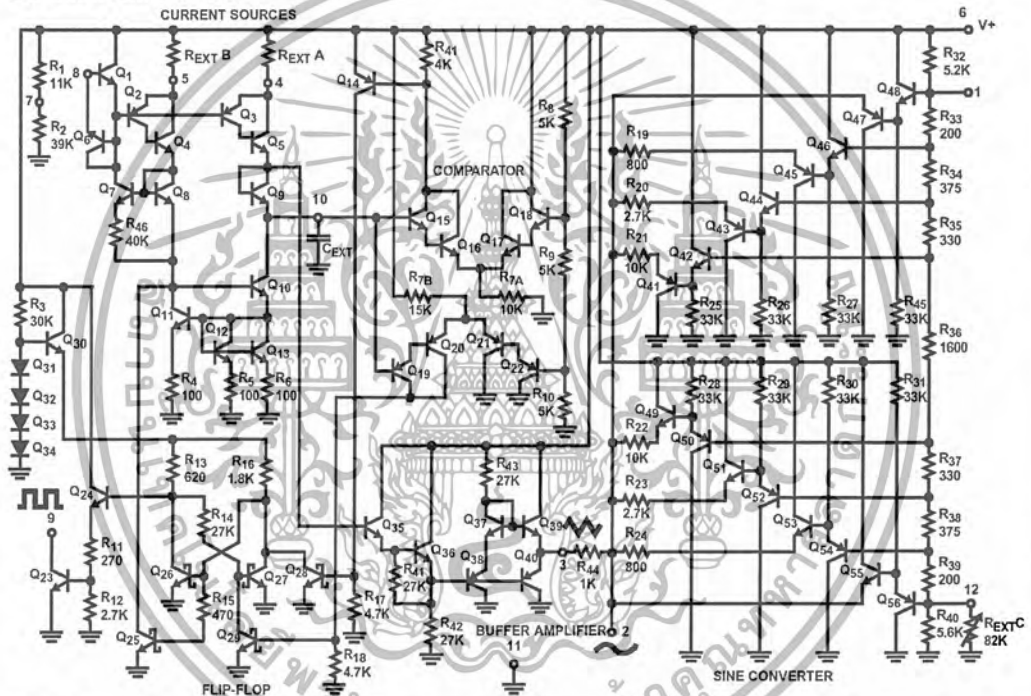


FIGURE 1. TEST CIRCUIT

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.

ICL8038

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 $\frac{1}{3} V_{SUPPLY}$; therefore the rising portion of the triangle is,

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

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

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

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

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

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.

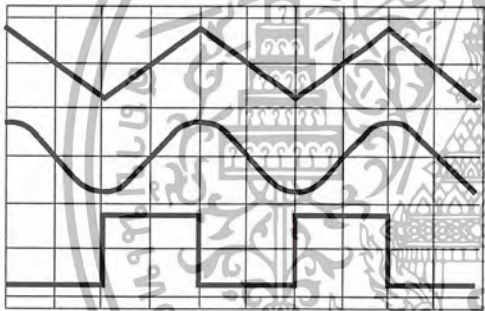


FIGURE 2A. SQUARE WAVE DUTY CYCLE - 50%

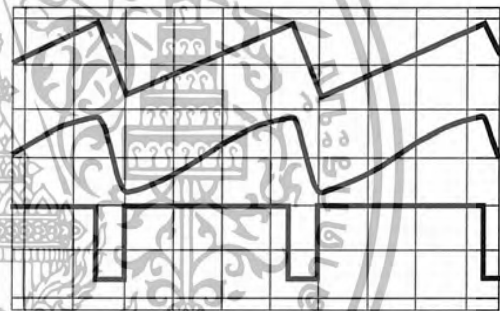


FIGURE 2B. SQUARE WAVE DUTY CYCLE - 80%

FIGURE 2. PHASE RELATIONSHIP OF WAVEFORMS

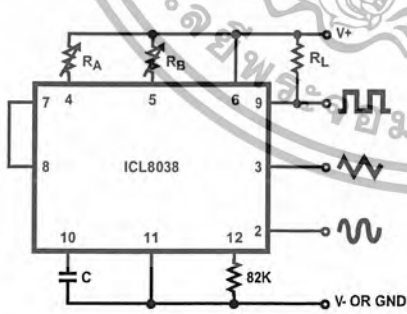


FIGURE 3A.

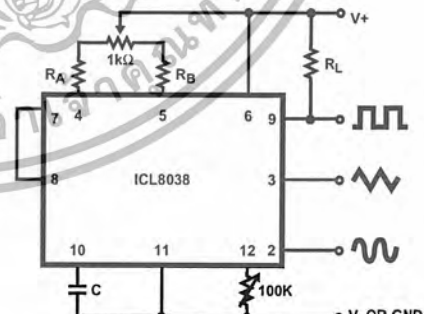


FIGURE 3B.

FIGURE 3. POSSIBLE CONNECTIONS FOR THE EXTERNAL TIMING RESISTORS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL8038

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%.

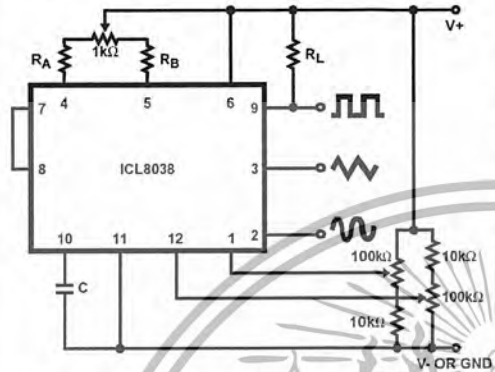


FIGURE 4. CONNECTION TO ACHIEVE MINIMUM SINE WAVE DISTORTION

Selecting RA, RB 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 (> 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 RA can be calculated from:

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

R1 and R2 are shown in the Detailed Schematic. A similar calculation holds for RB. 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 = 0 at VSWEEP = 0). 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 VSUPPLY - 2V).

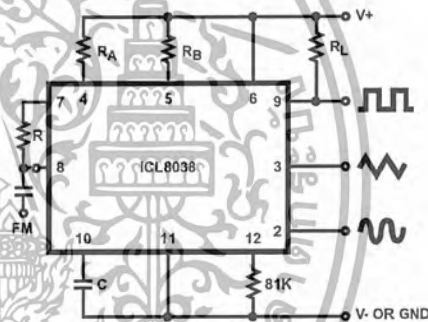


FIGURE 5A. CONNECTIONS FOR FREQUENCY MODULATION

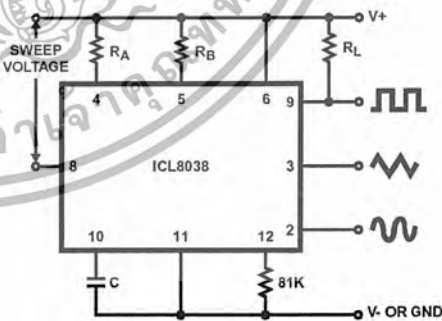


FIGURE 5B. CONNECTIONS FOR FREQUENCY SWEEP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL8038

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.

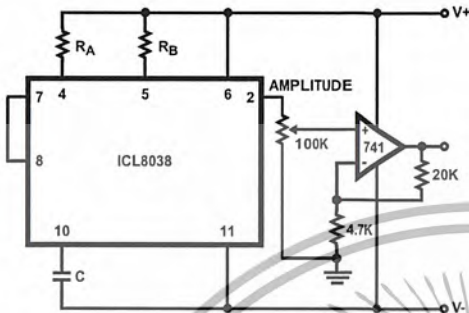


FIGURE 6. SINE WAVE OUTPUT BUFFER AMPLIFIERS

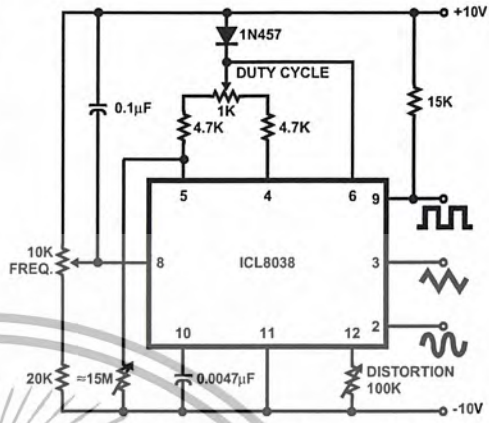


FIGURE 8. VARIABLE AUDIO OSCILLATOR, 20Hz TO 20kHz

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.

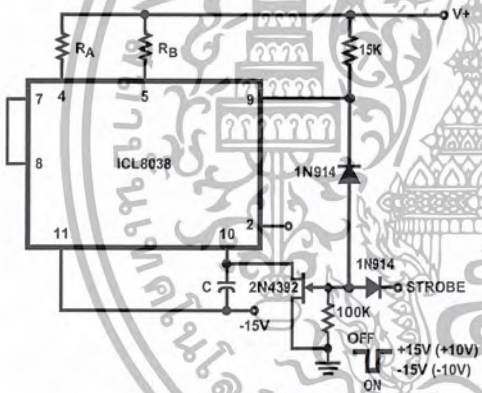


FIGURE 7. STROBE TONE BURST GENERATOR

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 9.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL8038

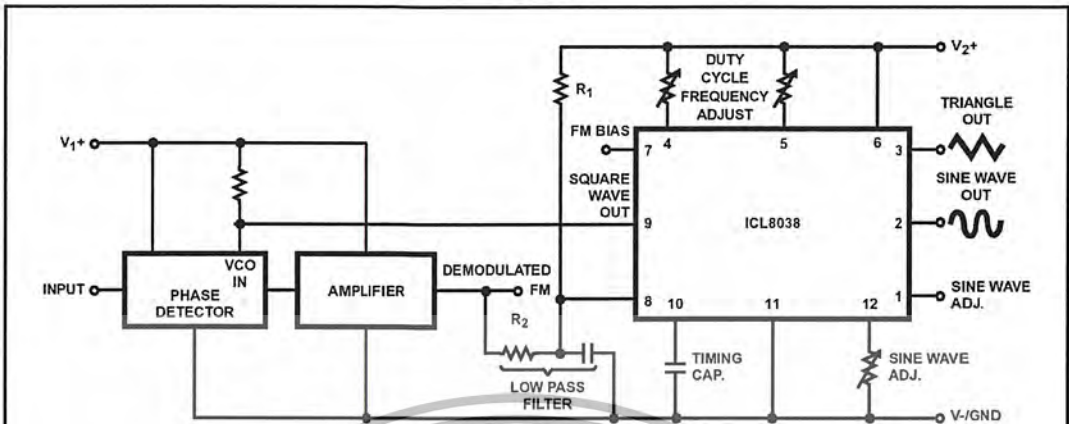


FIGURE 9. WAVEFORM GENERATOR USED AS STABLE VCO IN A PHASE-LOCKED LOOP

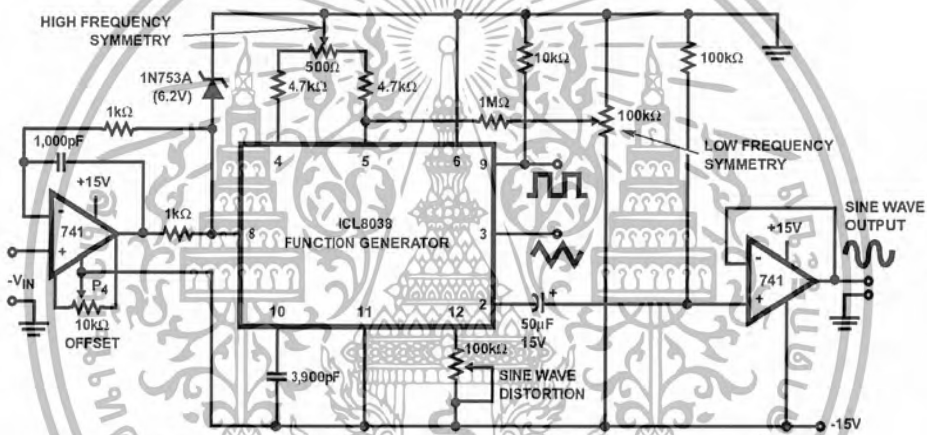


FIGURE 10. LINEAR VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR

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 10. 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, HA2800, HA2820).

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+ (R₁, R₂ 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 sine wave signal with a frequency identical to that at the input.

For further information, see Harris Application Note AN013, "Everything You Always Wanted to Know About the ICL8038".

ICL8038

Definition of Terms

Supply Voltage (V_{SUPPLY}). The total supply voltage from $V+$ to $V-$.

Supply Current. The supply current required from the power supply to operate the device, excluding load currents and the currents through R_A and R_B .

Frequency Range. The frequency range at the square wave output through which circuit operation is guaranteed.

Sweep FM Range. The ratio of maximum frequency to minimum frequency which can be obtained by applying a sweep voltage to pin 8. For correct operation, the sweep voltage should be within the range:

$$\left(\frac{2}{3} V_{SUPPLY} + 2V\right) < V_{SWEEP} < V_{SUPPLY}$$

FM Linearity. The percentage deviation from the best fit straight line on the control voltage versus output frequency curve.

Output Amplitude. The peak-to-peak signal amplitude appearing at the outputs.

Saturation Voltage. The output voltage at the collector of Q_{23} when this transistor is turned on. It is measured for a sink current of 2mA.

Rise and Fall Times. The time required for the square wave output to change from 10% to 90%, or 90% to 10%, of its final value.

Triangle Waveform Linearity. The percentage deviation from the best fit straight line on the rising and falling triangle waveform.

Total Harmonic Distortion. The total harmonic distortion at the sine wave output.

Typical Performance Curves

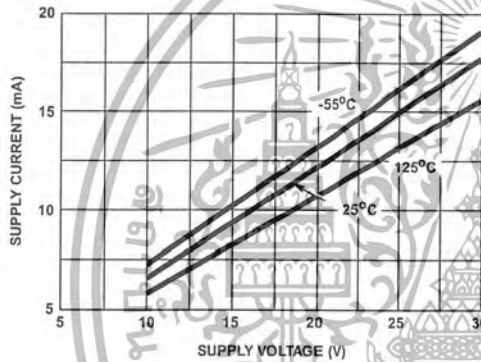


FIGURE 11. SUPPLY CURRENT vs SUPPLY VOLTAGE

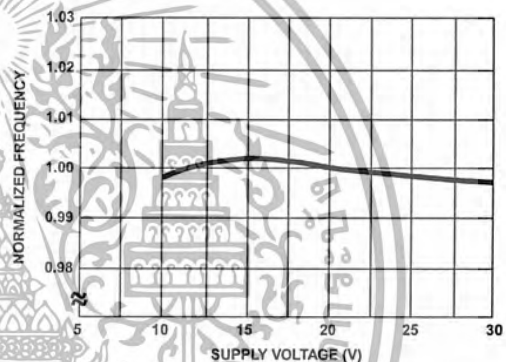


FIGURE 12. FREQUENCY vs SUPPLY VOLTAGE

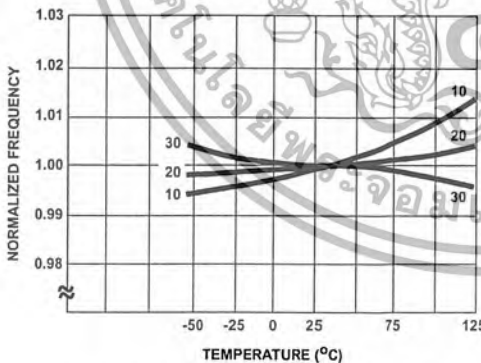


FIGURE 13. FREQUENCY vs TEMPERATURE

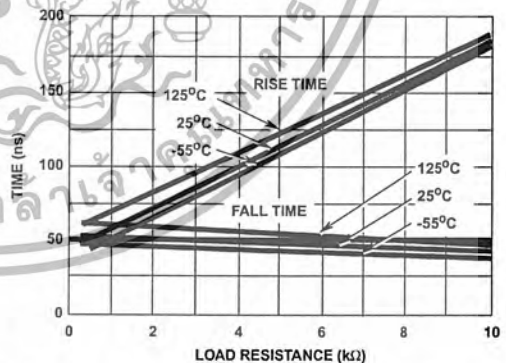


FIGURE 14. SQUARE WAVE OUTPUT RISE/FALL TIME vs LOAD RESISTANCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL8038

Typical Performance Curves (Continued)

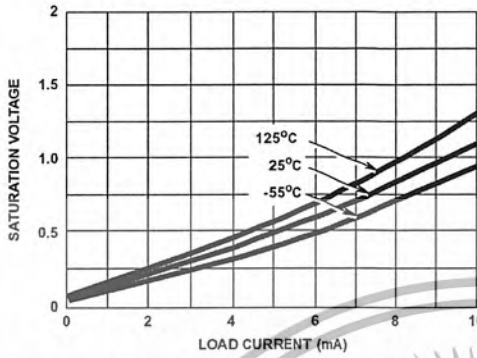


FIGURE 15. SQUARE WAVE SATURATION VOLTAGE vs LOAD CURRENT

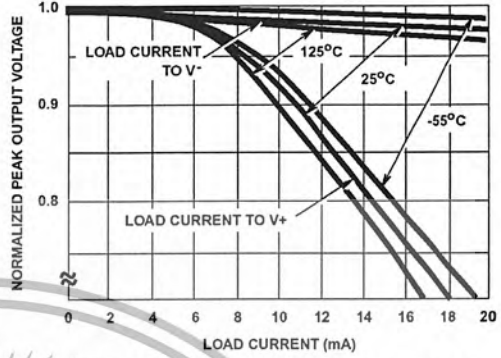


FIGURE 16. TRIANGLE WAVE OUTPUT VOLTAGE vs LOAD CURRENT

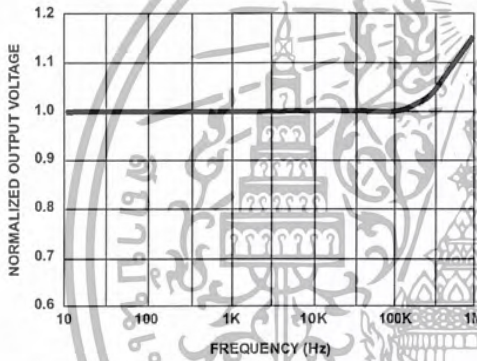


FIGURE 17. TRIANGLE WAVE OUTPUT VOLTAGE vs FREQUENCY

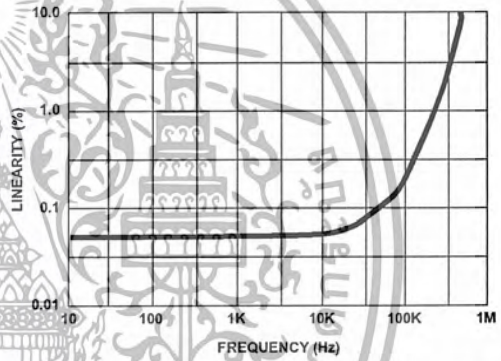


FIGURE 18. TRIANGLE WAVE LINEARITY vs FREQUENCY

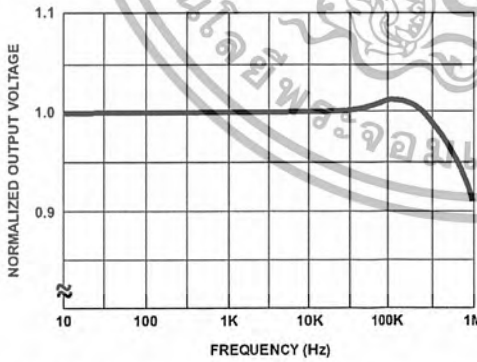


FIGURE 19. SINE WAVE OUTPUT VOLTAGE vs FREQUENCY

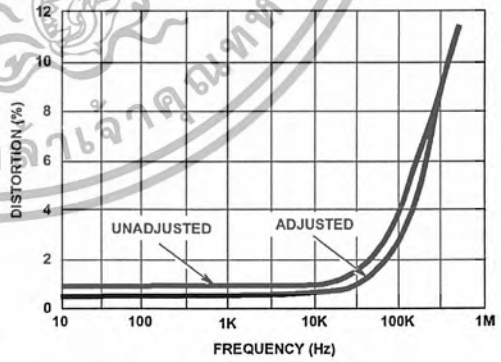


FIGURE 20. SINE WAVE DISTORTION vs FREQUENCY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายชกรศักดิ์ โปรงใจ
วัน เดือน ปีเกิด	2 เมษายน พ.ศ. 2525
ภูมิลำเนา	20/6 ม.2 ตำบลบางหลวง อำเภอเมือง จังหวัด ปทุมธานี 12000
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดบางเต็อ
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนปทุมวิไล
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายสัญญา ศรีวระมย์
วัน เดือน ปีเกิด	2 ตุลาคม พ.ศ. 2522
ภูมิลำเนา	30/7 ซ. พร้อมใจ1 ถ. กำแพงเพชร 2 ต. ลาดยาว อำเภอ จตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10900 โทรศัพท์ 0-6504-9755
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนรัชรินทร์วิทยابางเขน
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนรัชรินทร์วิทยابางเขน
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	โรงเรียนช่างฝีมือทหาร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
ผลงานที่ได้รับรางวัล	ประกาศนียบัตรนักเรียนดีเด่น ปี 2541
ทุนการศึกษา	ทุนยกเว้นค่าหน่วยกิต ปี 2545
คติพจน์	ลิขิตฟ้าหรือจะสู้มานะตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล นายสิทธิรัตน์ นิตยสุข
 วัน เดือน ปีเกิด 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2524
 ภูมิลำเนา 134 ม. 7 ตำบล พิชัย
 อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000
 โทรศัพท์ 0-6736-0443

ประวัติการศึกษา
 ประถมศึกษา โรงเรียนเทศบาล 3
 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเทศบาล 4
 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคลำปาง
 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคลำปาง
 ปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
 ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์วิศวกรรม
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
 การศึกษาเป็นที่มาของความสำเร้จ

คติพจน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล

นางสาว สุกัญญา อังคชร

วัน เดือน ปีเกิด

12 ธันวาคม พ.ศ. 2524

ภูมิลำเนา

82/1 ม. 5 ตำบล บางเตย

อังก่อ สามโคก จังหวัดปทุมธานี 12160

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนอนุบาลปทุมธานี

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนคณะราษฎร์บำรุงปทุมธานี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ

ปริญญาตรี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุวิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้