

วงจรรขยายกำลังคลาสอีเพื่อประยุกต์ใช้ทางการแพทย์
Class E Power amplifier for Biomedical application



พิชาพัฒน์

Phichaphat

พีรวัส

Peerawat

แสนสุข

Saensuk

วังกานนท์

Vangkanonta

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

วงจรรขยายกำลังคลาสอีเพื่อประยุกต์ใช้ทางการแพทย์

Class E Power amplifier for Biomedical application

โดย



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วงจรขยายกำลังคลาสอีเพื่อประยุกต์ใช้ทางการแพทย์

Class E Power amplifier for Biomedical application

ผู้จัดทำ นายพิชาพัฒน์ แสนสุข 53011122

นายพีรวัส วังกานนท์ 53011163

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(ดร.กสิน วิเชียรชม)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร	วงจรรขยายกำลังคลาสิีเพื่อประยุกต์ใช้ทางการแพทย	
นักศึกษา	นายพิชาพัฒน์ แสนสุข รหัสประจำตัว	53011122
	นายพีรวัส วังกานนท์ รหัสประจำตัว	53011163
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร	ดร.กสิน วิเชียรชม	

บทคัดย่อ

อุปกรณ์ชนิดนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการทำงานของวงจรรขยายกำลังแบบคลาสิี โดยในวงจรรขยายกำลังชนิดนี้สามารถออกแบบเพื่อใช้ในการส่งผ่านพลังงานโดยไม่ต้องใช้สายเคเบิลหรือสายไฟ ในการศึกษาได้ทดสอบตัวกลางที่เป็นเนื้อเยื่อหรือชั้นผิวหนังซึ่งก็คือเนื้อหมู โดยในการส่งผ่านพลังงานนั้นจะประกอบไปด้วย ภาครับ และ ภาคส่ง ซึ่งภาครับจะถูกฝังไว้ภายในเนื้อหมู และภาคส่งจะทำการส่งโดยใช้การส่งผ่านพลังงานผ่านการเหนี่ยวนำขดลวด ซึ่งใช้วงจรรขยายกำลังแบบคลาสิี เป็นตัวทำให้เกิดการเหนี่ยวนำที่ขดลวด วงจรชนิดนี้ยังสามารถควบคุมและปรับพลังงานให้มีความคงที่ตลอดระยะเวลาการส่งได้อีกด้วย

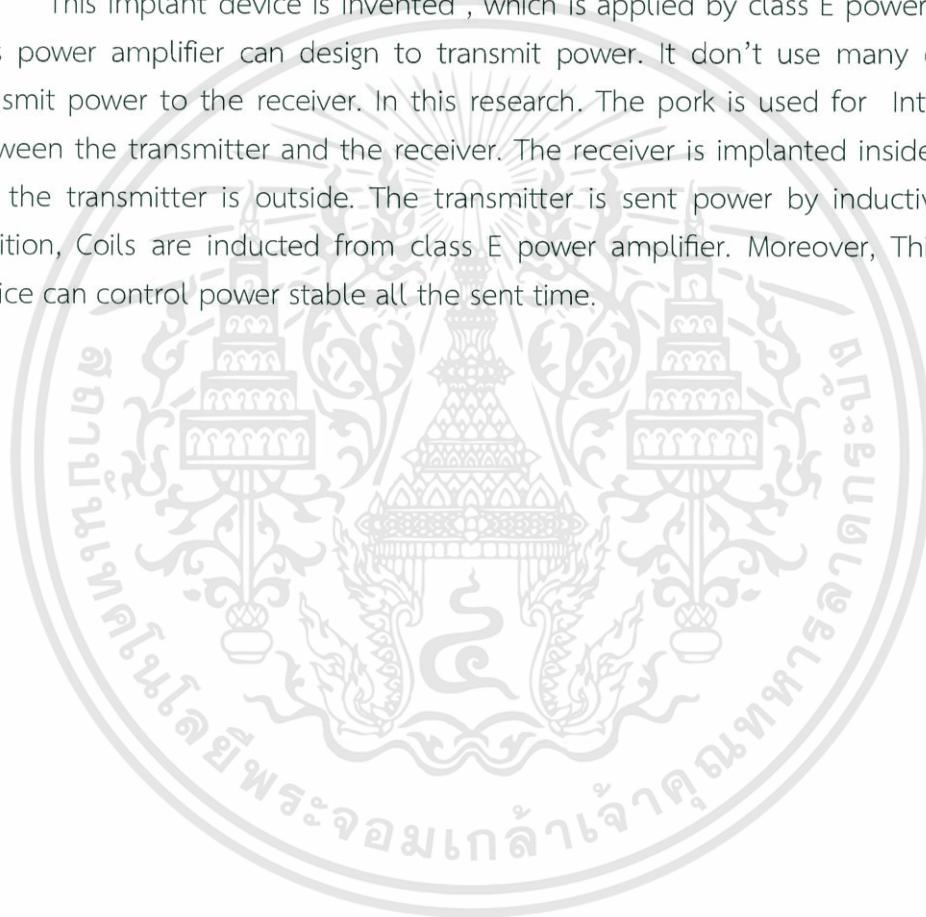


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Class E Power amplifier for Biomedical application	
Student	Mr.PHICHAPHAT SAENSUK	Student ID 53011122
	Mr.PEERAWAT VANGKANON	Student ID 53011163
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2013	
Thesis Advisor	Dr.Kasin	Vichienchom

Abstract

This implant device is invented , which is applied by class E power amplifier. This power amplifier can design to transmit power. It don't use many cables for transmit power to the receiver. In this research. The pork is used for Intermediate between the transmitter and the receiver. The receiver is implanted inside the pork but the transmitter is outside. The transmitter is sent power by inductive link. In addition, Coils are inducted from class E power amplifier. Moreover, This implant device can control power stable all the sent time.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ไม่สามารถดำเนินการให้สำเร็จได้ หากขาดการสนับสนุน และแนะนำจาก ดร.กสิน วิเชียรชม ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะในระหว่างการทำโครงการ จนในที่สุดโครงการจึงได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีต้องขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ สำหรับกำลังใจที่มอบให้ตลอดระยะเวลาในการดำเนินงาน และคอยอบรมสั่งสอนให้มีระเบียบวินัย เพื่อคอยกระตุ้นตัวเองในการทำงานให้มีความรับผิดชอบ

ขอขอบคุณอุปกรณ์ที่ทำงานเป็นปกติจนทำให้มันสำเร็จได้งานออกมาเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือซึ่งกันและกัน อยู่เคียงข้างกันจนงานสำเร็จลุล่วง



พิชาพัฒน์ แสนสุข
พีรวัส วังกานนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.5 โครงสร้างของรายงาน.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 วงจรขยายกำลัง.....	3
2.1.1 ประเภทของวงจรขยายกำลัง.....	3
2.1.1.1 วงจรขยายกำลังคลาส A.....	3
2.1.1.2 วงจรขยายกำลังคลาส B.....	5
2.1.1.3 วงจรขยายกำลังคลาส AB.....	5
2.1.1.4 วงจรขยายกำลังคลาส C.....	6
2.1.1.5 วงจรขยายกำลังคลาส D.....	7
2.1.1.6 วงจรขยายกำลังคลาส E.....	8
2.2 วงจรเรโซแนนซ์.....	11
2.2.1 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม.....	11
2.2.1 วงจรเรโซแนนซ์ขนาน.....	11
2.3 ตัวเหนี่ยวนำ.....	12
2.3.1 การเหนี่ยวนำในตัวเอง.....	12
2.3.2 การเหนี่ยวนำระหว่างขดลวด 2 ขด.....	12
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเหนี่ยวนำ.....	14
2.3.3.1 จำนวนรอบของขดลวด.....	14
2.3.3.2 พื้นที่ขดลวด.....	15
2.3.3.3 ความยาวของขดลวด.....	15
2.3.3.4 วัสดุที่ใช้ทำขดลวด.....	15
2.4 วงจรเรียงกระแส.....	16
2.4.1 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์(Bridge Rectifier Circuit).....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.5 วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit).....	17
2.5.1 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ(Low Pass Filter:LPF).....	17
2.5.2 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูง(High Pass Filter:HPF).....	19
2.6 วงจรสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม.....	20
2.6.1 วงจรโมโนสเตเบิล.....	21
2.6.2 วงจรอะสเตเบิล.....	22
บทที่ 3 หลักการคำนวณและออกแบบ.....	25
3.1 คุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์.....	26
3.1.1 ต้องสามารถจ่ายพลังงานตามที่ต้องการได้.....	26
3.1.2 ต้องสามารถทำงานที่ความถี่ที่ต้องการได้ (1MHz).....	26
3.2 การออกแบบวงจรขยายกำลังคลาส E เบื้องต้น.....	27
3.3 การคำนวณค่าอุปกรณ์ต่างๆ.....	28
3.4 ตารางค่าอุปกรณ์ในกรณีต่างๆ โดย R_L เปรียบเสมือน วงจรที่มีค่าความต้านทานต่างๆกรณี $Q = 40$	30
3.5 การสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมเพื่อควบคุมวงจรขยายกำลังคลาส E.....	31
บทที่ 4 ผลการทดสอบ.....	34
4.1 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่โหลดเท่ากับ100mW.....	34
4.2 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่โหลดเท่ากับ300mW.....	36
4.3 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่โหลดเท่ากับ500mW.....	37
4.4 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อ พลังงานที่โหลดเท่ากับ500mW กรณีกำหนดค่า $Q = 10$	39
4.5 รูปแบบสัญญาณของแรงดันเมื่อใช้ function generator บ้อนสัญญาณ.....	40
4.6 รูปแบบของแรงดันเมื่อใช้วงจร timer บ้อนสัญญาณให้วงจรขยายกำลังคลาส E.....	44
4.7 รูปแบบของแรงดันเมื่อใช้วงจร timer โดยมี control loop บ้อนสัญญาณให้ วงจรขยายกำลังคลาส E.....	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบ.....	52
บรรณานุกรม.....	53
ภาคผนวก.....	54

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการเปรียบเทียบวงจรมัลติเพลกซ์กำลังคลาส A , B , AB , C.....	6
2.2 แสดงตารางTruth table.....	20
2.3 แสดงตารางRS flip flop.....	21
3.1 ค่าของตัวอุปกรณ์ในกรณีต่างๆ.....	30
3.2 ค่าของตัวอุปกรณ์ในกรณีที่แย่ที่สุด.....	31



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงแสดงบล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของวงจรขยายกำลังคลาส D.....	7
2.2 การประยุกต์นำไปใช้เป็นเครื่องขยายเสียงในรถยนต์.....	7
2.3(a) วงจรคลาสิค.....	8
2.3(b) วงจรเสมือน.....	8
2.3(c) วงจรเสมือนที่มี DC source และ RF choke L_f ถูกแทนที่โดย DC current source I_1 และ วงจรเรโซแนนซ์ที่อนุกรมกันถูกแทนที่ด้วย AC current source	8
2.3(d) วงจรเสมือนรวม current source เป็นตัวเดียวคือ I_1-I_2	8
2.4(a) การทำงานที่ดีที่สุด.....	10
2.4(b) การทำงานที่ $dv_s(wt)/d(wt) < 0$ ที่ $wt=2\pi$	10
2.4(c) การทำงานที่ $dv_s(wt)/d(wt) > 0$ ที่ $jwt=2\pi$	10
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Impedance และความถี่ของวงจรวจรเรโซแนนซ์ แบบ อนุกรม.....	11
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Impedance และความถี่ของวงจรวจรเรโซแนนซ์แบบขนาน.....	11
2.7 การต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคร่อมเข้ากับขดลวด.....	13
2.8(ก) สนามแม่เหล็กเกิดการขยายตัว.....	13
2.8(ข) สนามแม่เหล็กอยู่ในสภาวะคงที่.....	13
2.8(ค) สนามแม่เหล็กเกิดการยุบตัว.....	13
2.9 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ.....	14
2.9(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ.....	15
2.10 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น.....	16
2.11 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์.....	16
2.12 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำอันดับต่างๆและกราฟแสดงอัตราขยายแรงดันเชิงความถี่ (db).....	17
2.13 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูงอันดับต่างๆ และกราฟแสดงผลการตอบสนองต่ออัตราขยายเชิง ความถี่.....	18
2.14 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์ในแต่ละขา.....	20
2.15 แสดงวงจร Monostable Multivibrator.....	21
2.16 แสดงวงจร Astable Multivibrator.....	22
3.1 แสดงภาพรวมของ Implant device.....	25
3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการออกแบบของวงจรขยายกำลังคลาสิคเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ทาง การแพทย์.....	26
3.3 วงจรขยายกำลังที่ได้ทำการออกแบบโดย R_2 เป็นตัวต้านทานเสมือนของวงจรที่นำไปใช้งาน.....	27
3.4 วงจรขยายกำลังที่ได้ทำการยุบให้เหลือแต่ฝั่งปฏุมภูมิ.....	27
3.5 ตารางเลือกอุปกรณ์ค่า R และ C ที่ความถี่ที่ต้องการ.....	31
3.6 แสดงการออกแบบวงจรควบคุมวงจรวจรขยายกำลังคลาสิคเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ทางการแพทย์.....	32
3.7 แสดงการออกแบบภาครับ.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
4.1.1 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ100mW $R_L=50\text{ohm}$...	34
4.1.2 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ100mW $R_L=1k\text{ ohm}$...	35
4.1.3 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ100mW $R_L=10k\text{ ohm}$...	35
4.2.1 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ300mW $R_L=50\text{ ohm}$...	36
4.2.2 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ300mW $R_L=1k\text{ ohm}$...	36
4.2.3 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ300mW $R_L=10k\text{ ohm}$...	37
4.3.1 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ500mW $R_L=50\text{ ohm}$...	37
4.3.2 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ500mW $R_L=1k\text{ ohm}$...	38
4.3.3 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ500mW $R_L=10k\text{ ohm}$...	38
4.4.1 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ500mW $R_L=10k\text{ ohm}$ กำหนด $Q=10$	39
4.5.1 รูปแบบของแรงดันของอุปกรณ์ต้นแบบ.....	40
4.5.2 รูปแบบของแรงดันที่ตกคร่อม R_L เมื่อขดลวดอยู่ติดกัน.....	41
4.5.3 รูปแบบของแรงดันที่ตกคร่อม R_L เมื่อขดลวดอยู่ห่างกันเป็นระยะ 5 cm.....	42
4.5.4 รูปแบบของแรงดันที่ตกคร่อม R_L เมื่อขดลวดอยู่ห่างกันเป็นระยะ 10 cm.....	43
4.6.1 รูปสัญญาณ Output ของวงจร timer.....	44
4.6.2 สัญญาณ output ของวงจร drive mosfet.....	45
4.6.3 สัญญาณของวงจรขยายกำลัง.....	45
4.6.4 สัญญาณของแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมไหลดฝั่งทุติยภูมิ.....	46
4.7.1 สัญญาณของแรงดันจาก current transforme.....	47
4.7.2 สัญญาณแรงดันจาก comparator เปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุทวงจร timer แบบ Monostable.....	48
4.7.3 สัญญาณแรงดันเอาต์พุทของวงจร timer แบบ astableเปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุท ของสวิตช์.....	49
4.7.4 สัญญาณแรงดันเอาต์พุทของวงจร timer แบบ monostableเปรียบเทียบกับสัญญาณ เอาต์พุทของสวิตช์.....	50
4.7.5 (a)รูปวงจรภาครับและภาคส่งที่มีระยะห่างของขดลวด5ซม.....	51
4.7.5 (b)รูปวงจรภาครับและภาคส่งเมื่อขดลวดอยู่ชิดกัน.....	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีบทบาทมากขึ้นในการประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ โดยมีการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำการฝังภายในร่างกายในอวัยวะที่มีปัญหา ไม่ว่าจะเป็น หัวใจ ตา เป็นต้น แต่ขีดจำกัดของการใช้งานนั้นมักจะเป็นการต้องผ่าตัดออกมาเปลี่ยนตามระยะของอุปกรณ์ที่ปล่อยพลังงานที่มีความเสื่อม จึงมีการคิดค้นการฝังอุปกรณ์ภาครับพลังงานไว้ภายใน และทำการส่งผ่านพลังงานผ่านเนื้อเยื่อจากภาคการส่งพลังงานที่อยู่ภายนอกซึ่งจะทำให้คนไข้ไม่ต้องทำการผ่าตัดเอาแหล่งพลังงานออกมาเป็นระยะเวลาหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

โครงการวิจัยขยายกำลังแบบคลาสสิกเพื่อประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ มีวัตถุประสงค์ดังนี้

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการส่งพลังงานโดยใช้วงจรขยายกำลังแบบคลาสสิก
- 1.2.2 เพื่อทำการส่งพลังงานผ่านตัวกลางในอากาศและเนื้อเยื่อ
- 1.2.3 เพื่อเป็นการนำประโยชน์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไปประยุกต์ใช้ทางการแพทย์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

อุปกรณ์ส่งพลังงานชิ้นนี้จะสามารถส่งผ่านพลังงานผ่านอากาศและสามารถรับพลังงานตามความต้องการที่กำหนดได้ โดยการส่งผ่านพลังงานจะส่งโดยใช้ขดลวดเหนี่ยวนำเป็นสร้างสนามแม่เหล็กและทำการส่งไปยังขดลวดที่ภาครับ

1.4 ขอบเขตของโครงการ

โครงการวิจัยกำลังคลาสสิกเพื่อประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ มีขอบเขตของโครงการดังนี้

- 1.4.1 อุปกรณ์ชิ้นนี้สามารถส่งผ่านพลังงานผ่านอากาศได้ในระยะไม่เกิน 10cm
- 1.4.2 อุปกรณ์ชิ้นนี้สามารถส่งพลังงานผ่านตัวกลางเช่นเนื้อเยื่อได้

1.5 โครงสร้างของรายงาน

รายงานฉบับนี้เป็นการรายงานผลจากการศึกษาและทดลองตลอดหนึ่งปีการศึกษาเพื่อออกแบบสร้างต้นแบบวงจรขยายกำลังคลาสอีเพื่อประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ ซึ่งเนื้อหาจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆแยกเป็นบทๆ ดังนี้

- บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและแนวคิดในการสร้างโครงการ
- บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของโครงการ
- บทที่ 3 รายละเอียดของวงจรและหลักการออกแบบ
- บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง
- บทที่ 5 บทสรุป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวงจรขยายกำลังซึ่งจะเป็นส่วนที่ใช้ขับเคลื่อนหลอดฟุ้งปฐมภูมิเพื่อส่งพลังงานผ่านตัวกลางให้เกิดพลังงานขึ้นหลอดฟุ้งทุติยภูมิและนำพลังงานนั้นไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ฝังอยู่ในร่างกายโดยอุปกรณ์นั้นเป็นโหลดของวงจรฟุ้งทุติยภูมิ และในส่วนของวงจรขยายกำลังนั้นจะถูกควบคุมโดยการกำเนิดสัญญาณของวงจร Monostable และ วงจร Astable เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมให้แก่วงจรขยายกำลัง

2.1 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)

เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยเพิ่มพลังงานของสัญญาณ โดยการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟและควบคุมสัญญาณเอาต์พุตเพื่อให้ตรงกับรูปร่างสัญญาณอินพุต แต่สัญญาณที่เอาต์พุตจะมีขนาดของแอมพลิจูดที่ใหญ่กว่า โดยจะคำนึงถึงพลังงานที่ถูกส่งไปที่โหลด โดยทั่วไปแล้ว จะถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพในการส่งพลังงานมากที่สุด การพิจารณาประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของวงจรขยายกำลังโดยที่การแบ่งประเภทของวงจรขยายกำลังนั้นจะขึ้นอยู่กับทรานซิสเตอร์

2.1.1 ประเภทของวงจรขยายกำลัง

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท หลักคือ สำหรับการออกแบบ แบบแอนาล็อก เช่น คลาส A,B,AB,C และ สำหรับการออกแบบ แบบสวิตซ์ซิง เช่น คลาส D,E เป็นต้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าของ มุมในการทำงาน โดยที่ค่าของมุมในการทำงานขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุต ถ้าสัญญาณอินพุตทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในวงจรขยายกำลังทำงานตลอดเวลาจะทำให้ค่าของมุมในการทำงานมีค่าเท่ากับ 360° โดยที่ค่าของมุมในการทำงานจะมีผลโดยตรงกับค่า ประสิทธิภาพของวงจรขยายกำลัง

2.1.1.1 วงจรขยายกำลังคลาส A

วงจรขยายกำลังคลาส A เป็นวงจรขยายกำลังที่ให้ไบแอสทรานซิสเตอร์ที่กึ่งกลางของเส้นโหลด จึงไม่เกิดความเพี้ยนของสัญญาณ เมื่อไม่มีการป้อนสัญญาณจะเกิดกำลังงานสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์ เนื่องจากมีกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ตลอดเวลา ทำให้ประสิทธิภาพในการขยายต่ำ

ประสิทธิภาพการขยายคลาส A

ดีซีเพาเวอร์หรือกำลังดีซีที่ถูกขยายด้วยวงจรขยายกำลังและวงจรขยายจะเปลี่ยนกำลังดีซีให้เป็นกำลังเอซีที่โหลดบางครั้งกำลังอินพุตที่เกิดขึ้นบน เอาต์พุตทรานซิสเตอร์ หรือบนส่วนประกอบอื่นของวงจรขยายกำลังอาจทำให้เกิดการสูญเสียกำลังที่โหลดหรืออุปกรณ์นั้น ดังนั้นประสิทธิภาพ (Efficiency) จึงวัดถึงคุณสมบัติของวงจรขยาย ในการเปลี่ยนกำลังดีซีที่อินพุตให้เป็นอัตราณกำลังเอซีที่โหลด

$$\text{efficiency} = (P_{\text{Out(AC)}} / P_{\text{In(DC)}}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots 2.1$$

ถ้ากำลังอินพุตดีซีคือ

$$P_i = V_{CC} \times I_{\text{ave}} \quad \dots\dots\dots 2.2$$

คุณสมบัติของวงจรขยายคลาส A เมื่อ $I_{\text{ave}} = I_{CQ}$ ดังนั้น

$$P_i = V_{CC} \times I_{CQ} \quad \dots\dots\dots 2.3$$

วงจรวจรขยายคลาส A ถ้า $V_E \ll V_{CC}$ และ V_{CEQ} จะมีค่าประมาณเท่ากับ V_{CC} ดังนั้นค่าแรงดันสูงสุดที่ขดปฐมภูมิจะมีค่าประมาณ $(+/-V_{CC})$ เมื่อทรานซิสเตอร์ถูกไบแอสให้ทำงาน ที่จุดคัตออฟ และจุดอิมิตัว ดังนั้นกระแสสูงสุดที่ทรานส์ฟอเมอร์จะมีค่าเท่ากับ $(+/-I_{CQ})$ กำลังเอซีสูงสุดจะถูกส่งไปที่ขดปฐมภูมิของทรานส์ฟอเมอร์ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P'_O = V_{\text{rms}} \times I_{\text{rms}} = (V_p/\sqrt{2}) \times (I_p/\sqrt{2}) \quad \dots\dots\dots 2.4$$

หรือ

$$P'_O = (V_p \times I_p)/2$$

สมมติให้ทรานส์ฟอเมอร์มีประสิทธิภาพ 100 % และกำหนดให้ค่าแรงดันและกระแสมีค่าสูงสุด ดังนั้น

$$P_O = (V_{CC} \times I_{CQ})/2 \quad \dots\dots\dots 2.5$$

$$P_O = 0.5 \times V_{CC} \times I_{CQ} \quad \dots\dots\dots 2.6$$

ประสิทธิภาพของการขยายสูงสุด คือ

$$\text{efficiency} = (P_O/P_i) \times 100\% = ((0.5 \times V_{CC} \times I_{CQ})/(V_{CC} \times I_{CQ})) \times 100\% \quad \dots\dots\dots 2.7$$

$$\text{efficiency} = 50\%$$

วงจรวจรขยายกำลังคลาส A ประสิทธิภาพการขยายจะมีค่าสูงสุดประมาณ 50 % ดังนั้นเมื่อมีอัตราณกำลังเกิดขึ้นในตัวต้านทานอิมิตเตอร์ และทรานส์ฟอเมอร์แล้ว ประสิทธิภาพของวงจรวจรขยายคลาส A โดยทั่ว ๆ ไปจะมีค่าน้อยกว่า 25 %

2.1.1.2 วงจรขยายกำลังคลาส B

การไบแอสทรานซิสเตอร์ของวงจรขยายคลาส A เป็นคลาสที่ไม่มีประสิทธิภาพในการขยายมากนัก เนื่องจากเกิดกำลังงานสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์ ถึงแม้ว่าจะไม่มีการบิดสัญญาณที่อินพุตก็ตาม ดังนั้นจึงกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่จุดคัตออฟ เรียกการขยายนี้ว่าคลาส B โดยให้ไบแอสทรานซิสเตอร์ที่จุดคัตออฟ จึงไม่มีกระแสไหลที่ทรานซิสเตอร์เมื่อยังไม่บิดสัญญาณ จึงไม่เกิดกำลังงานสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์ วงจรขยายคลาส B มีประสิทธิภาพมากกว่าวงจรขยายคลาส A

ประสิทธิภาพของวงจรขยายคลาส B

เมื่อไม่มีสัญญาณอินพุต ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวไม่มีการนำกระแส ทำให้มีกำลังสูญเสียเป็นศูนย์ และเมื่อมีสัญญาณไซน์ตกรวมที่ขดปฐมภูมิของทรานสฟอเมอร์ (บิดสัญญาณอินพุต) ทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส จะทำให้สิ้นเปลืองกำลังน้อยกว่าวงจรขยายคลาส A

ในวงจรคลาส B กำลังดีซีอินพุตคือ

$$P_i = V_{CC} \times I_{ave} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

$$P_i = V_{CC} \times 0.636 \times I_p \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

และกำลังเอซีที่ขดปฐมภูมิของทรานสฟอเมอร์

$$P'_O = (V_p \times I_p)/2 \quad \dots\dots\dots 2.10$$

$$P'_O \approx (V_{CC} \times I_p)/2 \quad \dots\dots\dots 2.11$$

สมมติให้ประสิทธิภาพของเอาต์พุตทรานสฟอเมอร์ 100 %

$$P_O = 0.5 \times V_{CC} \times I_p \quad \dots\dots\dots 2.12$$

และประสิทธิภาพสูงสุดในการขยายคลาส B คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{efficiency} &= (P_O/P_i) \times 100\% \\ &= ((0.5 \times V_{CC} \times I_p)/(0.636 \times V_{CC} \times I_p)) \times 100\% \quad \dots\dots\dots 2.13 \end{aligned}$$

$$\text{efficiency} = 78.6\%$$

2.1.1.3 วงจรขยายคลาส AB

สัญญาณที่ขดปฐมภูมิจะถูกเหนี่ยวนำไปที่เอาต์พุตของวงจรขยายคลาส B จะไม่เป็นรูปที่สัญญาณไซน์ที่สมบูรณ์ เนื่องจากเกิดความเพี้ยนของสัญญาณที่รอยต่อ เรียกว่าครอสโอเวอร์ดิสตอร์ชัน (Cross over distortion) เนื่องจากทรานซิสเตอร์จะยังไม่นำกระแส จนกว่าสัญญาณอินพุตจะทำให้แรงดันเบส-อิมิตเตอร์มีค่าประมาณ 0.7 V ดังนั้นทรานซิสเตอร์จะยังไม่นำกระแสอยู่ จนกว่าแรงดันอินพุตมีค่ามากกว่านี้ จึงจะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส ดังนั้นจึงมีการดัดแปลงวงจรให้เป็นวงจรขยายคลาส AB

2.1.1.4 วงจรขยายคลาส C

วงจรขยายคลาส C (Class-C Amplifier) เป็นวงจรขยายที่มีจุดทำงาน (จุด Q) อยู่ที่ตำแหน่งต่ำกว่าจุดคัตออฟถ้าเป็นวงจรขยายทรานซิสเตอร์การจัดวงจรวจรขยายคลาส C คือจ่ายไบอัสกลับให้ขา B ของทรานซิสเตอร์เล็กน้อยส่วนขาอื่นๆ ยังคงจ่ายไบอัสให้ปกติถ้าพิจารณาที่เส้นโหลดบนกราฟคุณสมบัติคลาส C มีจุดทำงานอยู่ที่ต่ำกว่าจุดต่ำสุดของเส้นโหลดเล็กน้อยการทำงานของวงจรวจรขยายคลาส C ถ้าไม่มี สัญญาณเสียงป้อนเข้ามาหรือมีสัญญาณเสียงป้อนเข้าผิดช่วงจรวจรขยายคลาส C ก็ยังไม่ทำงาน วงจรขยายคลาส C จะทำงาน ต่อเมื่อสัญญาณเสียงที่ป้อนเข้ามามีระดับความแรงสูงขึ้นจนขา B ของทรานซิสเตอร์ได้รับไบอัสตรง คือขยายสัญญาณเสียงบางส่วนเพียงซีกใดซีกหนึ่งเท่านั้น

เปรียบเทียบคุณภาพและประสิทธิภาพของคลาสวงจรวจรขยาย

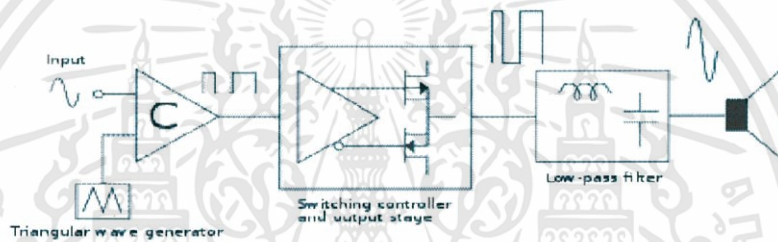
รายละเอียด	คลาส A	คลาส B	คลาส AB	คลาส C
1.ประสิทธิภาพ	50%	78.5%	ระหว่างคลาส A และ B	100%
2.มุมการทำงาน	360	180	ระหว่างคลาส A และ B	ประมาณ 90
3.ความผิดเพี้ยน	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	สูงมาก
4.ไบอัสขา B ของ TR	ตรง(กึ่งกลางเส้น โหลด)	ศูนย์(คัตออฟ)	ตรง (ใกล้คัตออฟ)	กลับ (ต่ำกว่าคัตออฟ)
5.การนำไปใช้งาน	ขยายสัญญาณขนาดเล็กและขนาดกลาง,ขยายสัญญาณเสียงในภาคแรก	ใช้งานทางด้านขยายทั่วไป, วงจรสวิตช์สัญญาณ	ขยายสัญญาณเสียงขนาดกลางและขนาดใหญ่,ขยายสัญญาณวิทยุ	ขยายสัญญาณมีความถี่คงที่,ขยายกำลังในเครื่องส่ง,วงจรมแยกซิงค์ใน TV

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบวงจรวจรขยายกำลังคลาส A , B , AB , C

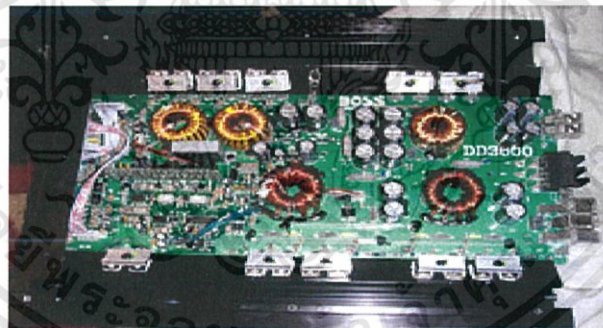
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.5 วงจรขยายคลาส D

ในวงจรขยายกำลังคลาสดีสัญญาณจะถูกแปลงเป็นสัญญาณพัลส์หรือสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม โดยที่เอาต์พุตความถี่ของสัญญาณพัลส์โดยทั่วไปอยู่ที่ 10 หรือมากกว่าความถี่สูงสุดในสัญญาณอินพุตที่จะขยายสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ยังต้องผ่านการกรองโดยใช้การกรองความถี่แบบความถี่ต่ำจึงจะได้สัญญาณที่มีองค์ประกอบของความถี่สมบูรณ์ วงจรขยายกำลังคลาสดีนี้จะถูกควบคุมโดยวงจรรอ นาฬิกาหรือวงจรดิจิทัลก็ได้ โดยประโยชน์ของวงจรขยายกำลังชนิดนี้คือมีประสิทธิภาพของพลังงานสูง เพราะแอมพลิจูดถูกกำหนดค่าไว้ , การทำงานแบบสวิตช์ของมอสเฟต ซึ่งจะดีกว่าการทำงานในโหมดเชิงเส้น และการทำงานของมอสเฟตนี้เองที่ทำให้เกิดความต้านทานต่ำและมีพลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นน้อย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรขยายกำลังคลาส AB แล้วจะพบว่ามีความถี่ต่ำกว่าและดีกว่า โดยในวงจรขยายกำลังคลาส D นี้นิยมใช้งานกันในด้านนำไปควบคุมมอเตอร์หรือนำไปทำวงจขยายเสียง



รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของวงจรขยายกำลังคลาส D



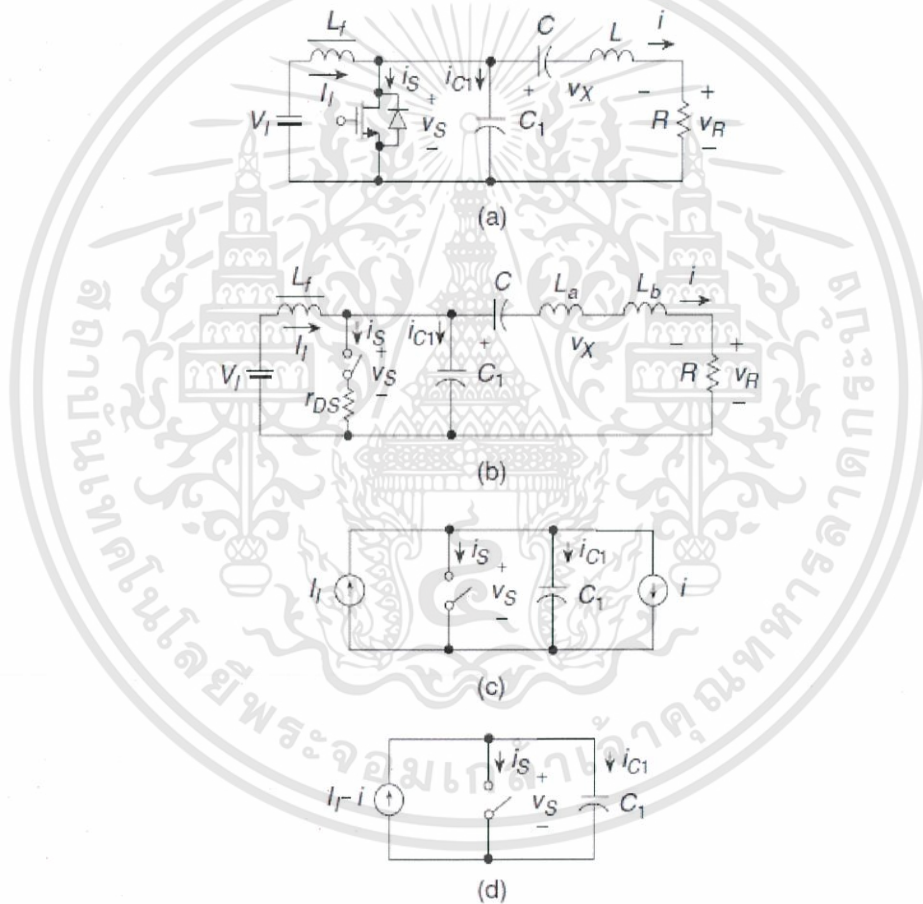
รูปที่ 2.2 การประยุกต์นำไปใช้เป็นเครื่องขยายเสียงในรถยนต์

2.1.1.6 วงจรขยายคลาส E

วงจรขยายกำลังคลาส E เป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นวงจรขยายกำลังที่ประสิทธิภาพดีที่สุดในบรรดา วงจรขยายกำลัง โดยค่าของกระแสและแรงดันจะถูกแทนด้วยความสัมพันธ์ของกราฟและขึ้นอยู่กับ เวลาและมีการสูญเสียพลังงานที่ต่ำมากที่เกิดที่ทรานซิสเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อสวิตช์เปิดที่ แรงดันที่มีค่าเท่ากับ 0 และค่าของตัวอุปกรณ์มีการเรโซแนนซ์ที่ถูกต้อง

รายละเอียดของวงจรขยายคลาส E

วงจรพื้นฐานขยายกำลังคลาส E ดังรูปที่ 2. ประกอบด้วย Power MOSFET ที่ทำงานที่ ความถี่เรโซแนนซ์ของตัว L , C , R ต่ออนุกรมกัน และมี C_1 ต่อขนานอยู่ และมี L_{Choke} (L_f)



รูปที่ 2.3 (a) วงจรขยายกำลังคลาส E (b) วงจรเสมือน (c) วงจรเสมือนที่มี DC source และ RF choke L_f ถูกแทนที่โดย DC current source I_1 และ วงจรเรโซแนนซ์ที่อนุกรมกันถูกแทนที่ด้วย AC current source i (d) วงจรเสมือนรวม current source เป็นตัวเดียวคือ $I_1 - i$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตช์จะเปิดและปิดที่ความถี่ $f = \omega / (2\pi)$ สำหรับความถี่ที่ใช้ทำงานที่มีความถี่สูงๆ ค่าความจุของตัว C_1 สามารถถูกแบ่งไปที่ตัวอุปกรณ์ที่ต่อขนานทั้งหมด ค่าความต้านทานคือ ac load

เมื่อสวิตช์เปิด วงจรเรโซแนนซ์จะประกอบไปด้วย L, C, R ที่ต่ออนุกรมกัน เพราะ C_1 ถูกลัดวงจรโดยสวิตช์ อย่างไรก็ตาม เมื่อสวิตช์ปิด วงจรเรโซแนนซ์จะประกอบไปด้วย C_1, L, C และ R ต่ออนุกรมกัน เพราะว่าตัว C_1 และ C ถูกต่ออนุกรมกัน ได้ค่าตัวเก็บประจุเสมือนดัง

$$C_{eq} = C // C_1 = (CC_1)/(C+C_1) \quad \dots\dots\dots 2.14$$

ซึ่งจากสมการที่ จะมีย่านน้อยกว่าตัว C_1 และ C และ มีการทำงานที่ความถี่จากวงจรเรโซแนนซ์ที่

$$f_{01} = 1/2\pi\sqrt{LC} \quad \dots\dots\dots 2.15$$

และ

$$Q_{L1} = \omega_{01}L/R = 1/\omega_{01}CR \quad \dots\dots\dots 2.16$$

และเมื่อสวิตช์ปิด

$$f_{01} = 1/2\pi \sqrt{\frac{LCC_1}{C+C_1}} \quad \dots\dots\dots 2.17$$

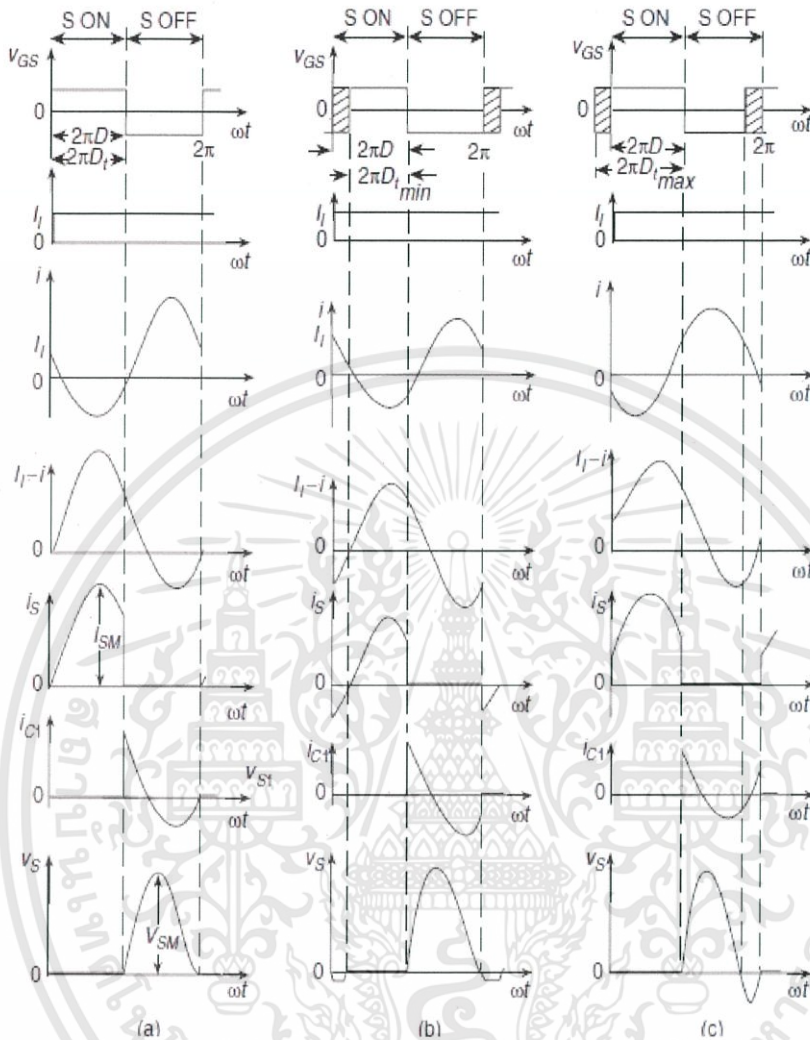
และ

$$Q_{L2} = \omega_{02}L/R = 1/(\omega_{02}RCC_1)/(C+C_1) \quad \dots\dots\dots 2.18$$

จะได้อัตราส่วนของ 2 ความถี่เรโซแนนซ์

$$f_{01}/f_{02} = Q_{L1}/Q_{L2} = \sqrt{C_1/(C+C_1)} \quad \dots\dots\dots 2.19$$

การทำงานของวงจรถยายกำลังคลาส E



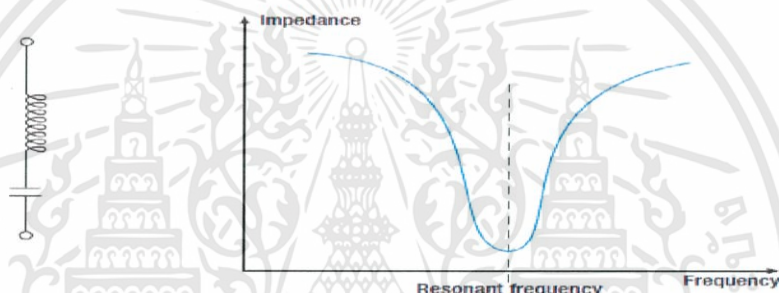
รูปที่ 2.4 (a) การทำงานที่สูงสุด (b) การทำงานที่ $dv_s(\omega t)/d(\omega t) < 0$ ที่ $\omega t=2\pi$ (c) การทำงานที่ $dv_s(\omega t)/d(\omega t) > 0$ ที่ $\omega t=2\pi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วงจรเรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์เป็นวงจรผสมที่ต่อร่วมกันอยู่ระหว่างตัวเก็บประจุกับวงจรเหนี่ยวนำซึ่งมีความสำคัญและที่ใช้มากพอสมควรในวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบอะนาล็อก ด้วยผลต่อสัญญาณกระแสลับของขดลวดและตัวเก็บประจุ ซึ่งแตกต่างกันไปในทางตรงกันข้ามจะทำให้เกิดผลต่อแรงดันกระแสตรงและแรงดันกระแสลับตกคร่อมวงจรขึ้น เมื่อวงจรได้รับแรงดันกระแสตรงจะเกิดการต่อต้านและยอมให้สัญญาณกระแสลับบางความถี่ผ่านเป็นต้น จากคุณสมบัติเช่นนี้จึงสามารถนำวงจรเรโซแนนซ์ไปใช้เป็นชุดสร้างความถี่ให้กับวงจรออสซิลเลเตอร์นำมาใช้สำหรับเลือกให้สัญญาณที่ต้องการผ่านใช้เป็นวงจรกั้นหรือกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ

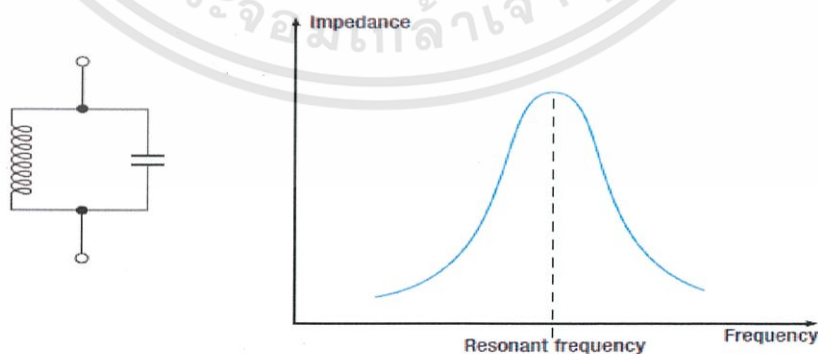
2.2.1 วงจรเรโซแนนซ์ แบบ อนุกรม (series resonant)



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Impedance และความถี่ของวงวงจรเรโซแนนซ์ แบบ อนุกรม

คุณสมบัติของวงจรคือ จะมีค่า Impedance ต่ำที่ความถี่ เรโซแนนซ์ ทำให้กระแสไหลได้สูงสุด

2.2.2 วงจรเรโซแนนซ์ แบบ ขนาน (parallel resonant)



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Impedance และความถี่ของวงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

คุณสมบัติของวงจรคือ จะมีค่า Impedance สูงที่ความถี่ เรโซแนนท์ ทำให้กระแสไหลได้ต่ำสุด ตรงข้ามกับวงจรแรก

โดยความถี่เรโซแนนซ์เราสามารถหาได้จากสูตร

$$f = 1/2\pi\sqrt{LC}$$

.....2.20

2.3 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

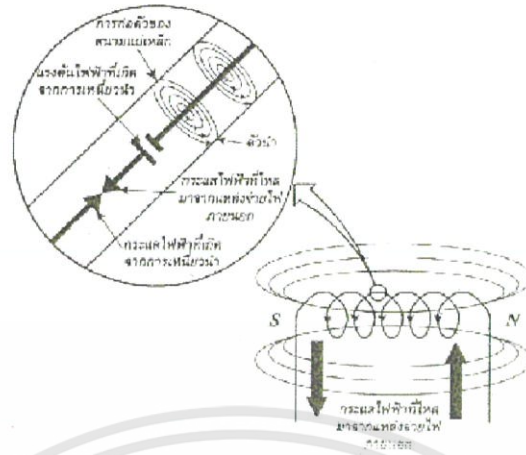
เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการปรับความถี่ของเครื่องรับวิทยุและ โทรทัศน์โดยอาศัยหลักการของลวดทองแดง นำมาขดหลาย ๆ รอบที่เรียกว่าคอย (Coil) แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไป เพื่อให้แสดงคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำ โครงสร้างประกอบด้วยขดลวด (Coil) พันรอบแกน (Core) ซึ่งแกนนี้อาจจะเป็นแกนอากาศ, แกนเหล็ก, หรือแกนเฟอร์ไรท์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการเหนี่ยวนำไฟฟ้า ตัวเหนี่ยวนำชนิดต่าง ๆ

2.3.1 การเหนี่ยวนำในตัวเอง

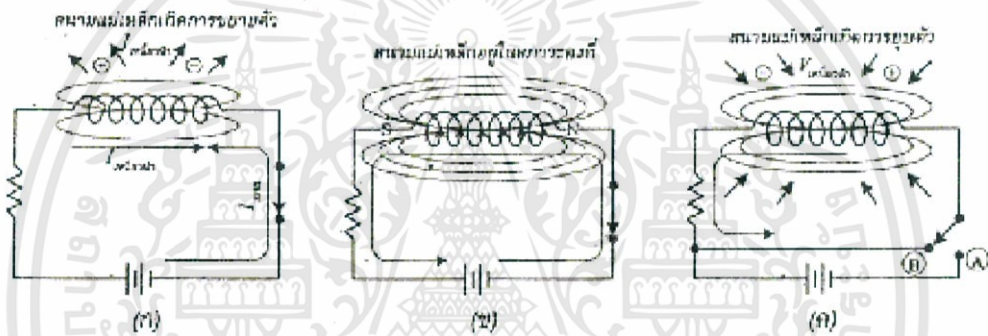
เมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลเข้าไปในเส้นลวดตัวนำจะปรากฏว่ามีเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นที่รอบๆเส้นลวดตัวนำ และมีทิศทางตามกฎมือซ้ายถ้าเรานำเอาลวดมาขดเป็นคอยล์เพื่อให้เกิดคุณสมบัติของตัวนำโดย ต่อจากแหล่งจ่ายไฟ กระแสตรงแล้วใช้กฎมือซ้าย ซึ่งจะบอกให้เราทราบว่า นิ้วหัวแม่มือซ้ายจะแสดง ทิศทางของสนามแม่เหล็กขั้วเหนือ ของขดลวดและจำนวนนิ้วที่เหลือทั้ง 4 นิ้ว ที่กำรอบขดลวดจะเป็นทิศทางกระแสไหลของกระแสอิเล็กทรอนิกส์

2.3.2 การเหนี่ยวนำระหว่างขดลวด 2 ขด

เมื่อเรานำขดลวด 2 ขดมาวางไว้ใกล้กันแล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวดตัวนำขดหนึ่งจะพบว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงยอมจะทำให้เส้นแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงและสามารถยวบตัวตัดกับขดลวดตัวนำอีกตัวหนึ่งที่วางอยู่ใกล้ ได้ซึ่งจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตกรวมที่ขดลวดตัวนำทั้งสอง เรียกว่า เกิดการเหนี่ยวนำการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอันดับ ค่าอินดักแตนซ์รวมของวงจรจะเท่ากัน ค่าอินดักแตนซ์ของตัวเหนี่ยวนำแต่ละตัวรวมกันการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน ค่าอินดักแตนซ์รวมจะมีค่าน้อยเท่ากับตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าอินดักแตนซ์ที่น้อยที่สุดในวงจร



รูปที่ 2.7 การต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคร่อมเข้ากับขดลวด



รูปที่ 2.8(ก) สนามแม่เหล็กเกิดการขยายตัว

รูปที่ 2.8(ข) สนามแม่เหล็กอยู่ในสภาวะคงที่

รูปที่ 2.8(ค) สนามแม่เหล็กเกิดการยุบตัว

รูปที่ 2.8 แสดงการต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคร่อมเข้ากับขดลวด เป็นผลทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และความเข้มของสนามแม่เหล็ก จะเพิ่มขึ้นจากค่าศูนย์ไปจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลานั้นๆ โดยการขยายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะเริ่มจากส่วนกลางของลวดตัวนำ ซึ่งการขยายตัวของเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเป็นการเคลื่อนที่ตัดกับตัวนำที่อยู่กับที่ ดังนั้น จึงส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น (การเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า) การที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำแล้วทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในนี้ เรียกว่า การเหนี่ยวนำภายใน (Self-Inductance)

เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดจะทำให้สนามแม่เหล็กซึ่งจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าก็ถึงค่าสูงสุดด้วย และทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่เกิดการขยายตัว อีกต่อไปโดยจะรักษาระดับให้คงที่ไว้เมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่แล้วการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กจึงไม่เกิดขึ้น ดังนั้น การเคลื่อนที่ตัดกันระหว่างตัวเหนี่ยวนำและสนามแม่เหล็กที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงไม่เกิดขึ้น และสุดท้าย กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะไปต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร ก็จะไม่เกิดขึ้นด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูป 2.6(ข) ขดลวดจะรับพลังงานไฟฟ้า และเก็บไว้ในรูปของพลังงานสนามแม่เหล็ก เช่นเดียวกับกรณีที่ตัวเก็บประจุ ที่เก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปของสนามไฟฟ้านั่นเองถ้าปรับสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง B ดังแสดงในรูป 2.6(ค) กระแสไฟฟ้าที่ไหลมาจากแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับศูนย์ และทำให้สนามแม่เหล็กยุบตัวลงมา ทั้งนี้เนื่องจาก ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวงจรจึงไม่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กอีกต่อไป และถึงแม้เส้นแรงแม่เหล็กจะยุบตัวลงมา แต่ก็ยังเป็นการเคลื่อนที่ตัดกับขดลวดตัวนำอยู่ เป็นเหตุให้มีการเคลื่อนที่ตัดกันระหว่างตัวเหนี่ยวนำ และสนามแม่เหล็ก ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวด ซึ่งผลที่ตามมาก็คือ เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่จะไหลไปในทิศทางเดียวกันกับกระแสไฟฟ้าของวงจรซึ่งไหลอยู่ก่อนหน้าแล้ว ขดลวดในขณะนี้จะเปลี่ยนพลังงานสนามแม่เหล็กไปเป็นพลังงานไฟฟ้า และคืนพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในตอนแรกออกมาหลังจากเวลาผ่านไปสนามแม่เหล็กก็จะยุบตัวหมด แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็จะกลายเป็นศูนย์ และกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในวงจรก็จะไม่เกิดขึ้นอีก

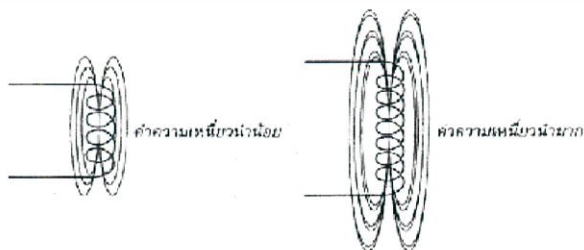
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำถูกกำหนดโดย 4 ปัจจัย ดังนี้

2.3.3.1 จำนวนรอบของขดลวด

ถ้าตัวเหนี่ยวนำมีจำนวนรอบของขดลวดมากขึ้น ดังแสดงในรูป สนามแม่เหล็กที่เกิดจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในขดลวดก็จะเกิดขึ้นมากด้วย สนามแม่เหล็กปริมาณมากนี้ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในตัวเหนี่ยวนำที่เรียกว่า "Counter EMF หรือ Back EMF" และจากการที่มีเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนมากตัดกับขดลวด จึงส่งผลให้ค่าความเหนี่ยวนำมากตามไปด้วย ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำ (L) จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวด (N)

$$L \propto N$$



รูปที่ 2.9(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.2 พื้นที่ของขดลวด

ถ้าพื้นที่ของขดลวดเพิ่มขึ้นสำหรับขดลวดที่มีจำนวนรอบใดๆ ดังแสดงในรูป จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กมีจำนวนมากขึ้นด้วย และการมีสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำ (L) จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ของขดลวด (A)

2.3.3.3 ความยาวของขดลวด

ถ้าทำให้ขดลวดจำนวน 4 รอบ ขยายพื้นที่ออก (นั่นคือความยาวของขดลวดเพิ่มขึ้น) ดังแสดงในรูป ผลรวมของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดแต่ละขดจะมีปริมาณลดลงในทางกลับกันถ้าขดลวดที่มีจำนวนเท่าเดิมนำมาพันให้อยู่ชิดกันมากขึ้น (ความยาวของขดลวดสั้นลง) สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดในแต่ละขดจะเสริมซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีปริมาณมากขึ้น ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำจึงเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวของขดลวด



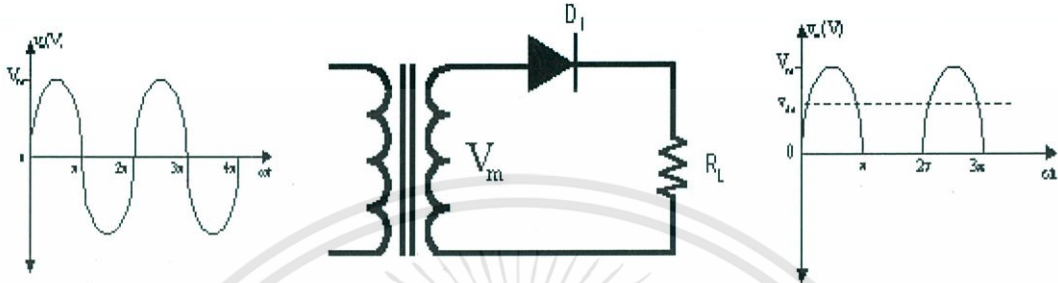
รูปที่ 2.9(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ

2.3.3.4 วัสดุที่นำมาทำแกนภายในขดลวด (μ)

ตัวเหนี่ยวนำส่วนมากมีแกนที่ทำจากวัสดุจำพวกนิกเกิล โคบอลต์ เหล็ก เฟอร์ไรต์ หรืออัลลอยซึ่งแกนเหล่านี้มีคุณสมบัติที่จะช่วยรวมหรือเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ดังนั้น ค่าความซาบซึมได้ (Permeability) จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ โดยถ้าค่าความซาบซึมได้ของวัสดุที่ใช้ทำแกนมีค่ามาก ก็จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย ดังแสดงในตารางแสดงตัวอย่างของวัสดุหลายชนิดที่นำมาใช้ทำแกน

2.4 วงจรเรียงกระแส

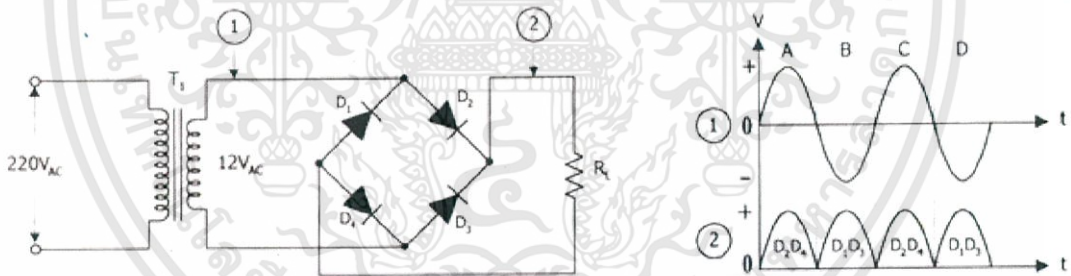
วงจรเรียงกระแสหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเรกติไฟเออร์คือวงจรไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติในการแปลงสัญญาณกระแสสลับให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงหรือมีคุณสมบัติยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่านไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณได้แก่ไดโอด



รูปที่ 2.10 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

2.4.1 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier Circuit)

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave) อีกแบบหนึ่งคือวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ แรงดันไฟสลับจะต่อเข้าที่สองมุมของวงจบริดจ์และเอาต์พุตจะถูกนำออกที่ที่สองมุมที่เหลือดังในรูป



รูปที่ 2.11 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

ในแต่ละครึ่งไซเคิลของวงจรอินพุตสมมุติว่าเมื่อขั้ว A ของขดทุติยภูมิมีค่าเป็นบวกและขั้ว B มีค่าเป็นลบจึงเหมือนกับครึ่งไซเคิลที่ถูกป้อนเข้าทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลงไดโอด D₂ และ D₃ จะอยู่ในลักษณะไบอัสตรงดังนั้นกระแสจึงไหลครบวงจรจากขั้ว A ผ่านไดโอด D₂ ความต้านทานโหลดและไดโอด D₃ แล้วกลับเข้าสู่ขั้ว B ของหม้อแปลง และเมื่อแรงดันไฟสลับเปลี่ยนข้างมาเป็นขั้วบวกที่ขั้ว B และเป็นลบที่ขั้ว A การนำกระแสของไดโอดจะเปลี่ยนไปโดยเริ่มจากจุด B ของขดทุติยภูมิผ่าน D₄ ความต้านทานโหลดและ D₁ กลับเข้าสู่ขั้ว A ของหม้อแปลงทิศทางแรงดันตกคร่อมโหลดจะมีทิศทางเดียวกับตอนแรกคือมีขั้วบวกอยู่ทางด้านบนดังนั้นการนำกระแสไดโอดจะเกิดสลับกันที่ละสองตัว D₂ กับ D₃ และ D₁ กับ D₄

2.5 วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit)

วงจรกรองความถี่หรือฟิลเตอร์ (Filter) คือวงจรไฟฟ้าที่ยอมให้สัญญาณไฟฟ้าที่ความถี่ใด ๆ ความถี่หนึ่งหรือช่วงความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้นผ่านไปได้ ส่วนความถี่อื่นหรือช่วงความถี่อื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกกลทอนไปซึ่งจะเป็นช่วงความถี่ใดนั้นจะขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจร

วงจรกรองความถี่มีด้วยกัน 2 แบบ คือ

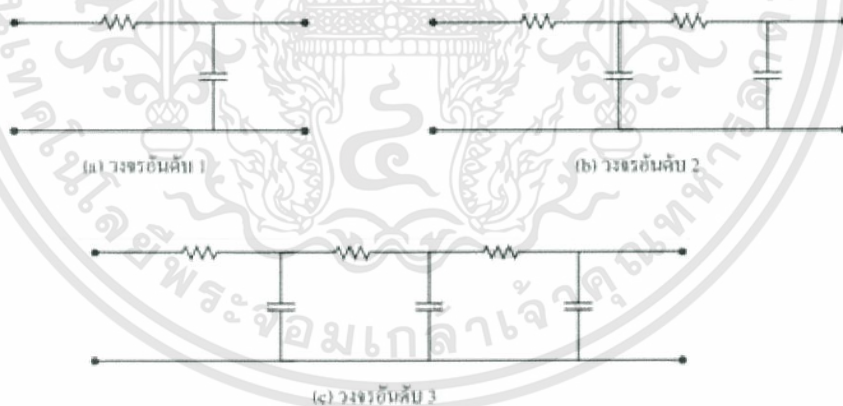
1.แบบ Passive คือวงจรที่ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าเพื่อใหทำงาน ซึ่งได้แก่อุปกรณ์ประเภท ตัวต้านทาน (R) ตัวเก็บประจุ (C) และ ขดลวดเหนี่ยวนำ (L)

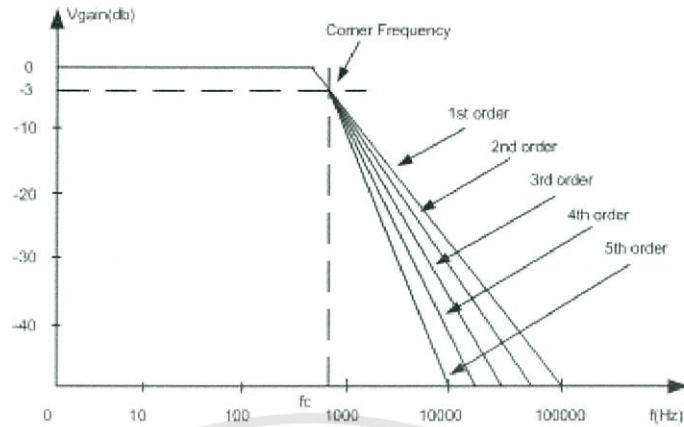
2.แบบ Active คือ วงจรที่ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์ที่ต้องการไฟฟ้า เพื่อกระตุ้นการทำงานของตัวอุปกรณ์ ซึ่งได้แก่อุปกรณ์ประเภท ทรานซิสเตอร์ หรือ ไอซี

วงจรกรองความถี่แบ่งได้ 4 ประเภทคือ

2.5.1 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter: LPF)

หมายถึง วงจรที่จะยอมให้สัญญาณความถี่ตั้งแต่ 0 Hz ถึงความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้ ส่วนความถี่ตั้งแต่ที่กำหนดสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ จะกลทอนไปตามลำดับ ลักษณะของวงจรมีตั้งแต่อันดับหนึ่งขึ้นไป ดังรูป





รูปที่ 2.12 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำอันดับต่างๆ และกราฟแสดงอัตราขยายแรงดันเชิง
ความถี่ (db)

จากรูปวงจรถ่ายเมื่อทำการป้อนความถี่ต่ำเข้าวงจร ที่ C จะมีค่า XC สูง ทำให้ความถี่ต่ำไหลผ่าน R ที่มีค่าความต้านทานน้อยกว่า XC ได้สะดวก ระดับสัญญาณ Output จึงผ่านได้มาก แต่เมื่อความถี่สูงกว่าจุดที่กำหนด ค่า XC จะลดลง ทำให้ความถี่ ผ่านขดลวดได้ลดลง บางส่วนที่ผ่านไปได้ก็ จะถูก C ดึงลงกราวด์ ระดับสัญญาณ Output จึงผ่านได้น้อยมาก

ในทางทฤษฎีวงจรกรองความถี่ต่ำจะยอมให้สัญญาณใดๆ ที่มีความถี่ตั้งแต่ 0 Hz จนถึง ความถี่ที่กำหนดซึ่งเรียกว่า ความถี่คัทออฟ หรือ ความถี่ขอบเขต (Cutoff Frequency) ผ่านไปได้โดย ไม่มีการลดทอนของสัญญาณ และถ้าความถี่ของสัญญาณเข้ามีค่าเกินที่กำหนดไว้ สัญญาณออกควร จะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถจะทำเช่นนั้นได้ เนื่องจากการตอบสนองของสัญญาณที่ ความถี่ต่างๆ ของอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟ จะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไปไม่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใด ดังนั้นผลที่ได้จึงเป็นดังรูปที่ 1 คือเมื่อสัญญาณมีความถี่สูงขึ้นวงจรจะลดสัญญาณลงเรื่อยๆ จนกระทั่งจะลดลงในอัตราคงที่ค่าหนึ่ง

ขั้นตอนการคำนวณวงจรกรองความถี่ต่ำ

สิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษสำหรับการออกแบบวงจรฟิลเตอร์ชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านก็คือ ค่าความถี่คัทออฟ ω_c ที่ต้องการใช้งาน ซึ่งความถี่คัทออฟหาได้จากสมการ

$$\omega_c = 1/RC = 2\pi f_c \quad \dots\dots\dots 2.21$$

โดยที่ ω_c มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s)

f_c มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)

R มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

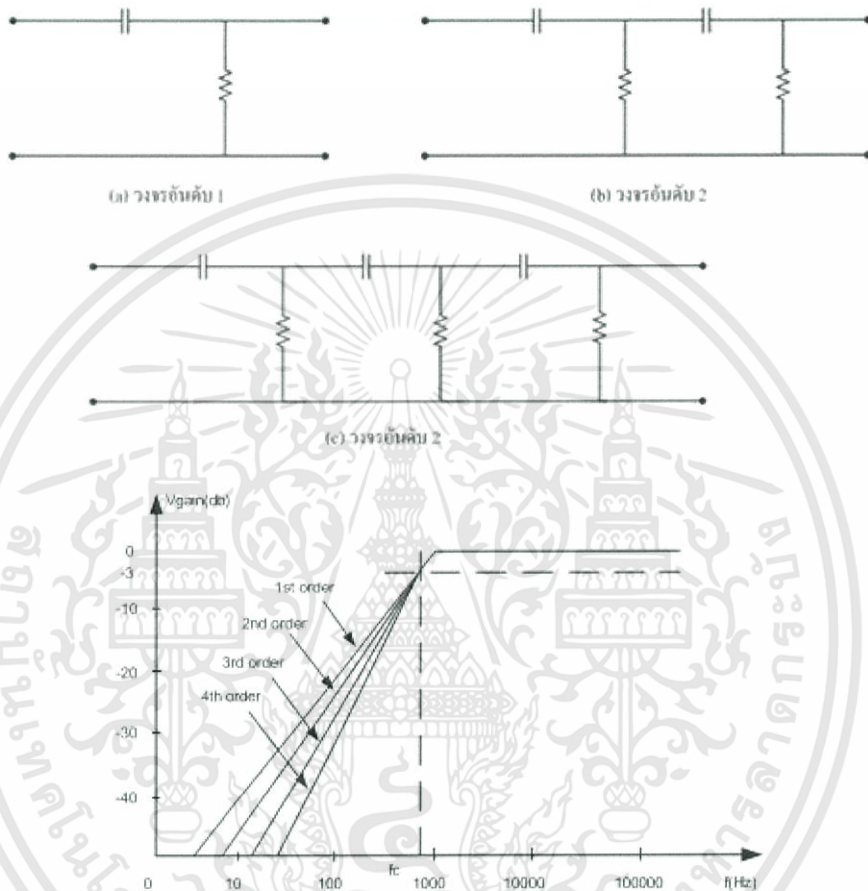
C มีหน่วยเป็น ฟาร์ด (F)

ในทำนองเดียวกันเมื่อกำหนด ω_c ไว้แล้ว ต้องการจะหาค่า R ก็จะได้เป็น

$$R = 1/\omega_c C = 1/2\pi f_c C \quad \dots\dots\dots 2.22$$

2.5.2 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูง (High Pass Filter: HPF)

มีคุณสมบัติตรงกันข้ามกับวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ คือการตอบสนองต่อสัญญาณของวงจรจะยอมให้สัญญาณความถี่สูงผ่านและลดทอนสัญญาณความถี่ต่ำ ซึ่งแสดงวงจรและกราฟตอบสนองอัตรายายแรงดันความถี่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.11

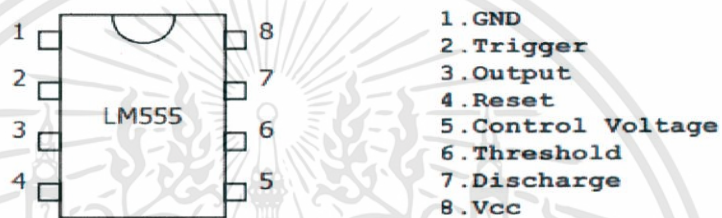


รูปที่ 2.13 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูงอันดับต่างๆ และกราฟแสดงผลการตอบสนองต่ออัตรายายแรงดันความถี่

จากรูปจะเห็นว่า C ต่ออนุกรมกับวงจร ส่วน R ต่อขนานกับวงจร เมื่อป้อนความถี่ต่ำกว่าเข้ามา C จะมีค่า X_C สูง ทำให้สัญญาณผ่านไปได้น้อย ทำให้สัญญาณที่ผ่านมาจาก C ลงกราวด์ได้หมด แต่เมื่อความถี่สูงขึ้น C จะมีค่า X_C ลดลง สัญญาณจะผ่านได้มากขึ้น สัญญาณก็จะลงกราวด์น้อยลงเพราะมี R กันไว้ สัญญาณที่ออกไปยัง Output จะมามากขึ้น จนถึงระดับความแรงของสัญญาณประมาณ 70.7 % ของความแรงสูงสุด ระดับนี้เองที่เราเรียกว่า ช่วงความถี่ Cut off เมื่อความถี่สูงกว่า ความถี่ นี้ C จะยอมให้สัญญาณผ่านได้สะดวกและค่า R จะต้านสัญญาณไม่ให้ลงกราวด์ ความถี่จึงผ่านไปที่จุด Output ได้ทั้งหมด ขั้นตอนการคำนวณของวงจรกรองความถี่สูงจะมีหลักการคำนวณเช่นเดียวกับวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ

2.6 วงจรสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม

ICเบอร์555เป็นไอซีที่นิยมใช้กันมากในการนำไปสร้างสัญญาณรูปคลื่นแบบต่างๆ เช่น สัญญาณ SquareWave ,สัญญาณพัลส์,สัญญาณ ramp และวงจรตั้งเวลา ไอซีเบอร์ 555 เป็นอุปกรณ์วงจรรวมที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆอยู่ใน และมีส่วนที่ต้องต่อภายนอกเพื่อควบคุมการทำงาน และใช้งานเป็นลักษณะ ต่างๆ ซึ่งง่ายต่อการออกแบบและง่ายในการสร้างสัญญาณพัลส์ ความถี่ต่างๆอีกทั้งสามารถเข้าใจการทำงานได้ ง่ายนอกจากไอซีเบอร์ 555 แล้วยังมีไอซีเบอร์ 556 ที่เป็นแบบ Dual Timer ประกอบด้วย ไอซีเบอร์ 555 จำนวน 2 ตัว อยู่ในตัวเดียวกัน เพื่อใช้เป็นตัววงจรตั้งเวลา และสะดวกในการออกแบบวงจรที่ต้องใช้ไอซีเบอร์ 555 หลากๆตัว



รูปที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์ในแต่ละขา

หน้าที่ส่วนต่างๆ ของไอซีเบอร์ 555

(1), (2) คือวงจร Comparator เป็นตัวที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณ input ทั้ง 2 ขา ถ้าศักดา ไฟฟ้าที่ขั้วบวกมากกว่าศักดาที่ขั้วลบ Output จะมีค่า Logic “1” เท่ากับ VCC ถ้าศักดาที่ขั้วบวกลดกว่าขั้วลบ Output จะมีค่า Logic “0” เท่ากับศูนย์โวลท์ (0 Volt.)

(3) คือวงจร Nand gate มีคุณสมบัติว่า ถ้า input ทั้งสองขา เป็น Logic “1” Output จะมีค่าเป็น Logic “0” แต่ถ้า input ขาใดขาหนึ่งเป็น Logic “0” ก็จะทำให้ Output จะมีค่าเป็น Logic “1” ทันที

Input 1	Input 2	Output
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

ตารางที่ 2.2 แสดงตารางTruth table

(4) เป็นวงจร Flip-Flop แบบ RS – F/F มีคุณสมบัติดังนี้

R	S	Q	\bar{Q}
0	0	Q เดิม	\bar{Q} เดิม
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	ไม่ใช่	ไม่ใช่

ตารางที่ 2.3 แสดงตาราง RS flip flop

Q และ \bar{Q} จะตรงข้ามกันเสมอ คือ ถ้า Q = “1” , \bar{Q} = “0” ; Q = “0” , \bar{Q} = “1”

(5) เป็นวงจร Transistor ที่ทำหน้าที่ Switching ถ้า Q เป็น logic “1” Transistor จะทำงาน “ON” นั่นคือจะ Short วงจร ระหว่างขา 7 และ 1 ถ้า \bar{Q} เป็น logic “0” จะ Open ขา 7 และ 1 ของไอซีเบอร์ 555

(6) เป็นตัวต้านทาน 3 ตัว ที่มีขนาดความต้านทานเท่ากันทั้ง 3 ตัว มีหน้าที่แบ่งแรงดัน VCC ออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆกัน ตกรวม R แต่ละตัว มีค่าเท่ากับ $VCC/3$ ค่า R นี้จะมีขนาดความต้านทานเป็น K โอห์ม

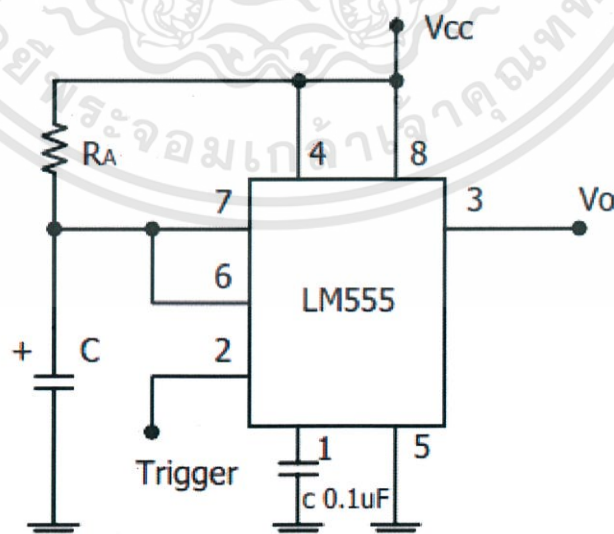
โดยอาศัยการทำงานเป็น 2 แบบ คือ

- เป็นตัวผลิตสัญญาณค่าความถี่ต่างๆ และ
- เป็นวงจรมับสัญญาณ

จึงแบ่งการทำงานเป็นวงจรที่สำคัญ ได้ 2 ชนิดคือ

2.6.1 วงจรโมโนสเตเบิล Monostable Multivibrator

คือวงจรที่สร้างสัญญาณพัลส์ขึ้นมา 1 ลูก หลังจากมีการทริก(กระตุ้น)ให้วงจรเกิดสัญญาณ มีความกว้างที่สามารถกำหนดได้ด้วยค่า RC



รูปที่ 2.15 แสดงวงจร Monostable Multivibrator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางาน

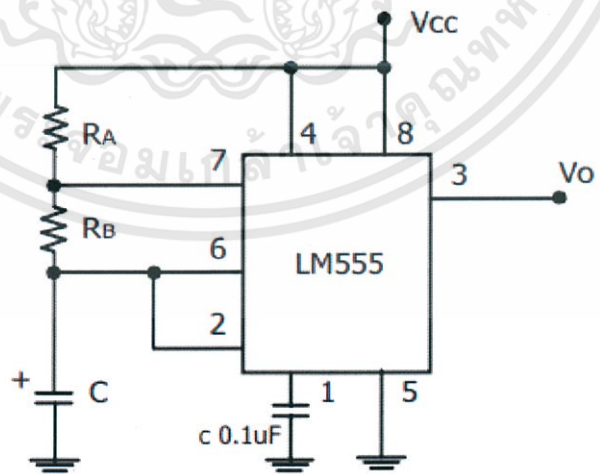
ขณะที่ไม่มีสัญญาณ Trig ที่ขา 2 $V_{trig} = V_{CC}$ แรงดันคร่อมคาปาซิเตอร์จะเป็นศูนย์ เพราะว่า V_{CC} จะมีการแสไหลผ่าน R_A ผ่าน Tr ลงกราวด์ ได้ $V_o = 0$ เมื่อมีสัญญาณ trig ที่ขา 2 คือ $V_{trig} = 0$ Tr ภายในจะ “Off” V_{CC} จะทำการเก็บประจุ (Charge C) จนกระทั่งเกิดแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ ประมาณ $2V_{CC}/3$ คาปาซิเตอร์จะคายประจุผ่าน Tr ขณะที่คาปาซิเตอร์คายประจุ output จะเป็น logic “1” ได้ $V_o = V_{CC}$

วงจร Monostable Multivibrator นี้สามารถสร้างสัญญาณพัลซ์ขึ้นมาจำนวน 1 ลูก หลังจากมีการ trig ที่ขา 2 โดยความกว้างพัลซ์ขึ้นอยู่กับค่า R_A และ C สมการในการ charge ประจุของ Capacitor จาก 0 ถึง $2/3V_{CC}$ คือ

$$\begin{aligned}
 V_c(t) &= V_{CC}(1 - e^{-t/RC}) \\
 2/3V_{CC} &= V_{CC}(1 - e^{-t/RC}) \\
 e^{-t/RC} &= +1/3 \\
 -t/R_A C &= \ln 1/3 \\
 t &= 1.1R_A C \\
 \boxed{T} &= 1.1R_A C \dots\dots\dots 2.23
 \end{aligned}$$

2.6.2 วงจรอะสเตเบิล Astable Multivibrator

คือวงจรสร้างสัญญาณ Square wave มีความถี่ที่สามารถกำหนดได้ตามความต้องการ ด้วยค่าคาปาซิเตอร์ C และค่าความต้านทาน R_A และ R_B โดยในวงจรนี้นอกจากจะสามารถกำหนดความถี่ของสัญญาณ Square wave ด้วยค่า C และค่า $R_T = R_A + R_B$ แล้วยังสามารถที่จะกำหนดช่วงเวลา “ON” และ “OFF” ของสัญญาณด้วยค่าที่แตกต่างกันของ R_A และ R_B ได้อีกด้วย



รูปที่ 2.16 แสดงวงจร Astable Multivibrator

หลักการทำงาน

ใช้หลักการเก็บประจุ และคายประจุของคาปาซิเตอร์โดยจะทำการเก็บประจุผ่าน R_A , R_B และจะคายประจุผ่าน R_B และ T_r ภายในลง GND

- ขณะที่คาปาซิเตอร์เก็บประจุ จนถึงระดับแรงดัน $2/3V_{CC}$ ขณะนั้นแรงดัน ของ $V_O = V_{CC}$

- ขณะที่คาปาซิเตอร์คายประจุออก เกิดแรงดันตกคร่อมมีช่วงจาก $2/3V_{CC}$ ถึง $V_{CC}/3$ ขณะนั้นแรงดันของ

$V_O = 0$ (ศูนย์โวลต์)

การวิเคราะห์เวลาในการ charge และ discharge capacitor

เวลาในการ charge- C จาก 0 ถึง $V_{CC}/3$ ใช้เวลา t_1

$$V_c(t) = V_{CC}(1 - e^{-t/RC})$$

$$V_{CC}/3 = V_{CC}(1 - e^{-t_1/RC})$$

$$-t_1/RC = \ln 2/3 = -0.405$$

$$t_1 = 0.405RC$$

เวลาในการ charge C จาก 0 ถึง $2/3V_{CC}$ ใช้เวลา t_2

$$2/3V_{CC} = V_{CC}(1 - e^{-t_2/RC})$$

$$-t_2/RC = \ln 1/3 = -1.098$$

$$t_2 = 1.098RC$$

$$T_1 = t_2 - t_1 = (1.098 - 0.405)RC$$

$$T_1 = 0.693RC \dots\dots\dots 2.24$$

แต่ $R = R_A + R_B$

$$T_1 = 0.69(R_A + R_B)C$$

เวลาในการ discharge จาก $2/3V_{CC}$ ถึง $V_{CC}/3$

สูตร $V_c(t) = V e^{-t/RC}$

$$V_{CC}/3 = 2/3V_{CC} e^{-t/RC}$$

$$T = -RC \ln 1/3 = 0.69RC$$

$$T_2 = 0.69(R_B)C$$

$$T = T_1 + T_2$$

$$T = 0.69(R_A + 2R_B)C \dots\dots\dots 2.25$$

ที่ความถี่ Square wave

$$F = 1/0.69(R_A + 2R_B)C \dots\dots\dots 2.26$$

บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงวงจรขยายกำลังประเภทต่างๆ หลักการทำงาน, ประสิทธิภาพของวงจรขยายกำลัง แต่ละประเภทโดยจะเน้นไปที่วงจรขยายกำลังคลาส E เนื่องจากเป็นวงจรที่มีประสิทธิภาพสูง การสูญเสียพลังงานต่ำ และสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ดี จึงได้นำวงจรขยายกำลังคลาส E มาใช้เป็นวงจรขับขดลวดในฝั่งปฐมภูมิ และในส่วนของวงจรควบคุมวงจรขยายกำลังคลาสอีเพื่อประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ได้นำการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลและอะสเตเบิลมาใช้เป็นตัวควบคุมสัญญาณที่จะป้อนให้แก่วงจรขยายกำลังคลาสอีเพื่อที่จะได้ทำงานในลักษณะ Close Loop ให้เกิดวงจร



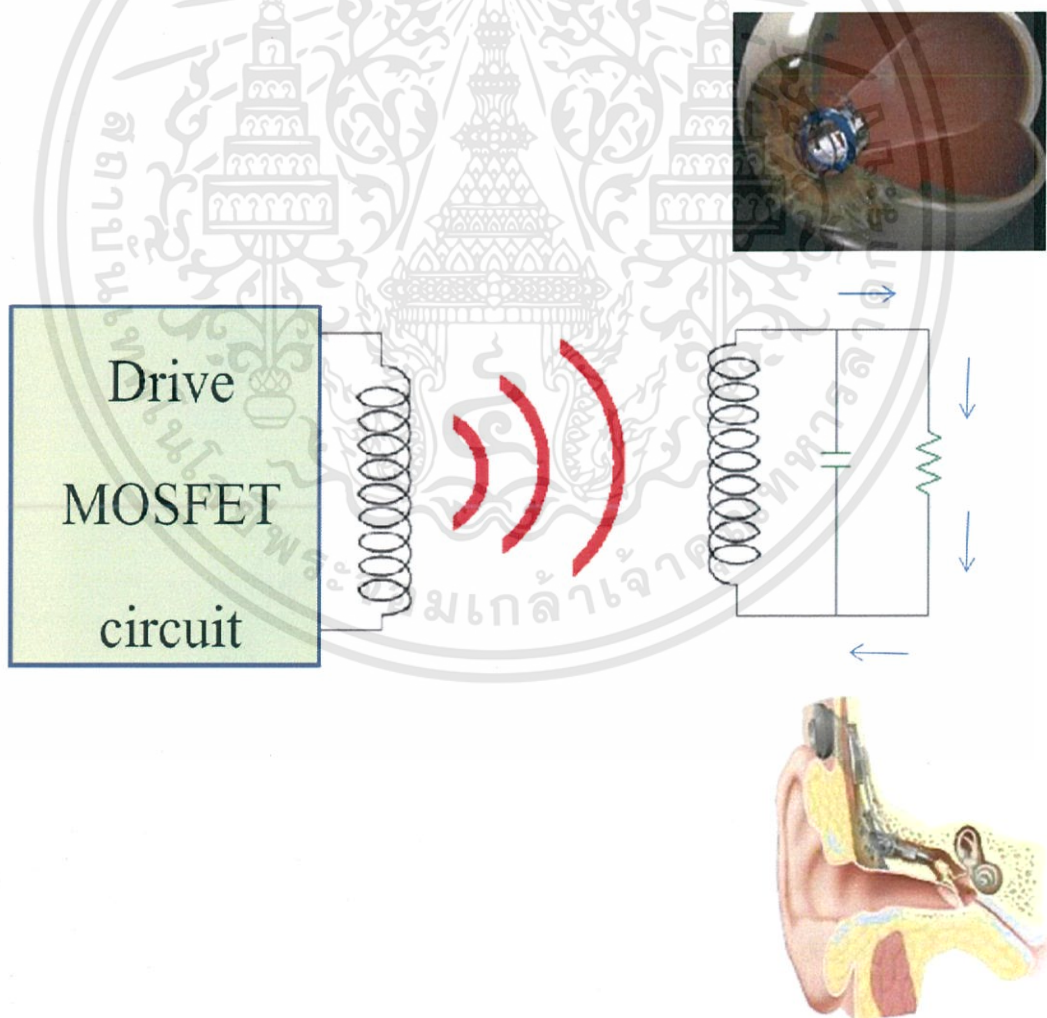
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการคำนวณและออกแบบ

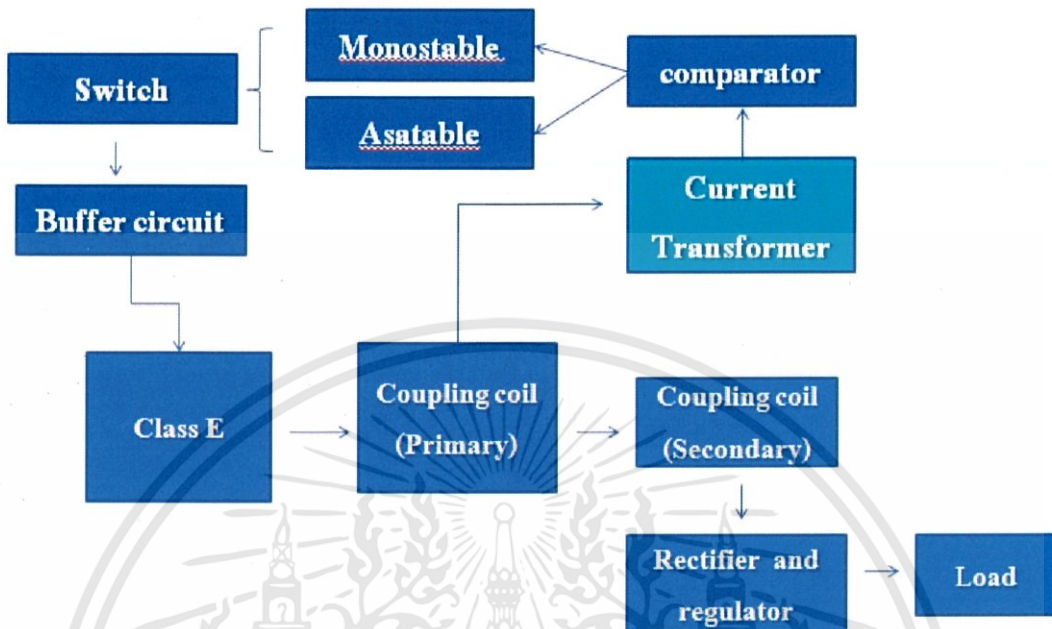
บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการคำนวณและการออกแบบวงจรขยายกำลังคลาส E ที่ใช้ซัพพลายไฟฟ้ประมุณีให้เกิดการเหนี่ยวนำและที่ฝั่งทุติยภูมิจะมีขดลวดทุติยภูมิเป็นตัวรับพลังงานและผ่านวงจรที่จะนำไปใช้งานหรือโหลดนั่นเองโดยในเบื้องต้นวงจรที่จะนำไปใช้งานนั้นถูกแทนด้วยตัวต้านทาน ดังรูปที่ 3.1 โดยในบทนี้จะแสดงการคำนวณค่าของตัวแปรต่างๆในวงจรขยายกำลังคลาส E โดยในขั้นแรกใช้ function generator บ้อนสัญญาณหลังจากนั้นควบคุมสัญญาณแก่วงจรขยายกำลังคลาส E ในลักษณะแบบ Close loop โดยใช้ วงจร timer ซึ่งทำงานลักษณะออสเตเบิลโดยในบทนี้ จะแสดงการเลือกค่าอุปกรณ์ให้ได้ตามความถี่ที่เราต้องการ



รูปที่ 3.1 แสดงภาพรวมของImplantable device

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

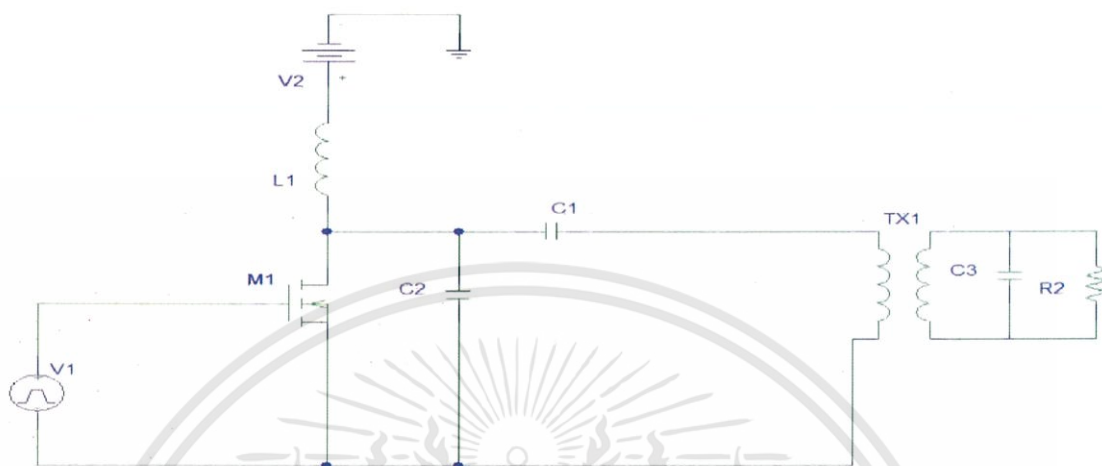


รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการออกแบบของวงจรขยายกำลังคลาสิกอีเพื่อนำไปประยุกต์กับการแพทย์

3.1 คุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์

- 3.1.1 ต้องสามารถจ่ายพลังงานตามที่ต้องการได้
- 3.1.2 ต้องสามารถทำงานที่ความถี่ที่ต้องการได้ (1MHz)

3.2 การออกแบบวงจรขยายกำลังคลาส E เบื้องต้น



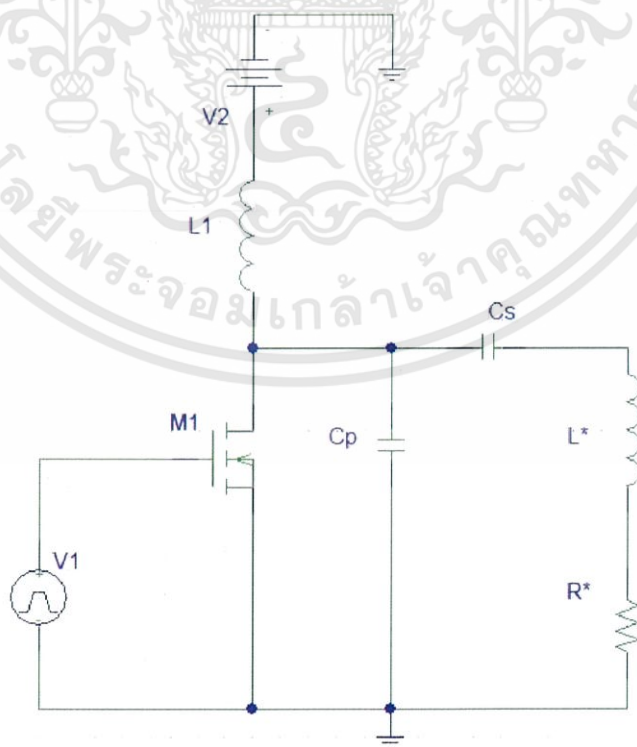
รูปที่ 3.3 วงจรขยายกำลังที่ได้ทำการออกแบบโดย R_2 เป็นตัวต้านทานเสมือนของวงจรที่นำไปใช้งาน โดยเราสามารถยุบให้วงจรเหลือแค่ฝั่งปฐมภูมิได้จากสูตร

$$R^* = (k)^2 R_L \quad ; \quad R_L = R_2$$

$$L_p = L^* / (1 - k^2) \quad ; \quad L_p \text{ คือขดลวดที่อยู่ฝั่งปฐมภูมิ}$$

โดยที่ k = ค่าสัมประสิทธิ์ของการเหนี่ยวนำ

เราได้วงจรสมมูลดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรขยายกำลังที่ได้ทำการยุบให้เหลือแต่ฝั่งปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 แสดงถึงรูปวงจรมายกำลังที่ได้ทำการยุบให้เหลือแต่ฝั่งปฐมภูมิโดยที่ $C_s=C1$ และ $C_p=C2$ โดยในการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆจะคำนวณจากรูปนี้

3.3 การคำนวณค่าตัวอุปกรณ์ต่างๆ

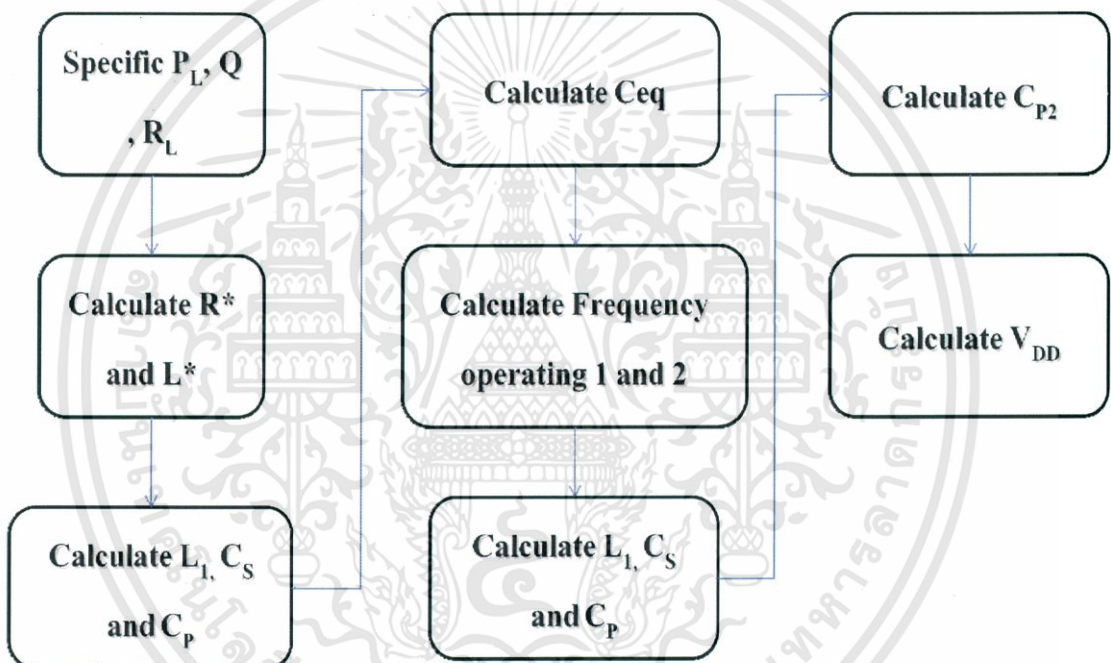
ตัวอย่างการคำนวณ

ต้องการให้เกิดพลังงานที่โหลด (PL) เท่ากับ 300mW และทำงานที่ความถี่ 1 MHz

ให้ค่า R_L มีค่าเท่ากับ 1K Ω โดยที่ R_L เป็นความต้านทานเสมือนของวงจรที่อยู่ภายในร่างกาย

สมมุติค่า k มีค่าเท่ากับ 0.2

กำหนดค่า Q มีค่าเท่ากับ 10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ	$R^* = (k)^2 R_L$ $= (0.2)^2 10k$ $= 400\Omega$	.....3.1
จากสมการ	$L^* = (Q \times R^*) / 2\pi f$ $= (10 \times 400) / 2\pi(10^6)$ $= 636.6 \text{ uH}$	.....3.2
จากสมการ	$L_1 = L^* / (1-k^2)$ $= 636.6 \text{ u} / (1-0.2^2)$ $= 663.1 \text{ uH} \quad ; L_1=L_2$	.....3.3
จากสมการ	$C_S = 1/2\pi f \times R^* \times (Q-1.1525)$ $= 1/2\pi \times 400 \times (10-1.1525)$ $= 44.97 \text{ pF}$	.....3.4
จากสมการ	$C_p = 8/2\pi^2(\pi^2+4) \times R^* \times f$ $= 8/2\pi^2(\pi^2+4) \times 400 \times 10^6$ $= 73.05 \text{ pF}$	.....3.5
จากสมการ	$C_{eq} = C_s // C_p$ $= (44.97p \times 73.05) / (44.97+73.05)p$ $= 27.83 \text{ pF}$	.....3.6
จากสมการ	$f_{01} = 1/2\pi \sqrt{L^* C_s}$ $= 1/2\pi \sqrt{636.6 \times 10^{-6} \times 44.97 \times 10^{-12}}$ $= 940.6 \text{ kHz}$	.....3.7
	$f_{02} = 1/2\pi \sqrt{L^* C_{eq}}$ $= 1/2\pi \sqrt{636.6 \times 10^{-6} \times 27.83 \times 10^{-12}}$ $= 1.195 \text{ MHz}$	.....3.8
จากสมการ	$C_{p2} = (1/2\pi f)^2 / L^*$ $= (1/2\pi \times 10^6)^2 / 636.6u$ $= 38.2 \text{ pF}$	.....3.9
จากสมการ	$V_{DD} = \sqrt{P_L R^* / 0.5768}$ $= \sqrt{(500m \times 400) / 0.5768}$ $= 18.5 \text{ V}$	.....3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ตารางค่าตัวอุปกรณ์ในกรณีต่างๆ โดย R_L เปรียบเสมือนวงจรที่มีค่าความต้านทานต่างๆ กรณี $Q=40$

ในตารางได้แสดงผลการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆในกรณีที่ R_L ที่ใช้เป็นความต้านทานเสมือนของ วงจรภายในนั้นมีค่าเท่ากับ $50\Omega, 1K\Omega, 10K\Omega$ และมีพลังงานที่ไหล 100mW, 300mW และ 500mW ทำงานที่ความถี่ 1 MHz และจากการวัดค่าของขดลวดที่ความถี่ 100 kHz ได้ค่า Q ประมาณ 40 และเนื่องจาก $Q = \omega L/R$ เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ค่า Q มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงใช้ค่า $Q=40$ เป็นค่าเบื้องต้นในการคำนวณได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 3.1

	100mW								
	R^*	L^*	L_1	C_p	C_s	C_2	f_{o1}	f_{o2}	V_{DD}
$R_L = 50\Omega$	2	12.73u	13.26u	14.61n	2n	1.91n	997.4k	1.06M	0.58
$R_L = 1K\Omega$	40	254.6u	265.2u	730.5p	102.4p	95.51p	985.6k	1.05M	2.63
$R_L = 10K\Omega$	400	2.54m	2.64m	73.05p	10.24p	9.59p	986k	1.05M	8.33
	300mW								
	R^*	L^*	L_1	C_p	C_s	C_2	f_{o1}	f_{o2}	V_{DD}
$R_L = 50\Omega$	2	12.73u	13.26u	14.61n	2n	1.91n	997.4k	1.06M	1.02
$R_L = 1K\Omega$	40	254.6u	265.2u	730.5p	102.4p	95.51p	985.6k	1.05M	4.56
$R_L = 10K\Omega$	400	2.54m	2.64m	73.05p	10.24p	9.59p	986k	1.05M	14.42
	500mW								
	R^*	L^*	L_1	C_p	C_s	C_2	f_{o1}	f_{o2}	V_{DD}
$R_L = 50\Omega$	2	12.73u	13.26u	14.61n	2n	1.91n	997.4k	1.06M	1.32
$R_L = 1K\Omega$	40	254.6u	265.2u	730.5p	102.4p	95.51p	985.6k	1.05M	5.89
$R_L = 10K\Omega$	400	2.54m	2.64m	73.05p	10.24p	9.59p	986k	1.05M	18.62

ตารางที่ 3.1 ค่าของตัวอุปกรณ์ในกรณีต่างๆ

จากตารางที่ 3.1 พบว่าค่าของพลังงานที่เกิดขึ้นที่ไหลค่านั้นมีผลต่อค่า V_{DD} เท่านั้น โดยเมื่อค่าพลังงานที่ไหลเพิ่มขึ้นค่าของ V_{DD} ก็จะเพิ่มขึ้นด้วยในขณะที่ค่าของ R_L นั้นมีผลกับทุกค่าโดยเมื่อค่า R_L เพิ่มขึ้นค่าของ R^*, L^*, L_1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในขณะที่ C_p, C_s, C_2 มีแนวโน้มลดลง

จากตารางที่ 3.1 พบว่ากรณี $R_L = 10k\ \Omega$ ต้องใช้ขดลวดที่มีขนาดใหญ่ไม่เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ทางการแพทย์โดยเมื่อค่าของ R_L และ Power มีค่ามากจะทำให้ค่าของแรงดันที่โหลดมีค่ามากขึ้นตามไปด้วยและได้นำกรณีนี้ไปคำนวณเมื่อ Q มีค่าเท่ากับ 10 ซึ่งเป็นกรณีที่แย่ที่สุดเพื่อนำไปสร้างวงจรต้นแบบโดยวงจรต้นแบบนั้นเลือกใช้ค่า $R_L = 1k\ \Omega$ และพลังงานที่โหลด 300mW เพราะเมื่อใช้ค่านี้นี้แล้วขนาดขดลวดไม่ใหญ่เกินไปและค่าของอุปกรณ์อื่นๆเป็นค่าของอุปกรณ์ที่มีอยู่จริงโดยได้ผลการคำนวณดังนี้

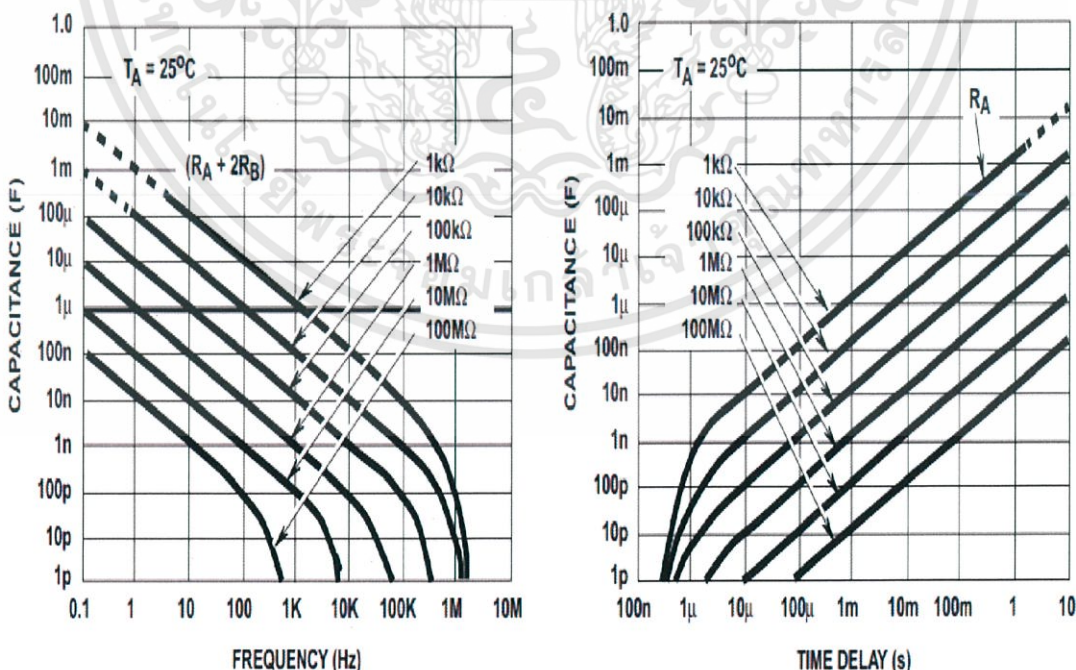
	300mW								
	R^*	L_1	L_2	C_p	C_s	C_2	f_{o1}	f_{o2}	VDD
$R_L = 1k\ \Omega$	40	68.9u	68.9u	680p	470p	330p	880k	1.1M	6

ตารางที่ 3.2 ค่าของตัวอุปกรณ์ในกรณีที่แย่ที่สุด

3.5 การสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมเพื่อควบคุมวงจรขยายกำลังคลาส E

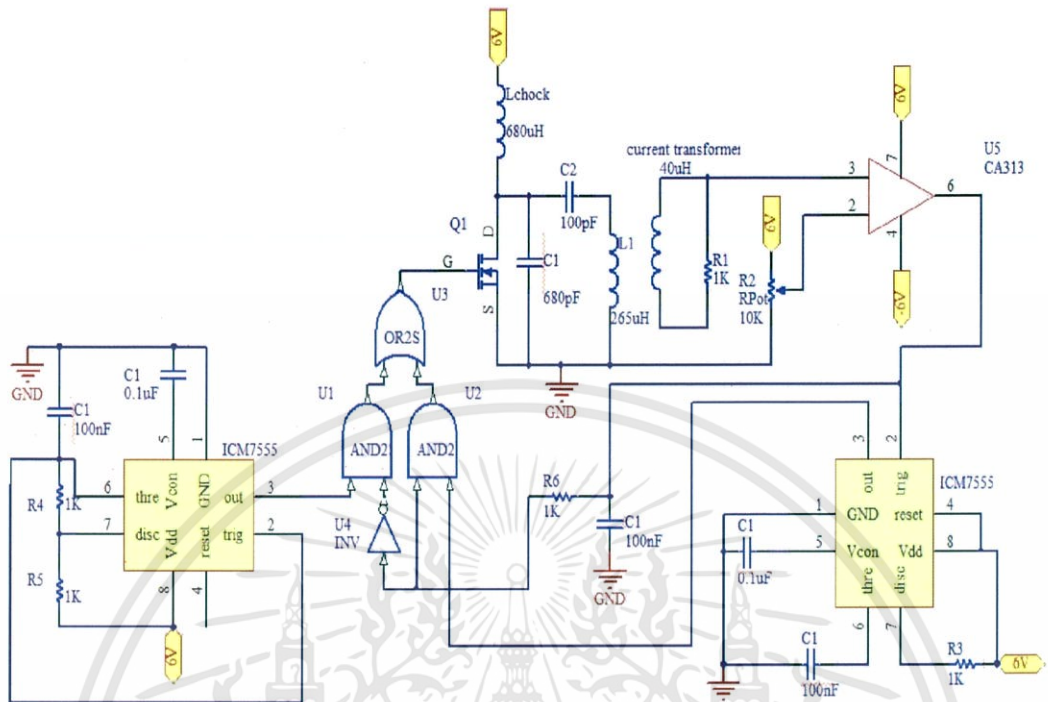
ในการสร้างสัญญาณเพื่อนำไปควบคุมวงจรคลาสอี ได้ออกแบบโดยใช้วงจรมอนอสเตเบิลและวงจระสเตเบิลเมื่อสร้างสัญญาณมาควบคุม โดยเลือกค่าอุปกรณ์ในการต่อดังนี้

วงจรมอนอสเตเบิล และ สเตเบิลจาก กราฟความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 3.3 โดยใช้ความถี่ 1MHz



รูปที่ 3.5 ตารางเลือกอุปกรณ์ค่า R และ C ที่ความถี่ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

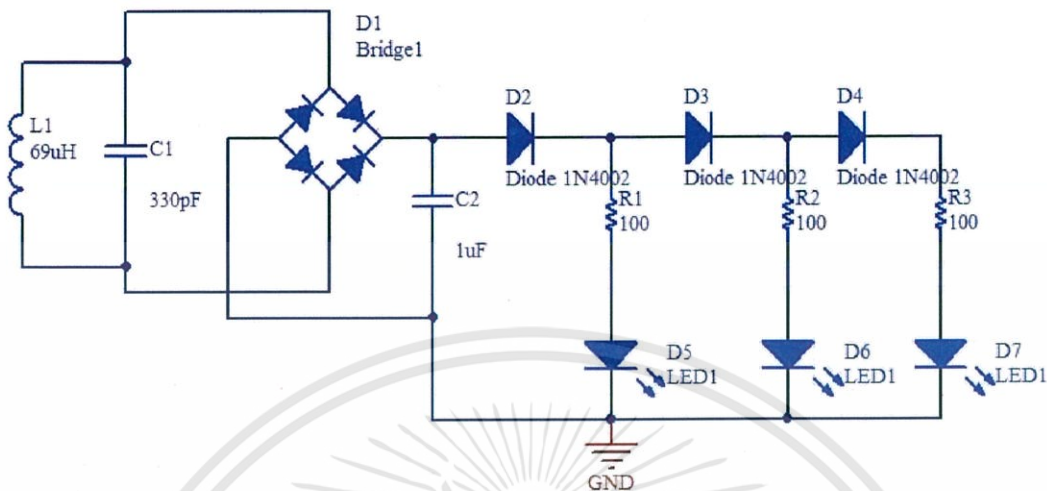


รูปที่ 3.6 แสดงการออกแบบภาคส่งวงจรควบคุมวงจรรขยายกำลังคลาสอีเพื่อนำประยุกต์ใช้ทางการแพทย์

วงจรมีแนวโน้มที่จะเกิดการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุดเมื่อแรงดันที่ตกคร่อม MOSFET เป็น 0 ซึ่งตรงกับจุดที่กระแสที่ไหลผ่าน $L1$ เท่ากับ 0 โดยใช้ current transformer มาใช้ใน control loop เนื่องจากเมื่อมีกระแสไหลผ่าน $L1$ จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลใน current transformer แต่สัญญาณจะมีการเลื่อนของมุมเฟสไป 90 องศาทำให้เมื่อกระแสที่ไหลผ่าน $L1$ เท่ากับ 0 กระแสที่ไหลใน current transformer จะเป็นค่าสูงสุดและจะนำจุดที่กระแสมีค่าสูงสุดนี้ไปสร้างสัญญาณ trigger ให้กับวงจร timer แบบ monostable

ในตอนเริ่มต้นวงจรจะทำงานโดยมีสัญญาณวงจร timer แบบ astable เป็นสัญญาณควบคุมเมื่อวงจรรขยายกำลังคลาส E เริ่มทำงานทำให้ current transformer สร้างสัญญาณไป trigger วงจร timer แบบ monostable หลังจากนั้นวงจรจะทำงานโดยมีสัญญาณจากวงจร timer แบบ monostable เป็นสัญญาณควบคุม

วงจรเปลี่ยนสัญญาณควบคุมจากวงจร timer โดยใช้ Logic Gate ทำหน้าที่เป็นเหมือนสวิตช์โดยสัญญาณจากวงจร timer แบบ astable และ monostable จะเป็นสัญญาณขาเข้าที่ขา 1 ของ And Gate ตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยขา 2 ของ And Gate ตัว 2 รับผิดชอบสัญญาณค่าเฉลี่ยของสัญญาณ trigger แต่ขา 2 ของ And Gate ตัวที่ 1 จะรับผิดชอบสัญญาณค่าเฉลี่ยของสัญญาณ trigger ผ่าน Not Gate นำสัญญาณขาออกของ And Gate ทั้ง 2 ตัวไปเป็นสัญญาณขาเข้าของ Or Gate เพื่อนำไปควบคุมวงจรรขยายกำลังคลาส E



รูปที่ 3.7 แสดงการออกแบบภาครับวงจรควบคุมวงจรรขยายกำลังคลาสอีเพื่อนำประยุกต์ใช้ทางการแพทย์

จากรูปที่3.7 แสดงถึงวงจรภาครับโดยใช้ LED เป็นตัวแสดงผลโดยในBridge diode นั้นควรจะใช้เป็น Schottky diode จะได้ประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อสัญญาณผ่านส่วนrectifier และ filter แล้วจะได้แรงดัน DC ค่าหนึ่ง ถ้าแรงดัน DC นั้นมีค่าสูง LED ทั้ง3 ตัวจะทำงานและเมื่อแรงดัน DC นั้นลดลง จำนวน LED ก็ะทำงานลดลงด้วย

โดยการจากทดลองได้แรงดัน DC สูงสุดประมาณ 5 V ซึ่งเมื่อต่อ R100ohm กับ LEDทั้ง3ตัวจะทำให้ LED ตัวแรกมีกระแสไหล ประมาณ 30 mA LEDตัวที่2 มีกระแสไหลประมาณ 24 mA และ LEDตัวที่ 3 มีกระแสไหลประมาณ 20 mA

ถ้า LED ติดทั้ง3ตัวแสดงว่ามีการดึงกระแสรวม 74 mA แสดงว่าวงจรรขยายกำลังสามารถส่งพลังงานมาสูงสุด 370 mW
บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวการคำนวณค่าต่างๆของวงจรรขยายกำลังคลาส E ที่เป็นวงจรในการขับเคลื่อนด้วยปฏิกิริยาโดยแสดงถึงขั้นตอนการคำนวณวิธีการคำนวณและมีตัวอย่างการคำนวณและผลการคำนวณของกรณีต่างๆเพื่อดูแนวโน้มของค่าอุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ในวงจรรขยายกำลังคลาส E และในวงจรสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมเพื่อควบคุมการทำงานของวงจรรขยายกำลังคลาส E จะได้ค่า R และ C จากรูปกราฟที่ 3.5 โดยมีค่า R 1 KΩ และค่า C 100pF

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

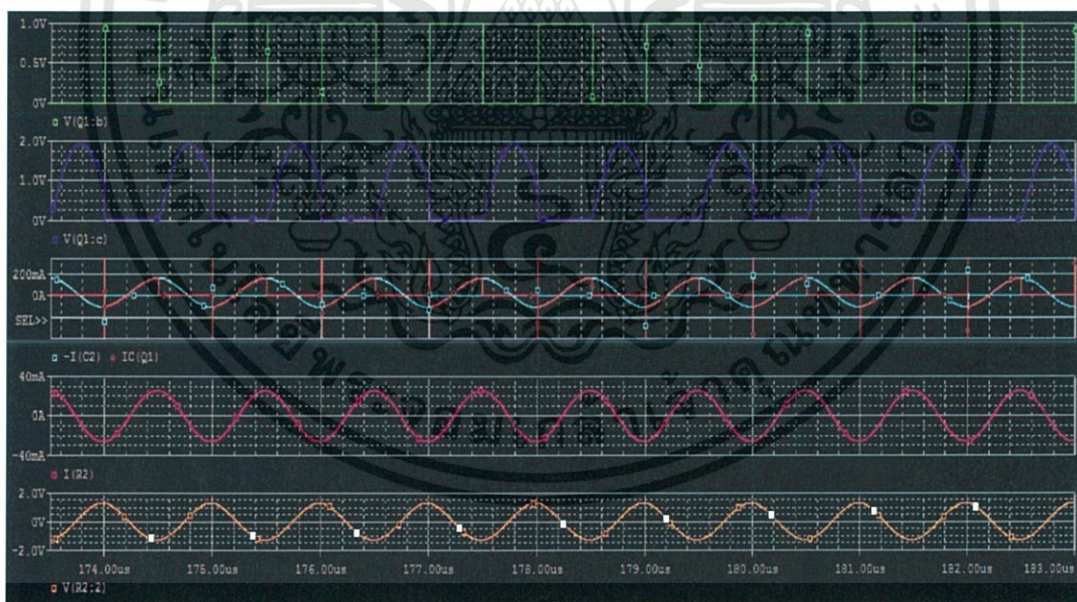
บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการจำลองการทำงานของวงจรขยายกำลังคลาส E โดยใช้โปรแกรม Pspice และกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ตามตารางที่ 3.2 เพื่อดูรูปแบบของ แรงดัน, กระแส ตามจุดต่างๆ ว่าเป็นไปตามรูปแบบการทำงานของคลาส E (รูปที่ 2.4) หรือไม่และจะกล่าวถึงผลการทดลอง กรณีที่ใช้วงจร timer บ้อนสัญญาณให้กับวงจรขยายกำลังคลาส E และกรณีที่มี control loop

จากรูปที่ 3.1 ให้ความถี่ Input = 1 MHz และมี Duty cycle = 50 % โดยจะวัดแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆ ทั้งหมด 6 จุด ได้แก่ สัญญาณ Input, แรงดันที่สวิตช์ (MOSFET) , กระแสที่ไหลผ่าน Cs , กระแสที่ไหลผ่าน Cp กระแสที่ไหลผ่าน RL และ แรงดันที่ตกคร่อม RL ได้รูปแบบของแรงดัน และกระแสที่จุดต่างๆ ดังนี้

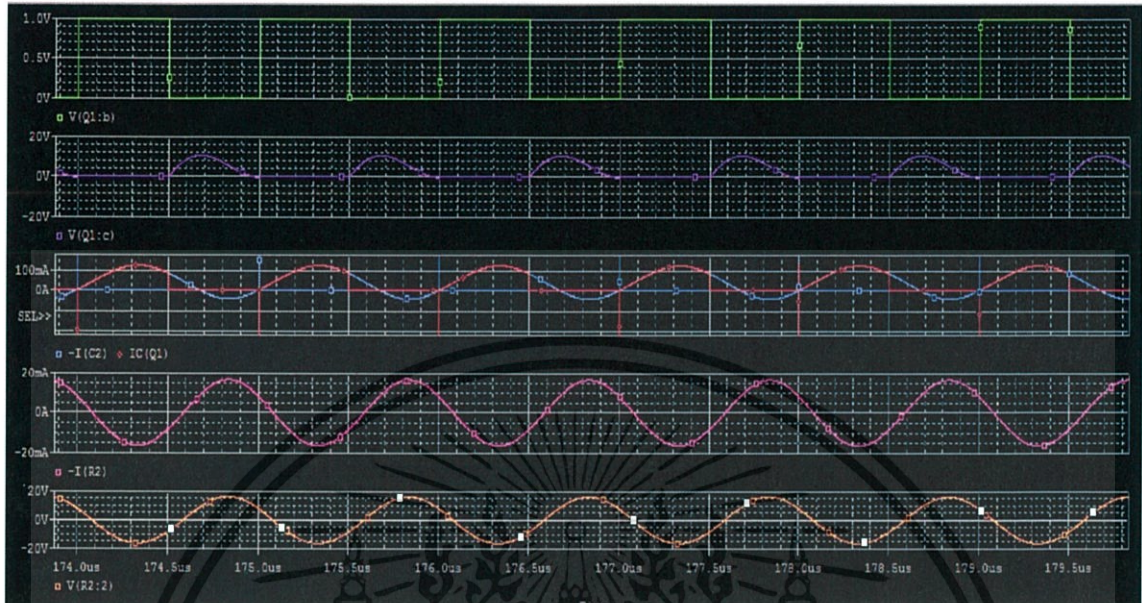
4.1 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลลดเท่ากับ100mW

RL = 50 ohm



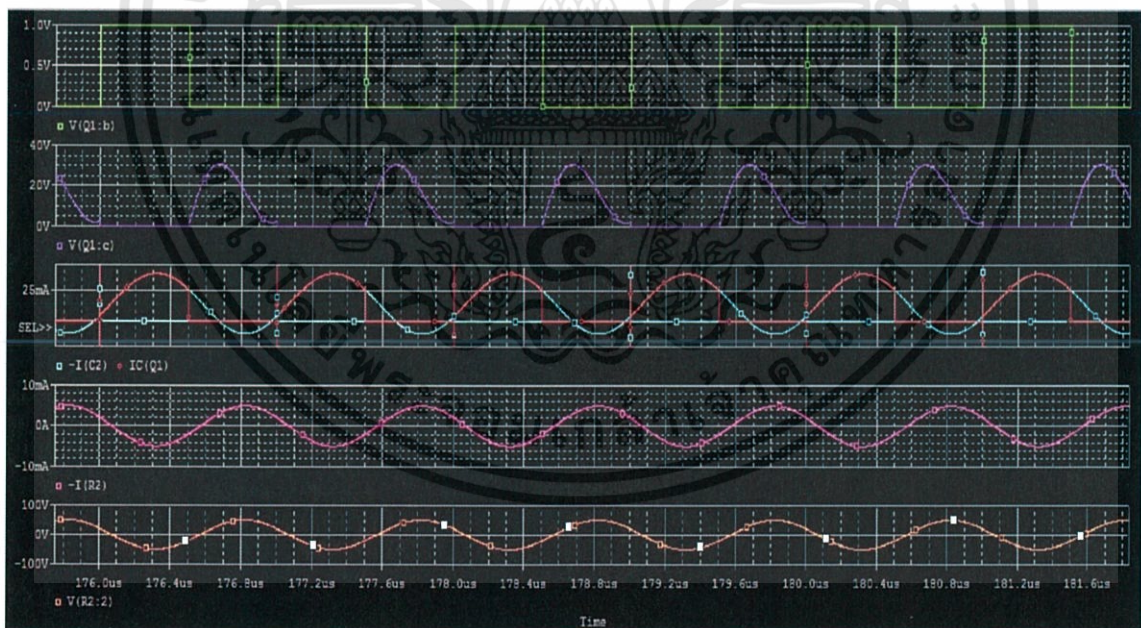
รูปที่ 4.1.1 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลลดเท่ากับ100mW RL=50 ohm

RL = 1k ohm



รูปที่4.1.2 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ100mW $R_L=1k$ ohm

RL = 10k ohm

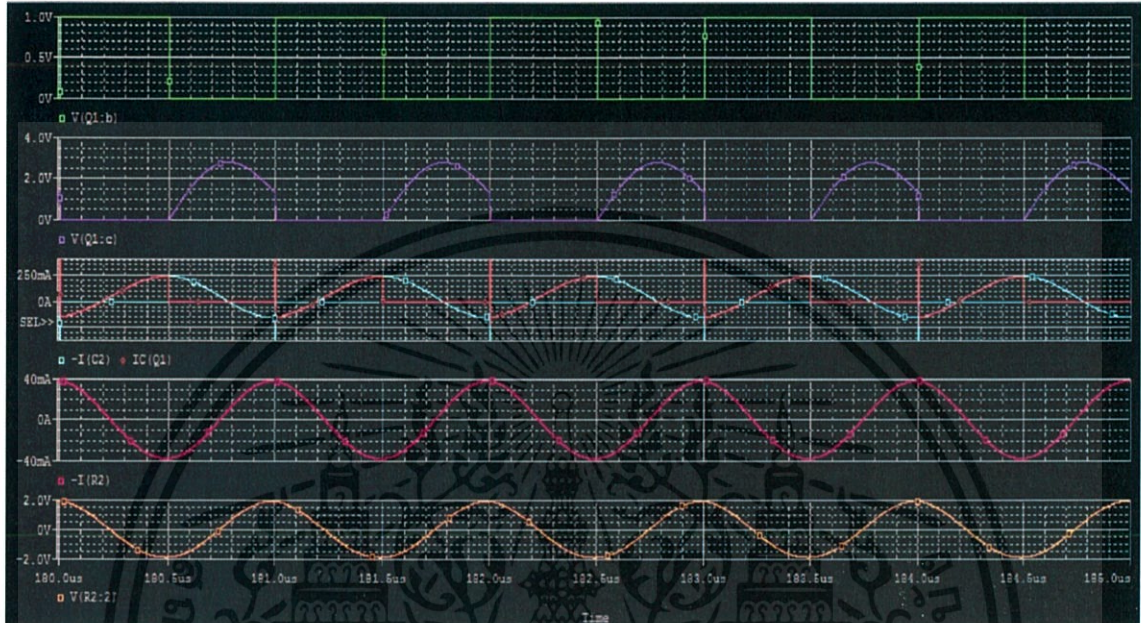


รูปที่4.1.3 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ100mW 10kohm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

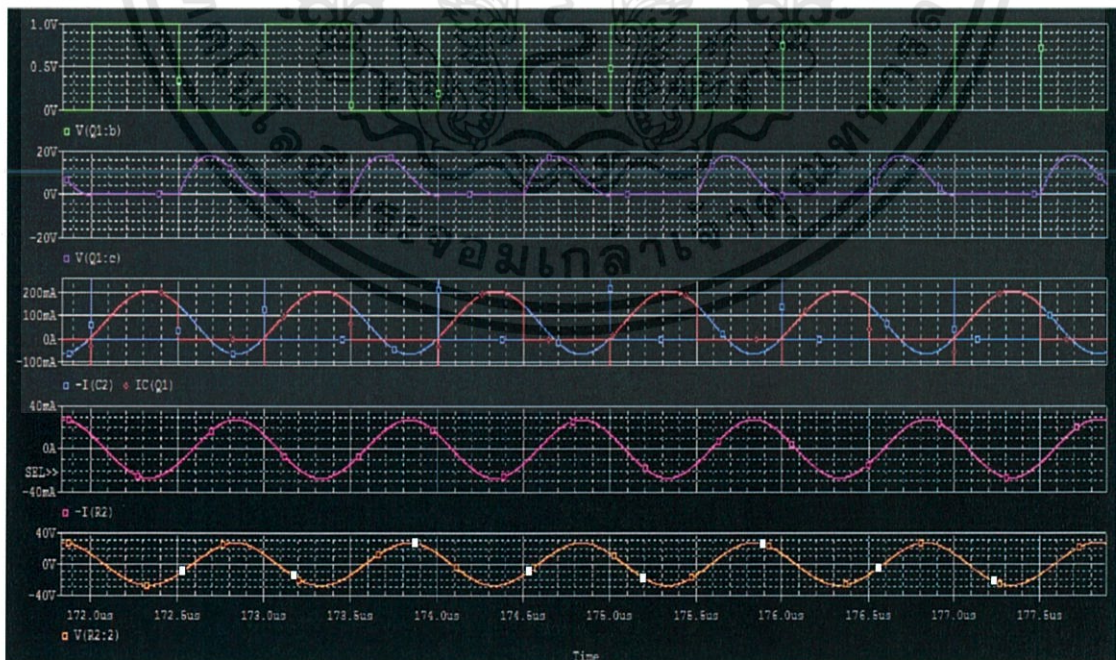
4.2 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ300mW

$R_L = 50 \text{ ohm}$



รูปที่4.2.1 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ300mW $R_L=50 \text{ ohm}$

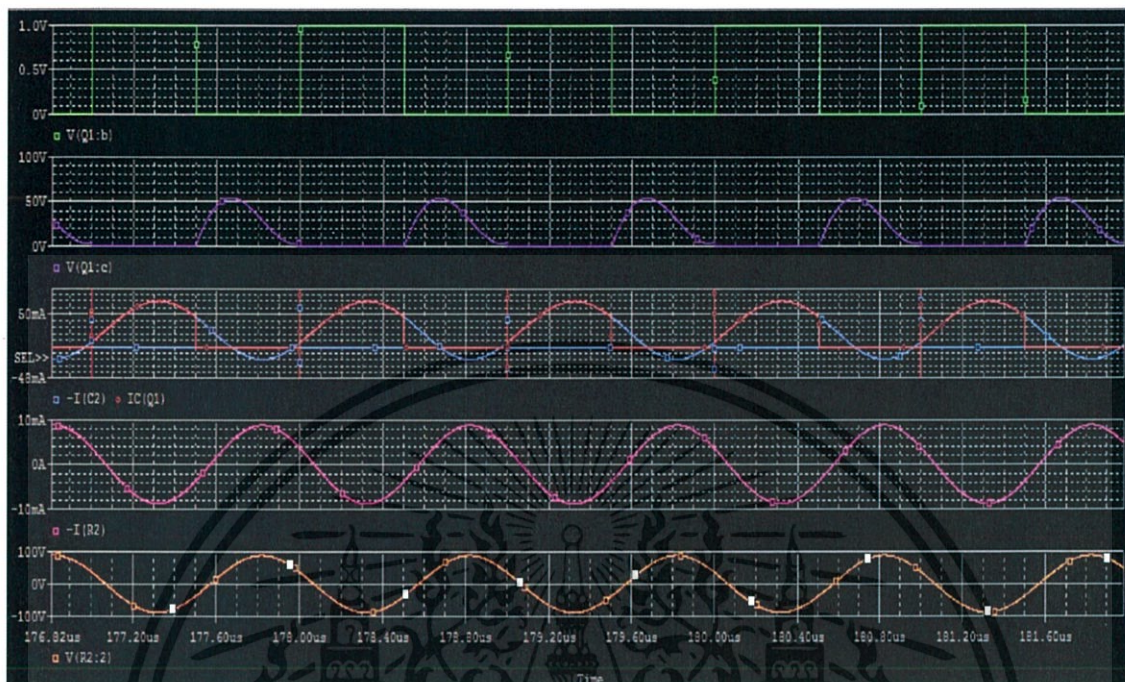
$R_L = 1k \text{ ohm}$



รูปที่4.2.2 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ300mW $R_L=1k \text{ ohm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

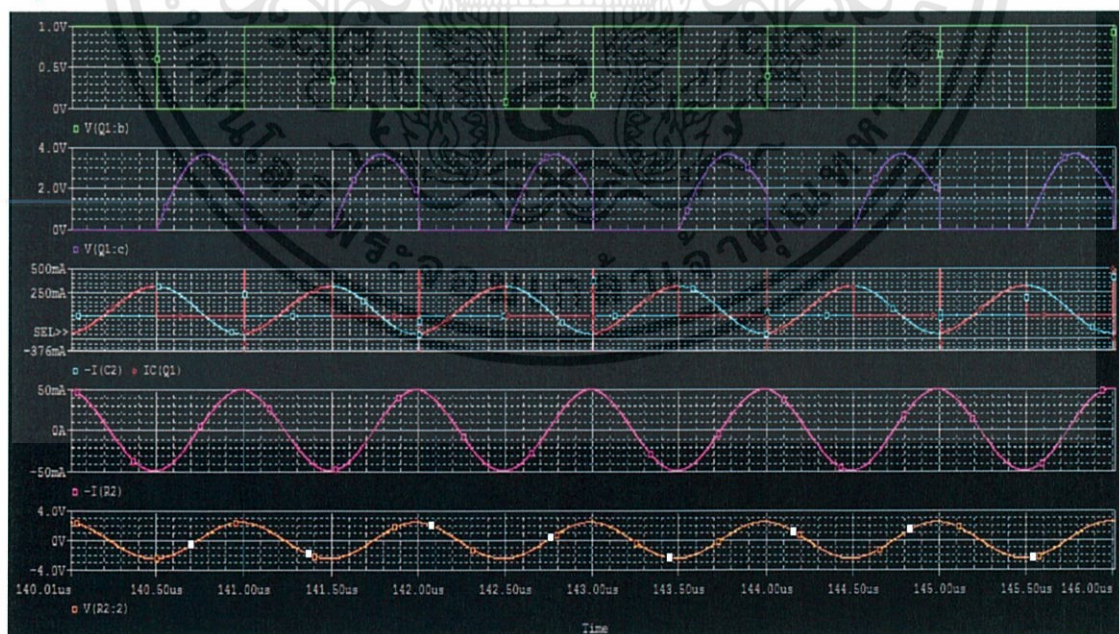
$R_L = 10k\ \text{ohm}$



รูปที่4.2.3 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ300mW $R_L=10k\ \text{ohm}$

4.3 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ500mW

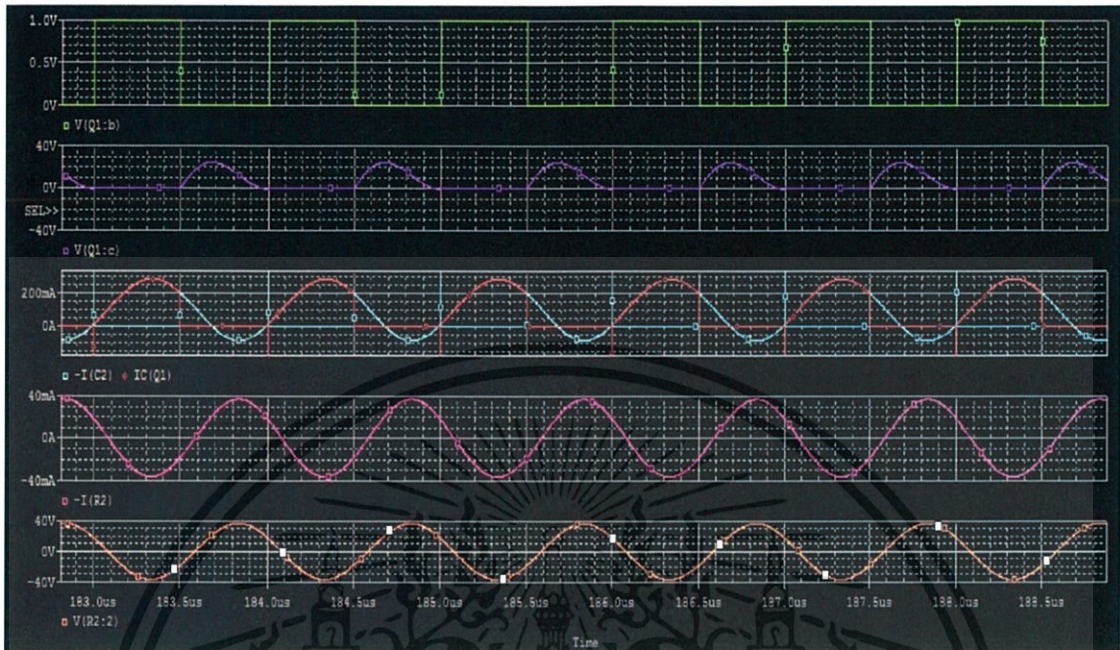
$R_L = 50\ \text{ohm}$



รูปที่4.3.1 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ500mW $R_L=50\ \text{ohm}$

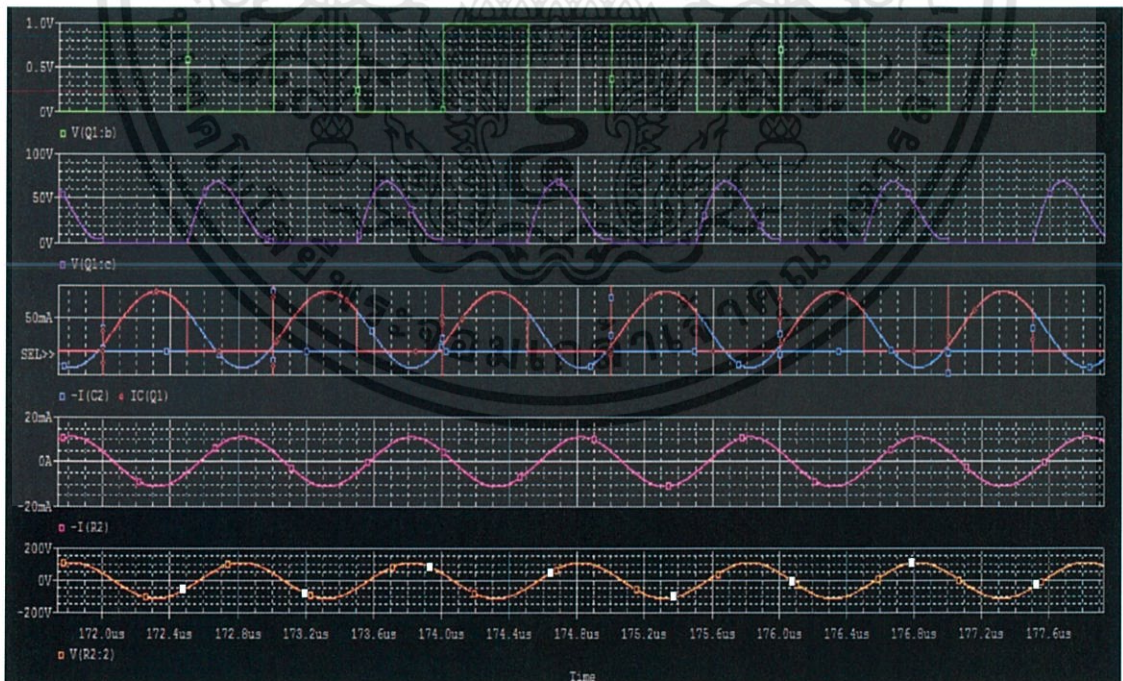
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$R_L = 1k\ \text{ohm}$



รูปที่4.3.2 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ500mW $R_L=1k\ \text{ohm}$

$R_L = 10k\ \text{ohm}$



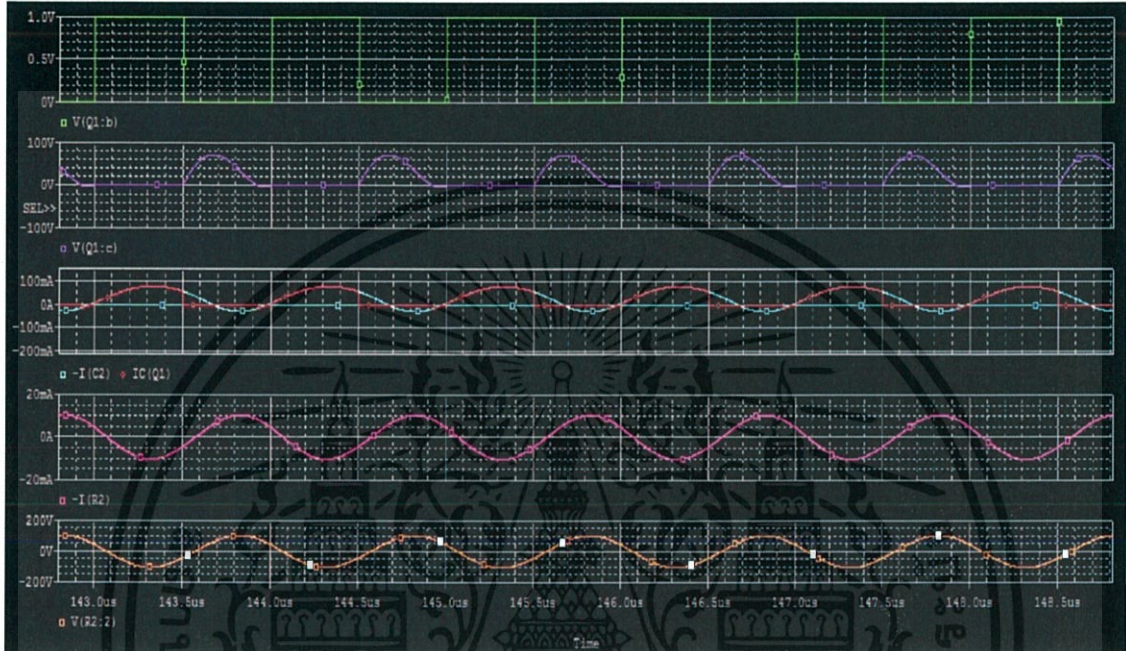
รูปที่4.3.3 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่ไหลเท่ากับ500mW $R_L=10k\ \text{ohm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่โหลดเท่ากับ500mW

กรณีกำหนดค่า $Q = 10$

$R_L = 10k \text{ ohm}$



รูปที่ 4.4.1 รูปแบบของแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆเมื่อพลังงานที่โหลดเท่ากับ500mW $R_L=10k\text{ohm}$ กำหนด $Q=10$

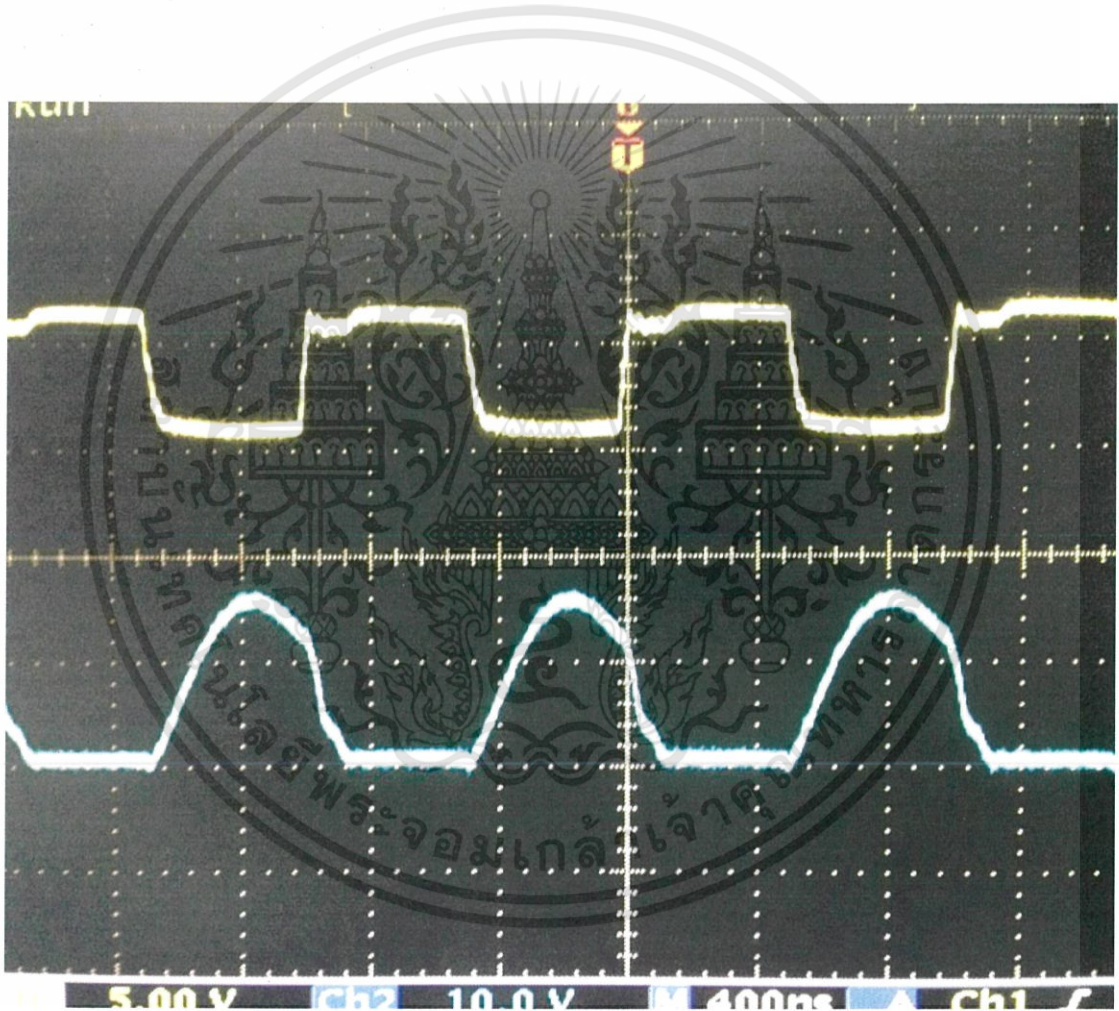
จะเห็นว่ากราฟแรก(กราฟบนสุด)ของแต่ละรูปคือ รูปแบบของแรงดัน Input เทียบกับเวลา โดยมีกราฟที่ 2 เป็นกราฟของแรงดันที่สวิทช์เทียบกับเวลา กราฟที่3 คือ กราฟของกระแสที่ผ่าน C_p (สีฟ้า) และ C_s (สีแดง)เทียบกับเวลา กราฟที่ 4 คือกระแสที่ไหลผ่าน R_L เทียบกับเวลาและกราฟสุดท้ายเป็นกราฟของแรงดันที่ตกคร่อม R_L เทียบกับเวลา

จากการจำลองการทำงานของวงจรขยายกำลังคลาส E พบว่ารูปแบบของแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆเป็นไปตามทฤษฎี และจากกรณีที่แย่ที่สุด(รูปที่ 4.4.1) แรงดันที่สวิทช์ที่ค่าเท่ากับ 70 V และกระแสที่ไหลผ่าน C_p , C_s มีค่ากระแสสูงสุดที่ 100mA ทำให้ในการเลือก MOSFET มาเป็นสวิทช์นั้นต้องเลือก MOSFET ที่สามารถทนแรงดันมากกว่า 70V และสามารถจ่ายกระแสมากกว่า 100mA ได้

จากกรณีที่แย่ที่สุดจะได้ค่าของตัวแปรต่างๆตามตาราง3.3ทำเป็นอุปกรณ์ต้นแบบและนำไปวัดค่าแรงดันสวิทช์และแรงดันที่ตกคร่อมRLโดยได้เพิ่มระยะทางระหว่างขดลวด2ชุดเพื่อผลที่เกิดขึ้น

โดยการทดลองนี้ใช้ Function generator เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน Input 5 Vpp ความถี่1MHz มีค่า Duty cycle = 50% และตัวกลางระหว่างขดลวดคืออากาศได้รูปแบบแรงดันตามจุดต่างๆดังนี้

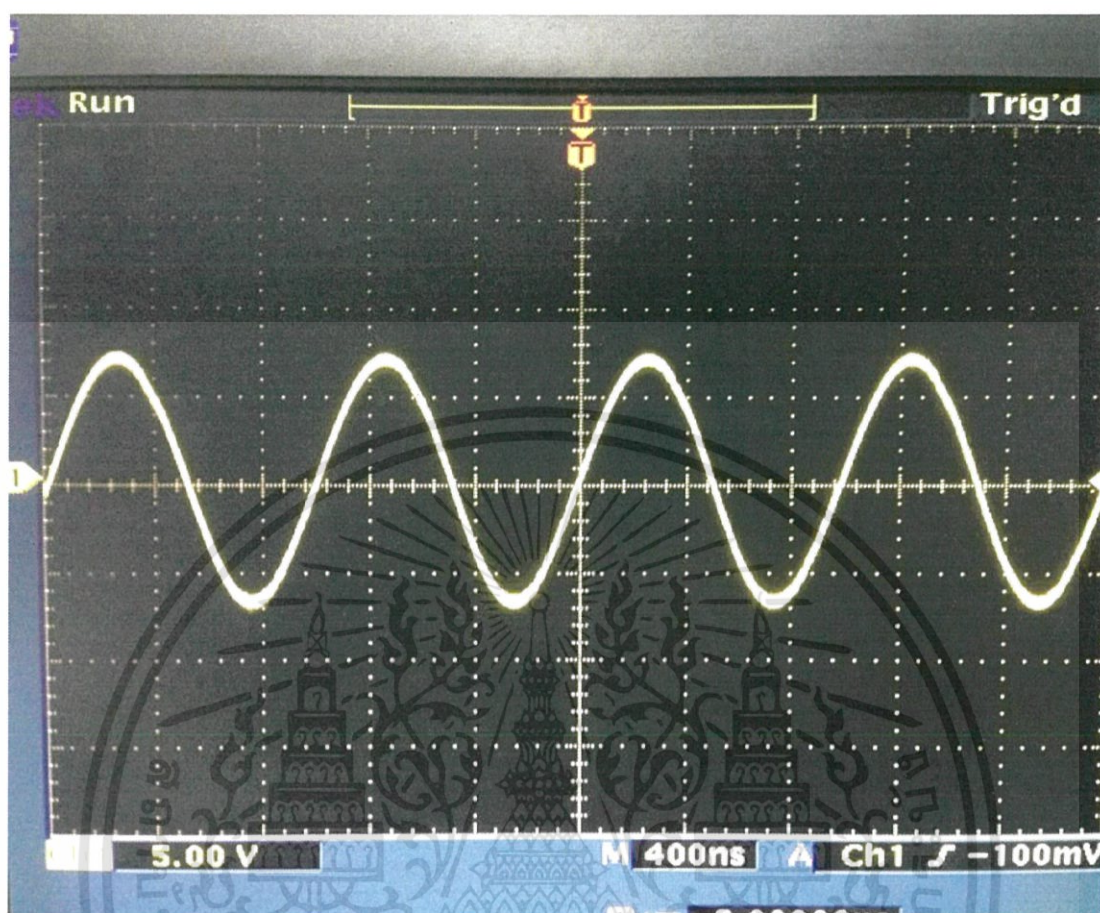
4.5 รูปแบบสัญญาณของแรงดันเมื่อใช้ function generator ป้อนสัญญาณ



รูปที่4.5.1 รูปแบบของแรงดันของอุปกรณ์ต้นแบบ

จากรูปที่ 4.5.1 สามารถวัดขนาดของแรงดัน Input (สีเหลือง)ได้ 5.3 Vpp ความถี่ 1.009 MHzและขนาดของแรงดันที่สวิทช์(สีฟ้า)เท่ากับ 15 Vpp ความถี่ 1.008 MHz

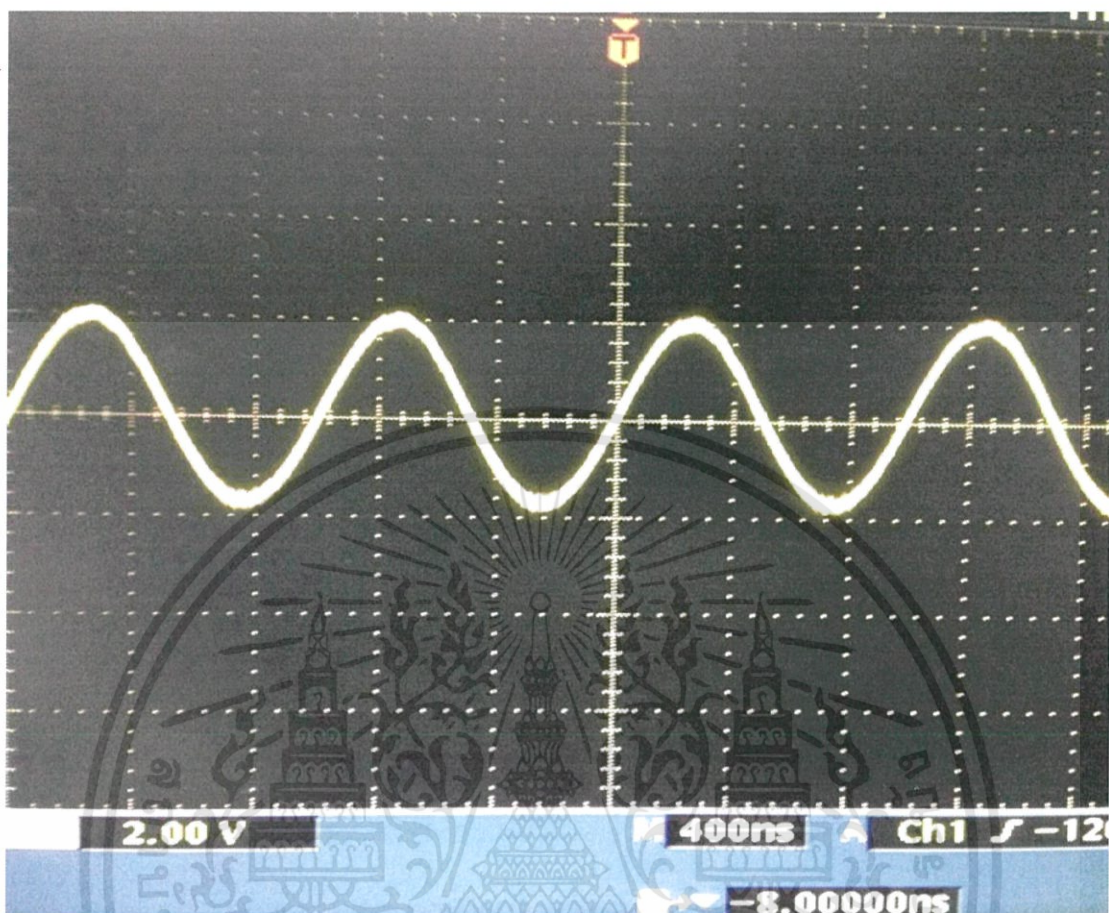
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.5.2 รูปแบบของแรงดันที่ตกคร่อม RL เมื่อขดลวดอยู่ติดกัน

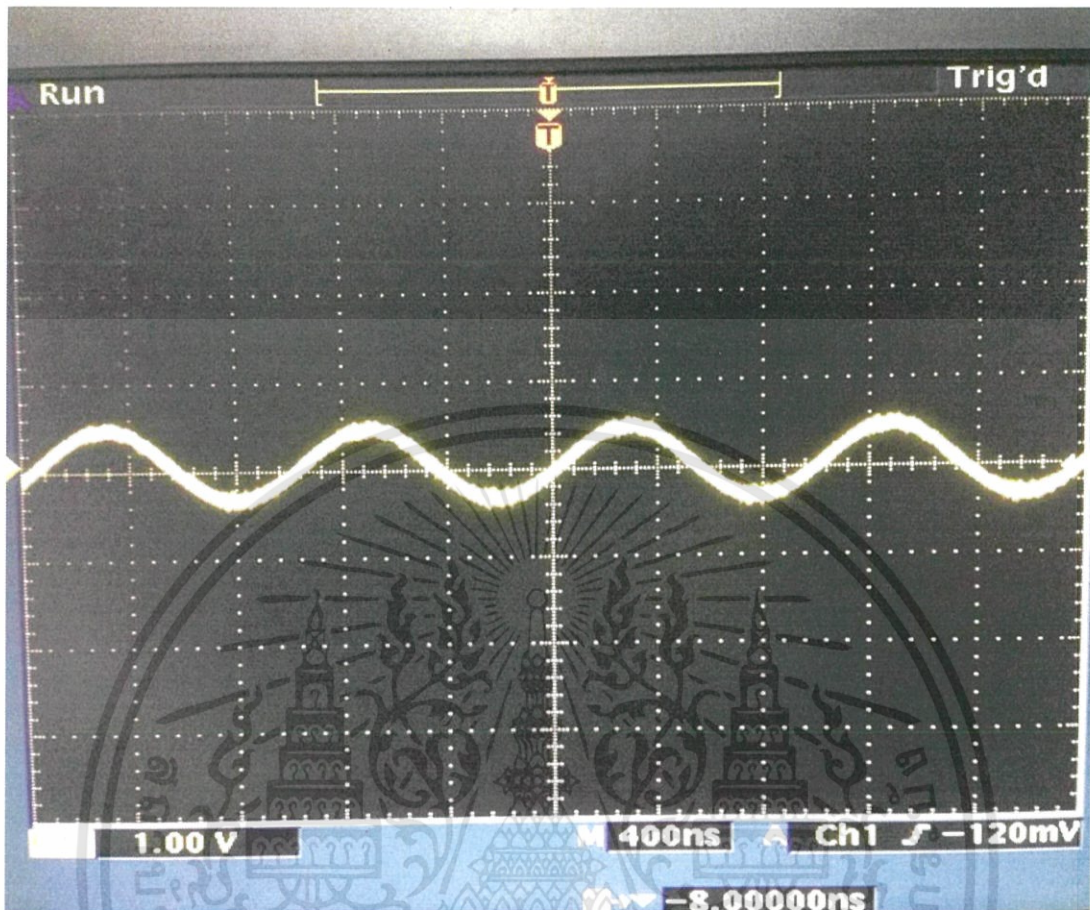
จากรูปที่4.5.2 สามารถวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อม RL เมื่อขดลวดทั้ง2ฝั่งอยู่ติดกันได้เท่ากับ 14Vppและมีความถี่ 1.013 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.3 รูปแบบของแรงดันที่ตกคร่อม RL เมื่อขดลวดอยู่ห่างกันเป็นระยะ 5 cm
 จากรูปที่ 4.5.3 สามารถวัดแรงดันที่ตกคร่อม RL เมื่อขดลวดอยู่ห่างกันเป็นระยะ 5 cm ได้
 เท่ากับ 3.56 Vpp และมีความถี่ 1.007 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



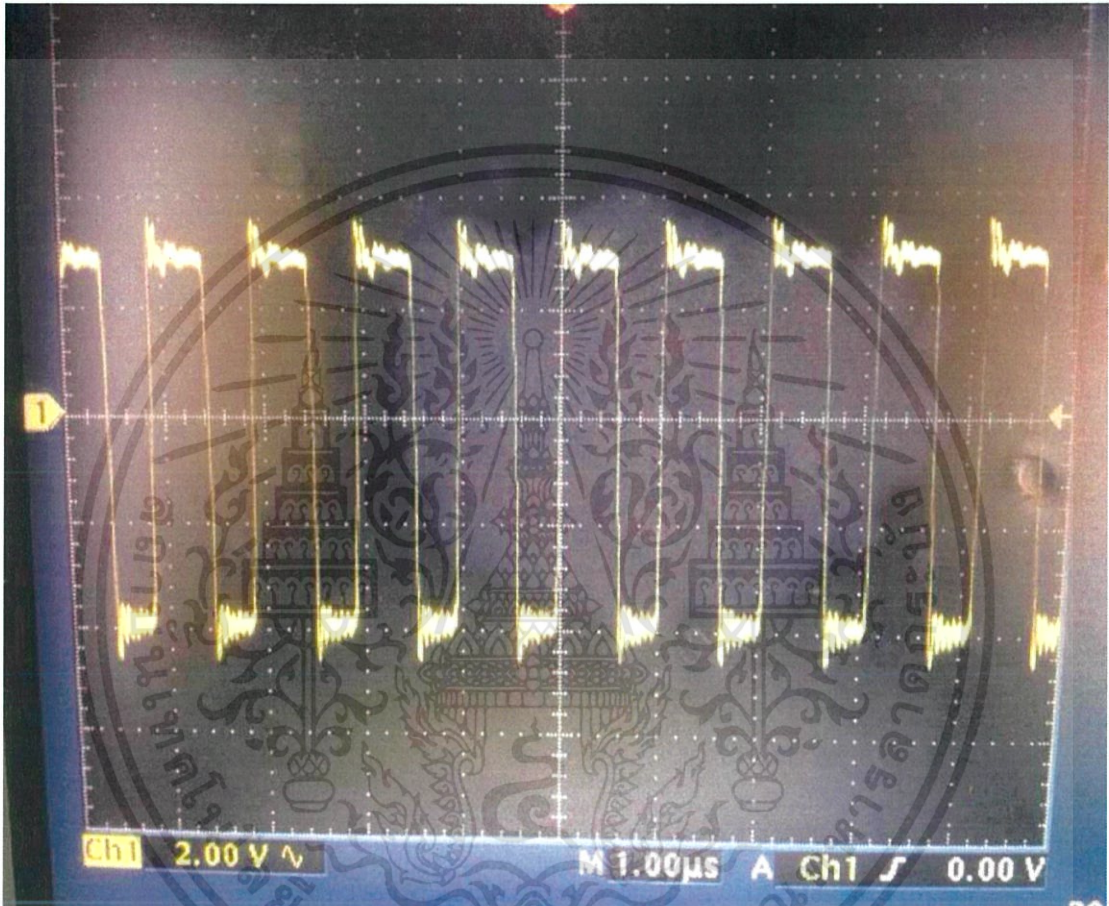
รูปที่ 4.5.3 รูปแบบของแรงดันที่ตกคร่อม RL เมื่อขดลวดอยู่ห่างกันเป็นระยะ 10 cm

จากรูปที่ 4.5.3 สามารถวัดแรงดันที่ตกคร่อม RL เมื่อขดลวดอยู่ห่างกันเป็นระยะ 10 cm ได้เท่ากับ 1 Vpp และมีความถี่ 1.005 MHz

จากรูปที่ 4.5.1 แรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์นั้นเป็นไปตามทฤษฎีของวงจรรขยายกำลังคลาส E และอุปกรณ์ต้นแบบสามารถส่งผ่านพลังงานมาถึงฟังทุติยภูมิได้แต่เมื่อระยะระหว่างขดลวดเพิ่มขึ้น แรงดันที่ตกคร่อม RL จะมีค่าลดลงแต่ยังคงได้ความถี่เท่ากับที่ 1MHz

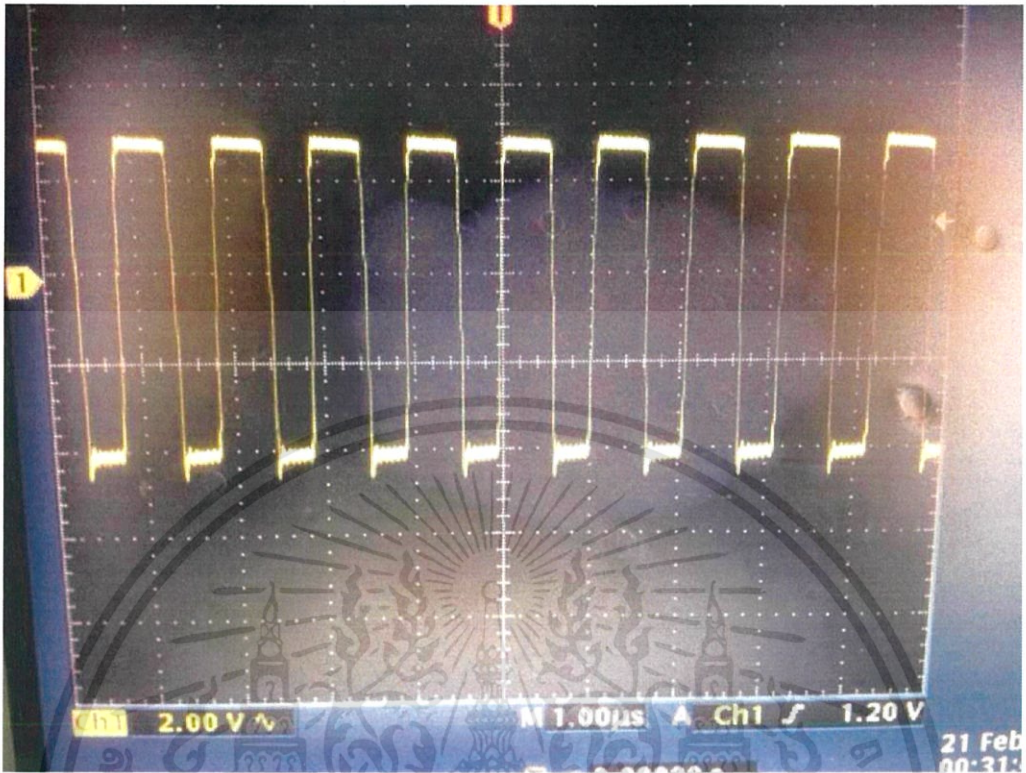
4.6 รูปแบบของแรงดันเมื่อใช้วงจร timer ป้อนสัญญาณให้วงจรขยายกำลังคลาส E

ในกรณีที่ใช้วงจร timer ป้อนสัญญาณให้วงจรขยายกำลังได้ลดค่าของขดลวดฝั่งทุติยภูมิลง เป็นครึ่งหนึ่งของฝั่งปฐมภูมิ และนำสัญญาณที่ได้จากวงจร timer ไปเข้าวงจร Drive mosfet ก่อนที่จะนำไปป้อนให้กับวงจรขยายกำลัง

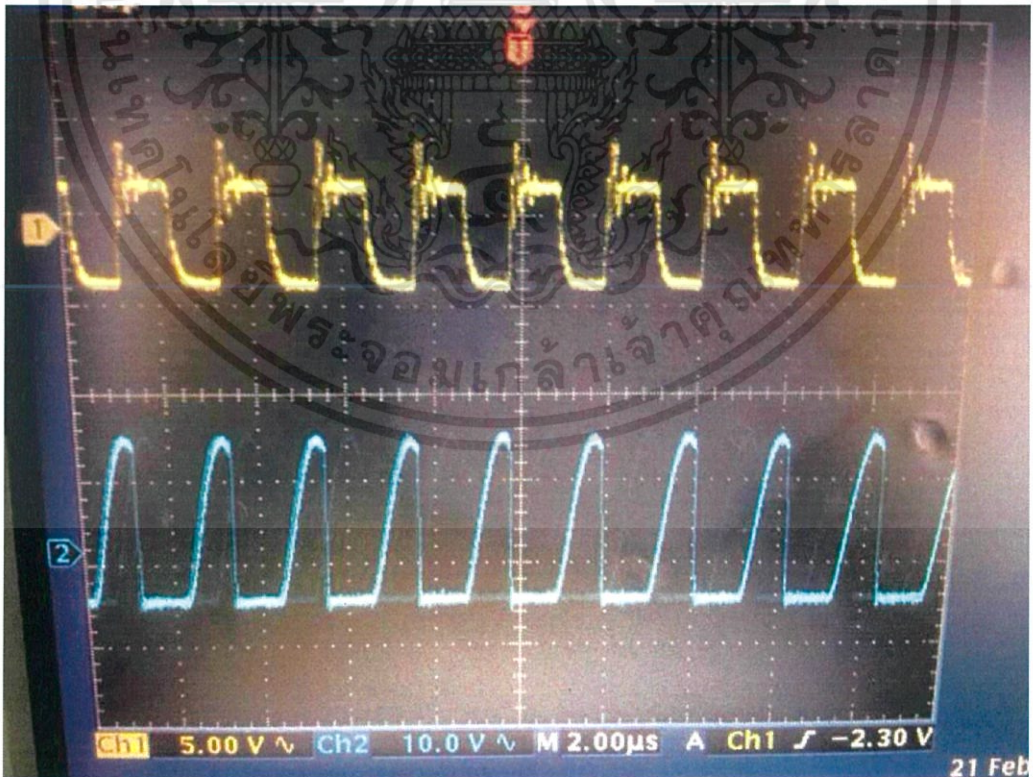


รูปที่ 4.6.1 รูปสัญญาณ Output ของวงจร timer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



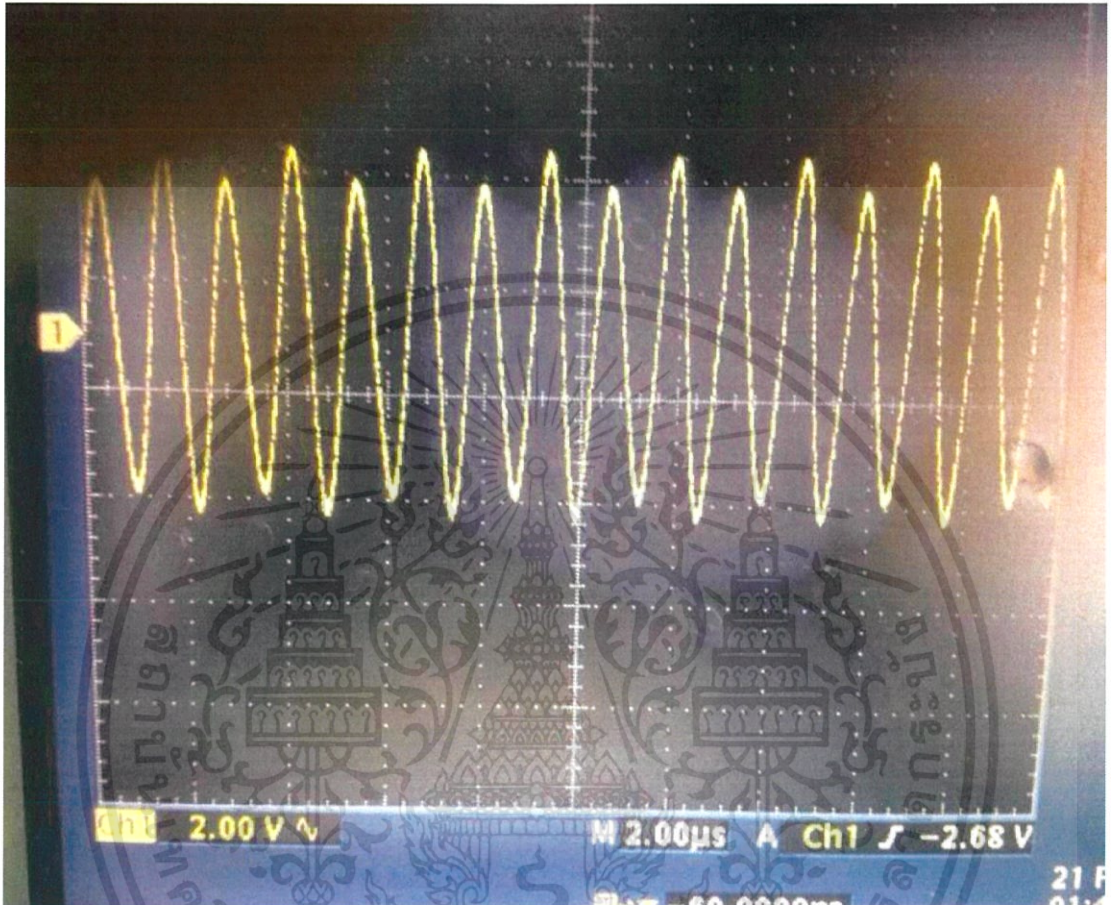
รูปที่ 4.6.2 สัญญาณ output ของวงจร drive mosfet



รูปที่ 4.6.3 สัญญาณของวงจรขยายกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในรูปที่ 4.6.3 แสดงถึงสัญญาณInput ของวงจรขยายกำลัง(สี่เหลี่ยม)และแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ (สีฟ้า)

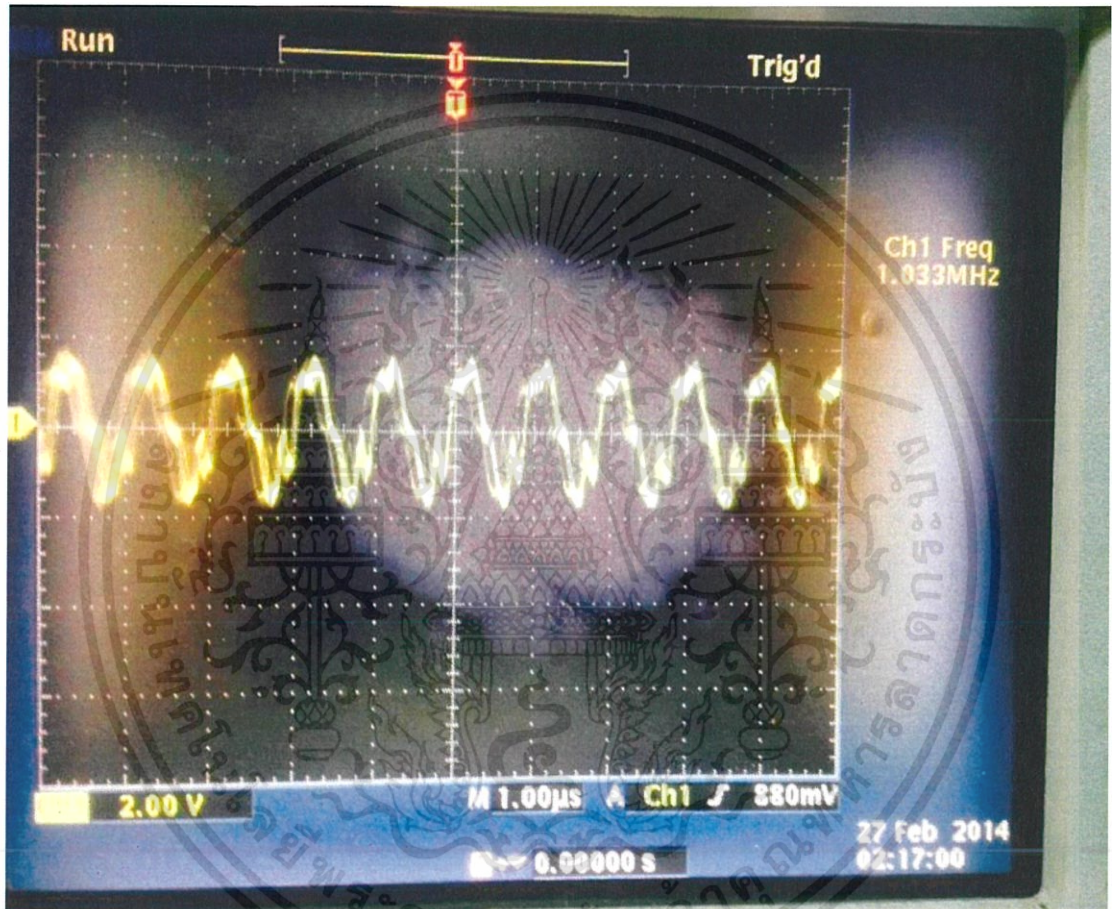


รูปที่ 4.6.6 สัญญาณของแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมโหลดฝั่งทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

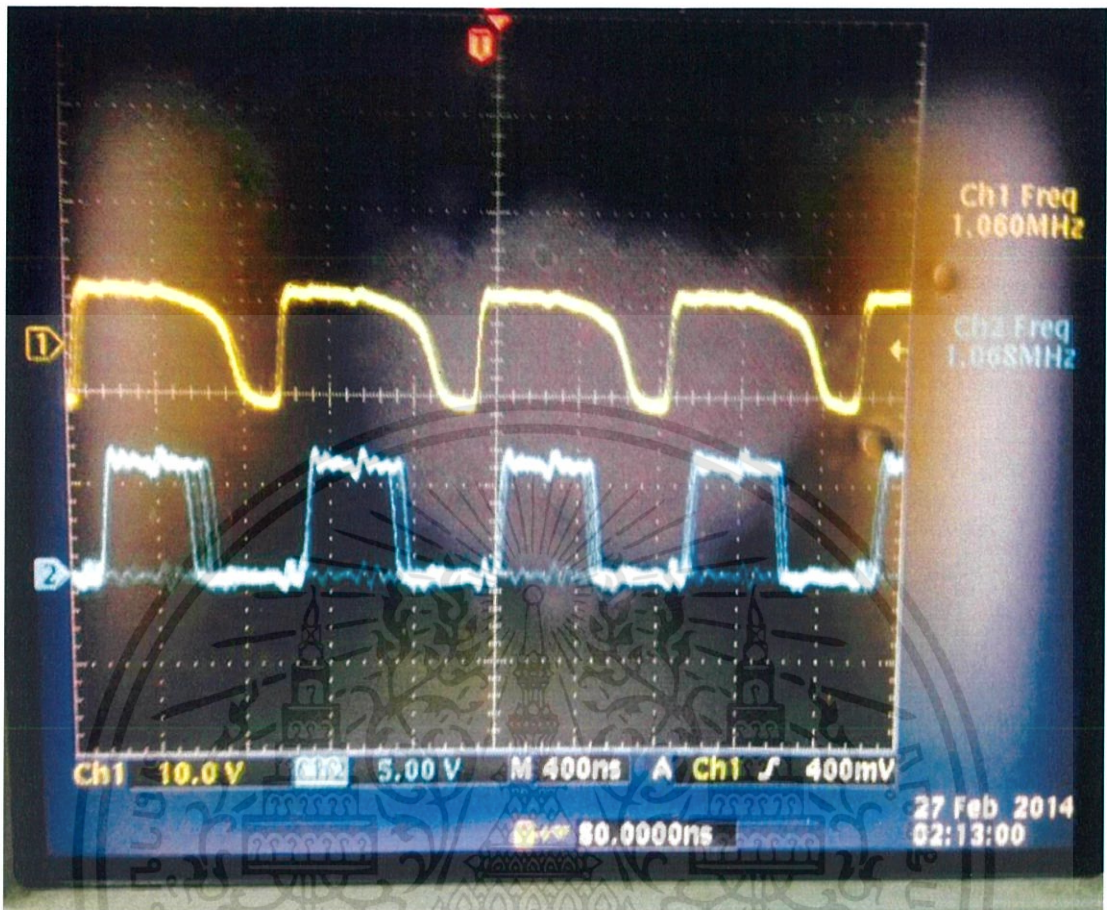
4.7 รูปแบบของแรงดันเมื่อใช้วงจร timer โดยมี control loop ป้อนสัญญาณให้ วงจรขยายกำลังคลาส E

ในกรณีนี้จะใช้สัญญาณจาก current transformer ไปป้อนให้ comparator เพื่อสร้าง สัญญาณ trigger ควบคุมวงจร timer แบบ monostable และนำสัญญาณของ วงจร timer แบบ astable และ monostable ไปผ่านสวิตช์เพื่อไปป้อนให้วงจรขยายกำลังคลาส E



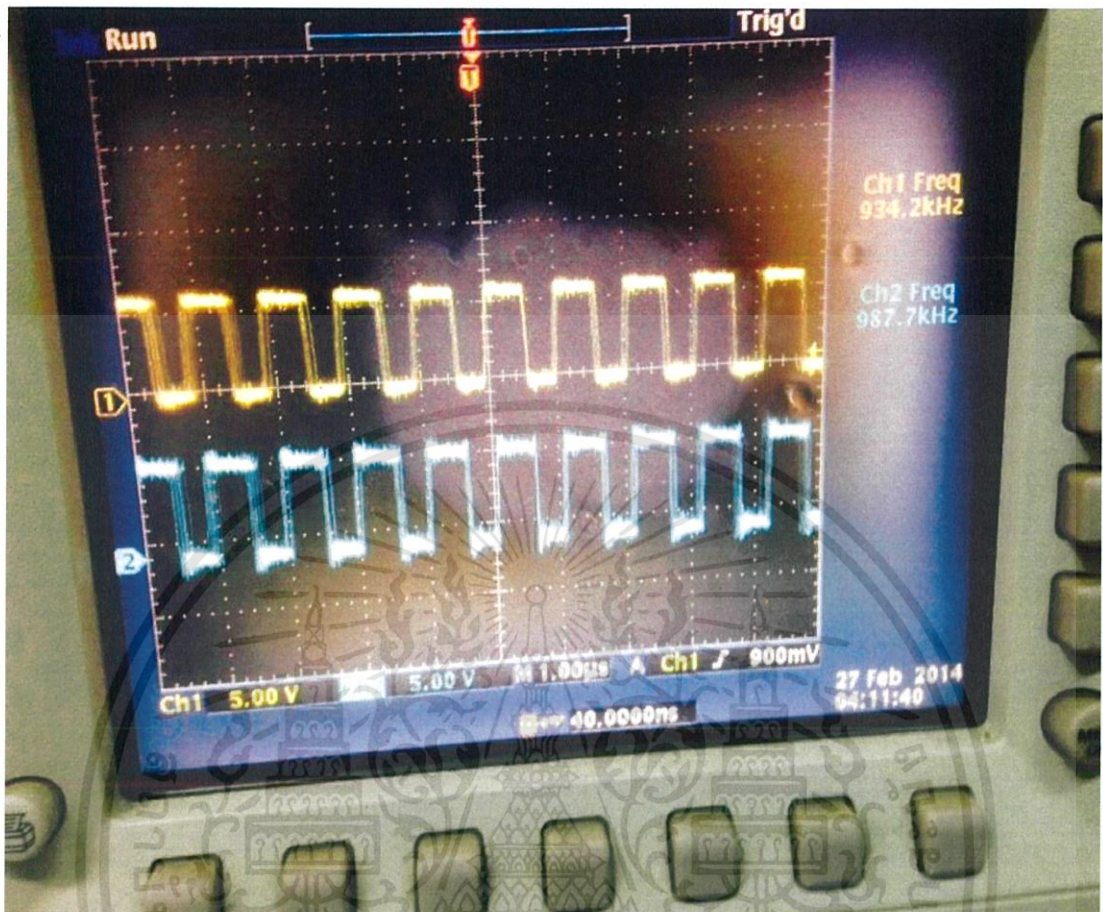
รูปที่ 4.7.1 สัญญาณของแรงดันจาก current transformer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



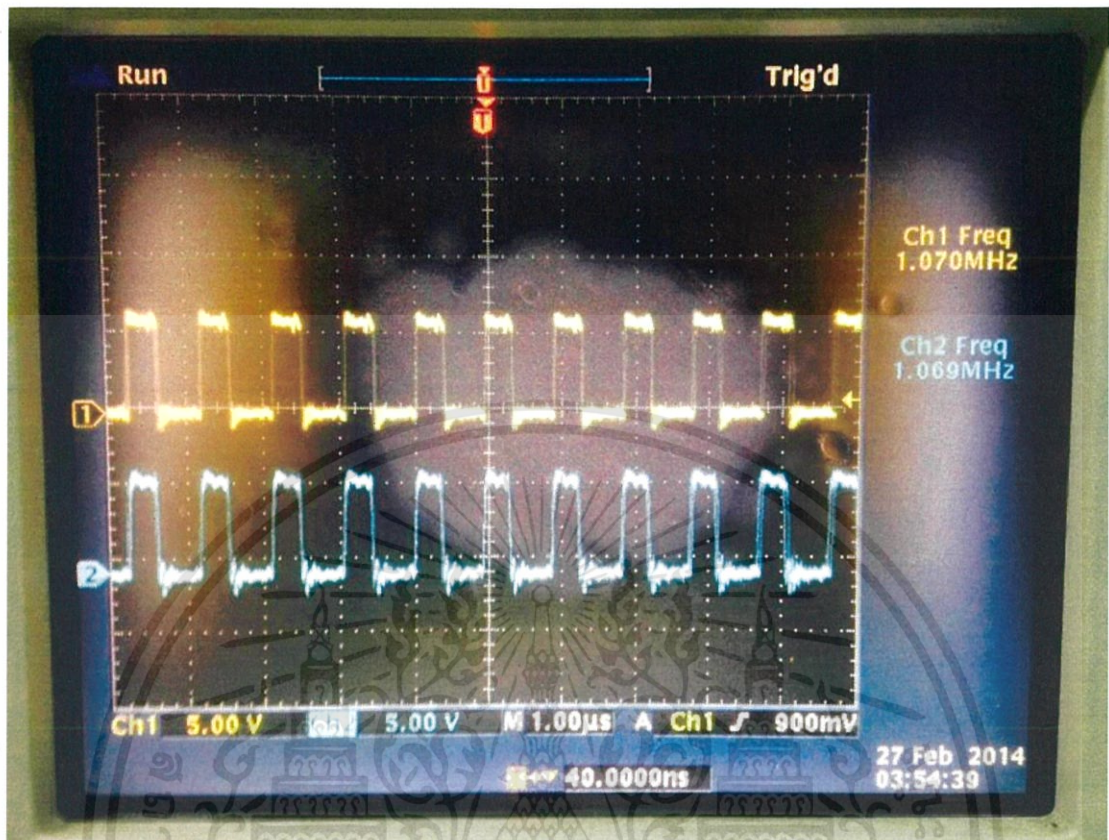
รูปที่ 4.7.2 สัญญาณแรงดันจากcomparatorเปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตวงจร timer แบบ monostable

สัญญาณจาก comparator(สี่เหลี่ยม) โดยที่นำสัญญาณนี้ไปเป็นสัญญาณ tigger ควบคุมการทำงานของวงจร timer แบบ monostable โดยได้สัญญาณ(สี่ฟ้า)ตามรูปที่ 4.7.2



รูปที่ 4.7.3 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของวงจร timer แบบ astableเปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของสวิตช์

โดยจากรูปที่ 4.7.3 แสดงถึงสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร timer แบบ astable(สีเหลือง) เปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของสวิตช์(สีฟ้า) โดยที่ไม่มีสัญญาณเอาต์พุตจากวงจร timer แบบ monostableจะเห็นว่าสัญญาณจากเอาต์พุตของสวิตช์ก็คือสัญญาณจากวงจร timer แบบ astable นั้นเอง



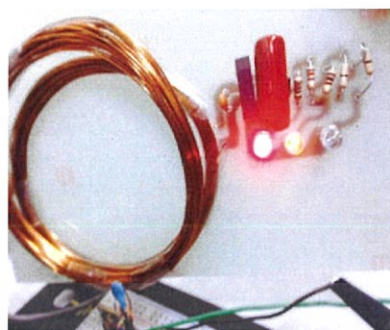
ที่ 4.7.4 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของวงจร timer แบบ monostableเปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของ สวิตช์

โดยจากรูปที่ 4.7.4 แสดงถึงสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร timer แบบ monostable(สี่เหลี่ยม) เปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของสวิตช์(สี่เหลี่ยม) โดยที่ยังมีสัญญาณเอาต์พุตจากวงจร timer แบบ astableอยู่จะเห็นว่าสัญญาณจากเอาต์พุตของสวิตช์ก็คือสัญญาณจากวงจร timer แบบ monostable นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 4.7.5 (a)รูปวงจรรักษาและภาคส่งที่มีระยะห่างของขดลวด5ซม(b)รูปวงจรรักษาและภาคส่งเมื่อขดลวดอยู่ชิดกัน

จากรูป 4.7.5 จะเห็นว่ารูป(a) จำนวนของหลอด LED ที่ติดนั้นน้อยกว่ารูป (b)ที่ระยะของขดลวดนั้นอยู่ใกล้กันมากกว่า

บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงผลการจำลองการทำงานของวงจรรขยายกำลังคลาส E โดยใช้โปรแกรม Pspice เพื่อดูลักษณะสัญญาณที่เกิดขึ้นตามจุดต่างๆโดยที่ใช้ค่าอุปกรณ์ที่คำนวณไว้ในบทที่3 ได้สัญญาณตามจุด ต่างๆเป็นไปตามทฤษฎีทุกกรณี

เมื่อได้ทดลองต่อวงจรรขยายกำลัง แรงดันที่ตกคร่อมโหลดมีขนาดลดลงเรื่อยๆตามระยะห่างของขดลวดและเมื่อใช้วงจร timer ป้อนสัญญาณให้วงจรรขยายกำลังได้ผลเหมือนกับการใช้ function generator ป้อนสัญญาณแต่เมื่อลดขนาดของขดลวดฝั่งทุติยภูมิลงสัญญาณที่ตกคร่อมโหลดก็มีขนาดลดลงด้วย

ในกรณีที่มี control loop วงจรส่วนสวิตช์สามารถสวิตช์ไปมาระหว่างสัญญาณจากวงจร timer ทั้ง 2 แบบโดยเมื่อมีสัญญาณจาก current transformer เป็นสัญญาณควบคุมและวงจรรยัง สามารถส่งสัญญาณไปที่ภาครับทำให้หลอดไฟ LED ติดได้สูงสุด 2 ดวง คือสามารถส่งผ่านพลังงานได้ประมาณ 270 mW

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ

จากการคำนวณค่าตัวแปรต่างแล้วนำไปทำการจำลองการทำงานผ่านโปรแกรม Pspice สามารถสรุปได้เป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 เมื่อพลังงานที่ไหลลดเท่ากันแต่ความต้านทานที่ไหลมีค่ามากขึ้น พบว่าค่าของแรงดันที่ไหลจะมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อค่าของความต้านทานที่ไหลมีค่ามากขึ้นและค่าของกระแสที่ไหลมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าของความต้านทานที่ไหลมีค่ามากขึ้น และ ค่าของขดลวดเหนี่ยวนำมีแนวโน้มมากขึ้นในขณะที่ค่าของตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรมและที่ต่อขนานกับมอสเฟตมีแนวโน้มลดลงในขณะที่ค่าไฟเลี้ยงของวงจรมีค่าเพิ่มขึ้นโดยแรงดันที่ตกคร่อมมอสเฟตมีค่าเพิ่มขึ้น

กรณีที่ 2 เมื่อความต้านทานที่ไหลลดเท่ากันแต่พลังงานที่ไหลมีค่าเพิ่มขึ้น พบว่าค่าของแรงดันที่ไหลและกระแสที่ไหลมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่จุดต่าง ๆ นั้นมีค่าเท่าเดิมเมื่อพลังงานเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าของไฟเลี้ยงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและแรงดันตกคร่อมมอสเฟตมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

ในวงจรขยายกำลังคลาส E ที่ได้ทำการจำลองการทำงานผ่านโปรแกรม Pspice ออกมาแล้วได้รูปแบบของแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆเป็นไปตามที่ทฤษฎีกำหนด วงจรสามารถทำงานได้ที่ความถี่ที่กำหนดและได้ค่าพลังงานที่ไหลตามที่ต้องการ

ในการวัดสัญญาณของวงจรต้นแบบพบว่าเมื่อแรงดันเกิดขึ้นที่โหลดฝั่งทุติยภูมิแต่เมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดทั้งสองฝั่งเพิ่มมากขึ้นแรงดันที่ไหลก็มีค่าน้อยลงด้วยและเมื่อวัดค่าสัญญาณตามจุดต่างๆของอุปกรณ์ต้นแบบฝั่งปฐมภูมิพบว่ารูปแบบของแรงดันที่สวิทช์นั้นเป็นไปตามทฤษฎีเมื่อเทียบกับสัญญาณอินพุทหลังจากใช้วงจร timer บ้อนสัญญาณให้กับวงจรขยายกำลังคลาส E และลดค่าของขดลวดฝั่งทุติยภูมิลง สัญญาณตามจุดต่างๆของวงจรขยายกำลังคลาส E เมื่อเทียบกับสัญญาณอินพุทยังเป็นไปตามทฤษฎี แต่ขนาดของแรงดันสูงสุดที่เกิดขึ้นที่โหลดนั้นมีขนาดลดลง

เมื่อมี control loop วงจรสามารถสวิตช์ได้ตามสัญญาณจาก current transformer และวงจรสามารถส่งพลังงานไปยังภาครับได้ประมาณ 270mW

บรรณานุกรม

- [1] เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (ม.ป.ป.) เข้าถึงได้จาก:
<http://www.songwoot.utc.ac.th/3128-1001/unit13.htm> (วันที่ค้นข้อมูล
 12 มิถุนายน 2556)
- [2] วงจรขยายกำลัง. (ม.ป.ป.) เข้าถึงได้จาก: <http://www.elec-cm.com>
- [3] Marian K. Kazimierczuk. (2008). *RF Power Amplifiers*. Ohio. John Wiley & Sons, Ltd.





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6A, 100V, 0.540 Ohm, N-Channel Power MOSFET

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17441.

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF510	TO-220AB	IRF510

NOTE: When ordering, include the entire part number.

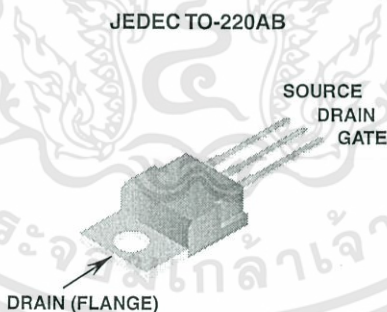
Features

- 5.6A, 100V
- $r_{DS(ON)} = 0.540\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol



Packaging



IRF510

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

	IRF510	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	V_{DS}	100 V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20k\Omega$) (Note 1)	V_{DGR}	100 V
Continuous Drain Current	I_D	5.6 A
$T_C = 100^\circ\text{C}$	I_D	4 A
Pulsed Drain Current (Note 3)	I_{DM}	20 A
Gate to Source Voltage	V_{GS}	± 20 V
Maximum Power Dissipation	P_D	43 W
Linear Derating Factor		0.29 $W/^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	E_{AS}	19 mJ
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-55 to 175 $^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s.	T_L	300 $^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334	T_{pkg}	260 $^\circ\text{C}$

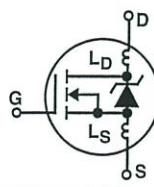
CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- $T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C .

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$, (Figure 10)	100	-	-	V
Gate to Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu A$	2.0	-	4.0	V
Zero-Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 95V, V_{GS} = 0V$	-	-	25	μA
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$	-	-	250	μA
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10V$ (Figure 7)	5.6	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20V$	-	-	± 100	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 3.4A$ (Figures 8, 9)	-	0.4	0.54	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{GS} = 50V, I_D = 3.4A$ (Figure 12)	1.3	2.0	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$I_D \approx 5.6A, R_{GS} = 24\Omega, V_{DD} = 50V, R_L = 9\Omega, V_{DD} = 50V, V_{GS} = 10V$ MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature	-	8	12	ns
Rise Time	t_r		-	25	63	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	15	7	ns
Fall Time	t_f		-	12	59	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_g(TOT)$	$V_{GS} = 10V, I_D = 5.6A, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, I_{G(REF)} = 1.5mA$ (Figure 14)	-	5.0	30	nC
Gate to Source Charge	Q_{gs}	Gate charge is essentially independent of operating temperature.	-	2.0	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	3.0	-	nC
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1.0MHz$ (Figure 11)	-	135	-	pF
Output Capacitance	C_{OSS}		-	80	-	pF
Reverse-Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	20	-	pF
Internal Drain Inductance	L_D	Measured From the Contact Screw On Tab To Center of Die	-	3.5	-	nH
		Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to Center of Die	-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured From The Source Lead, 6mm (0.25in) From Header to Source Bonding Pad	-	7.5	-	nH
Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	3.5	$^\circ\text{C/W}$
Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free air operation	-	-	80	$^\circ\text{C/W}$



IRF510

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	Test Conditions	MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	I_{SD}	Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Diode	-	-	5.6	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	I_{SDM}		-	-	20	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	V_{SD}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13)	-	-	2.5	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	4.6	96	200	ns
Reverse Recovered Charge	Q_{RR}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	0.17	0.4	0.83	μC

NOTES:

2. Pulse test: pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.
3. Repetitive rating: pulse width limited by max junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4. $V_{DD} = 25\text{V}$, start $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 910\mu\text{H}$, $R_G = 25\Omega$, peak $I_{AS} = 5.6\text{A}$.

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

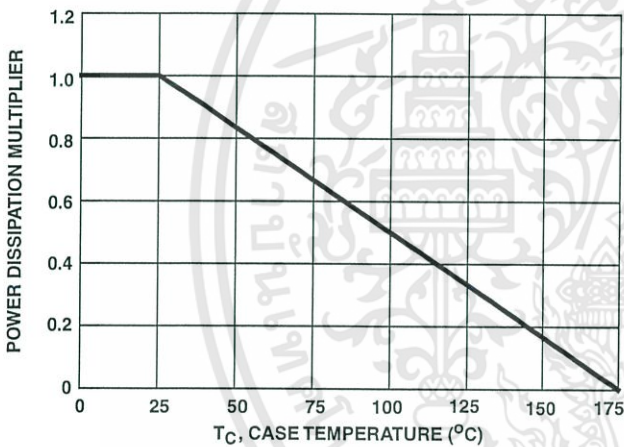


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

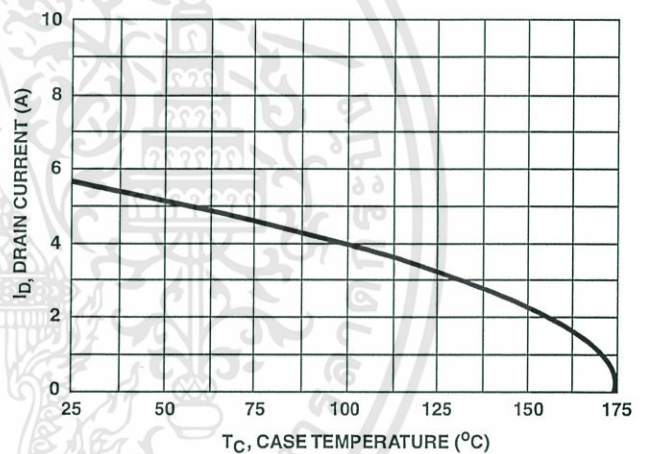


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

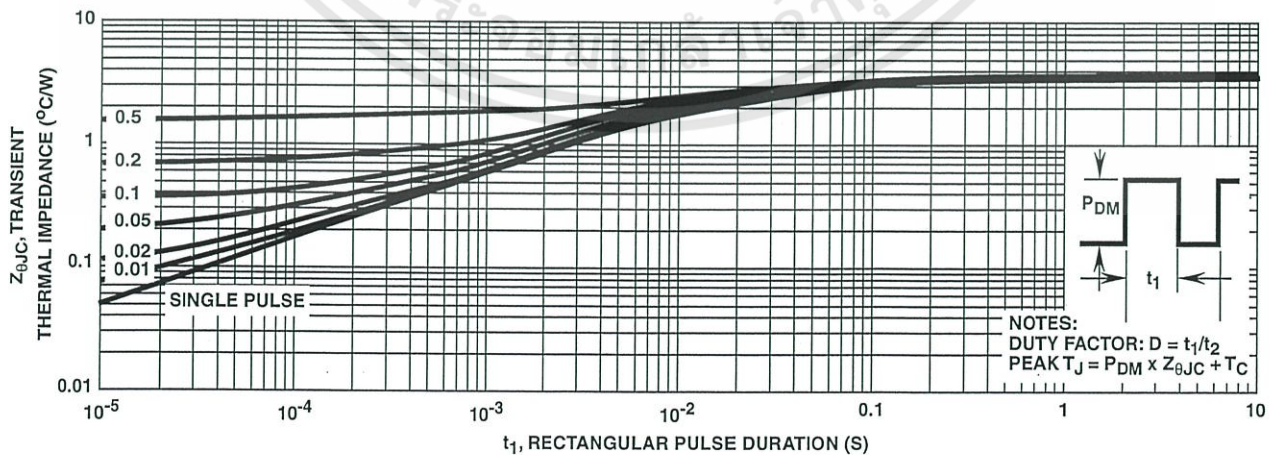


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

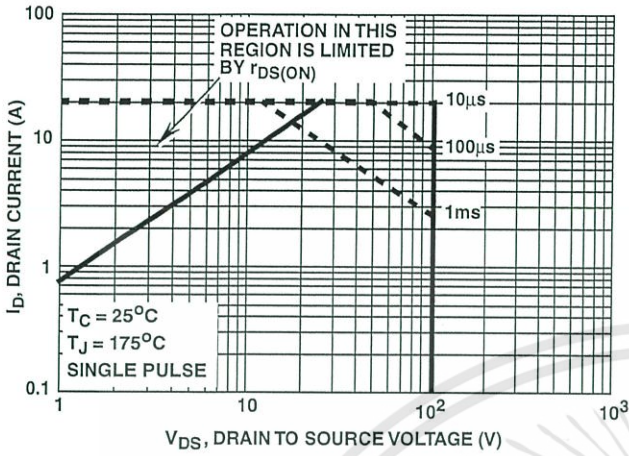


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

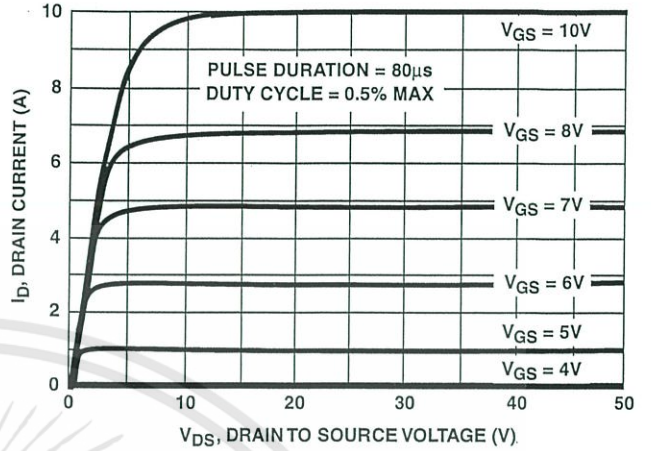


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

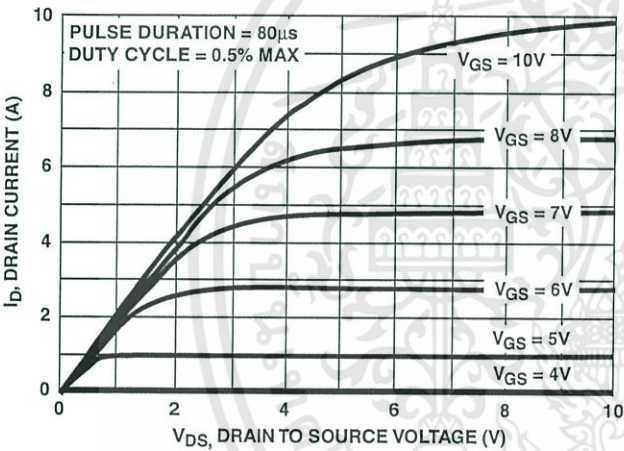


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

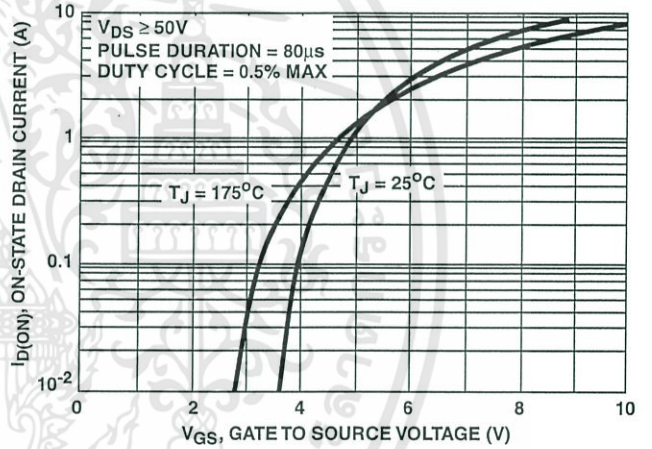


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS

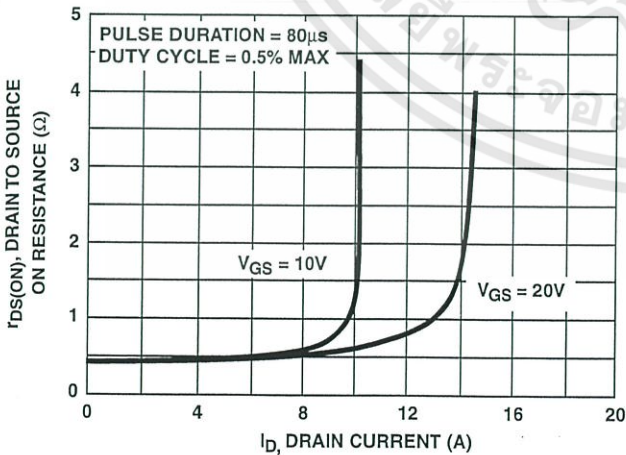


FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

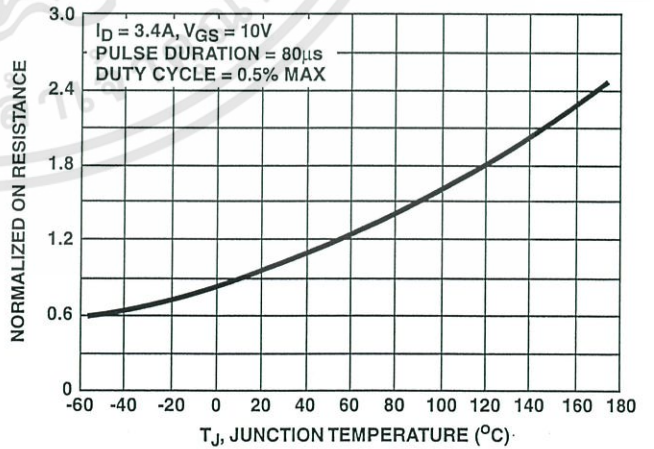


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

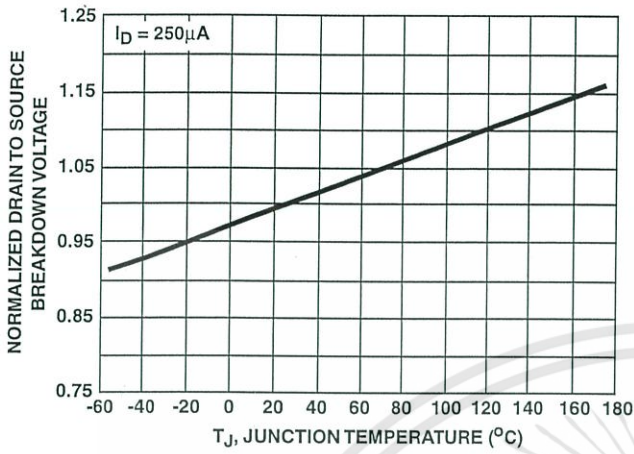


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

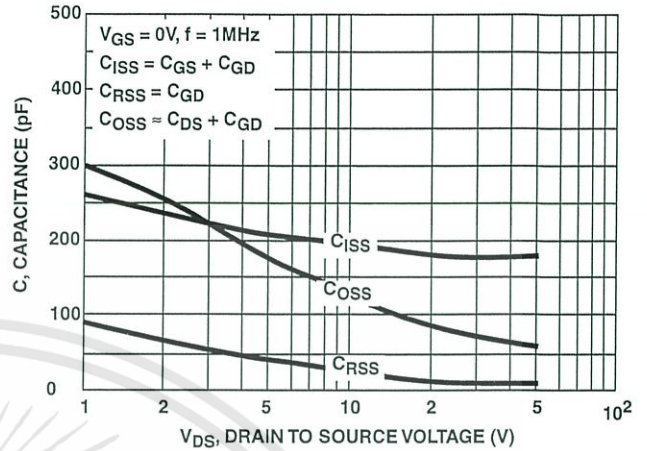


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

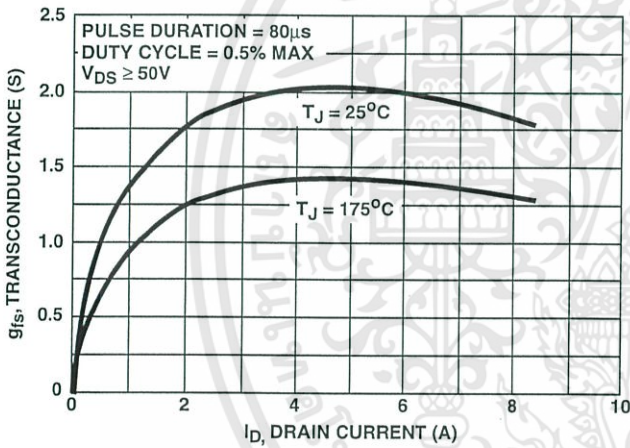


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

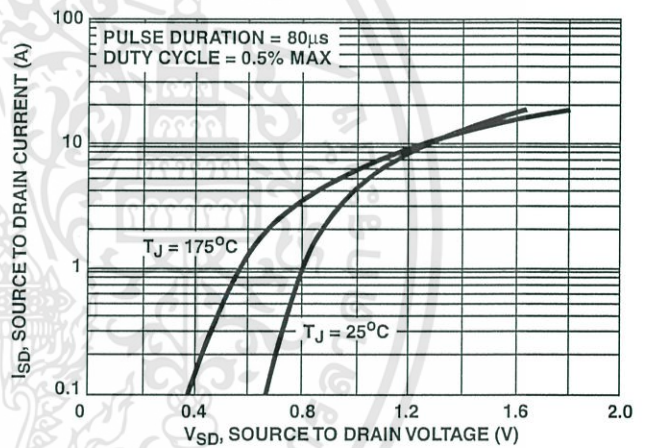


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

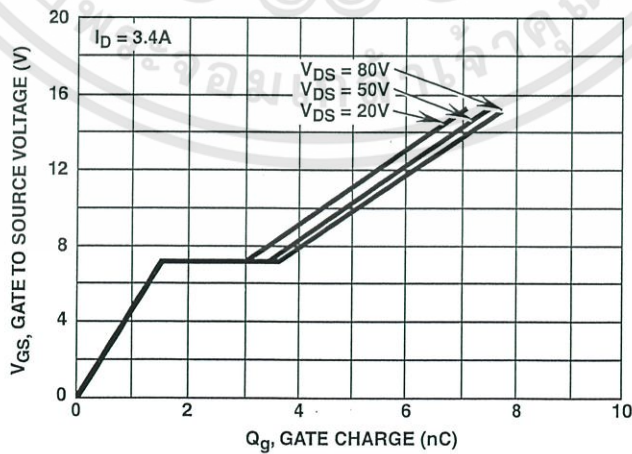


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

ICM7555

General purpose CMOS timer

Rev. 02 — 3 August 2009

Product data sheet

1. General description

The ICM7555 is a CMOS timer providing significantly improved performance over the standard NE/SE555 timer, while at the same time being a direct replacement for those devices in most applications. Improved parameters include low supply current, wide operating supply voltage range, low THRESHOLD, TRIGGER, and RESET currents, no crowbaring of the supply current during output transitions, higher frequency performance and no requirement to decouple CONTROL_VOLTAGE for stable operation.

The ICM7555 is a stable controller capable of producing accurate time delays or frequencies.

In the one-shot mode, the pulse width of each circuit is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free-running frequency and the duty cycle are both accurately controlled by two external resistors and one capacitor. Unlike the NE/SE555 device, the CONTROL_VOLTAGE terminal need not be decoupled with a capacitor. The TRIGGER and RESET inputs are active LOW. The output inverter can source or sink currents large enough to drive TTL loads or provide minimal offsets to drive CMOS loads.

2. Features

- Exact equivalent in most applications for NE/SE555
- Low supply current: 80 μ A (typical)
- Extremely low trigger, threshold, and reset currents: 20 pA (typical)
- High-speed operation: 500 kHz guaranteed
- Wide operating supply voltage range guaranteed 3 V to 16 V over full automotive temperatures
- Normal reset function; no crowbaring of supply during output transition
- Can be used with higher-impedance timing elements than the NE/SE555 for longer time constants
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- High output source/sink driver can drive TTL/CMOS
- Typical temperature stability of 0.005 % / $^{\circ}$ C at 25 $^{\circ}$ C
- Rail-to-rail outputs

3. Applications

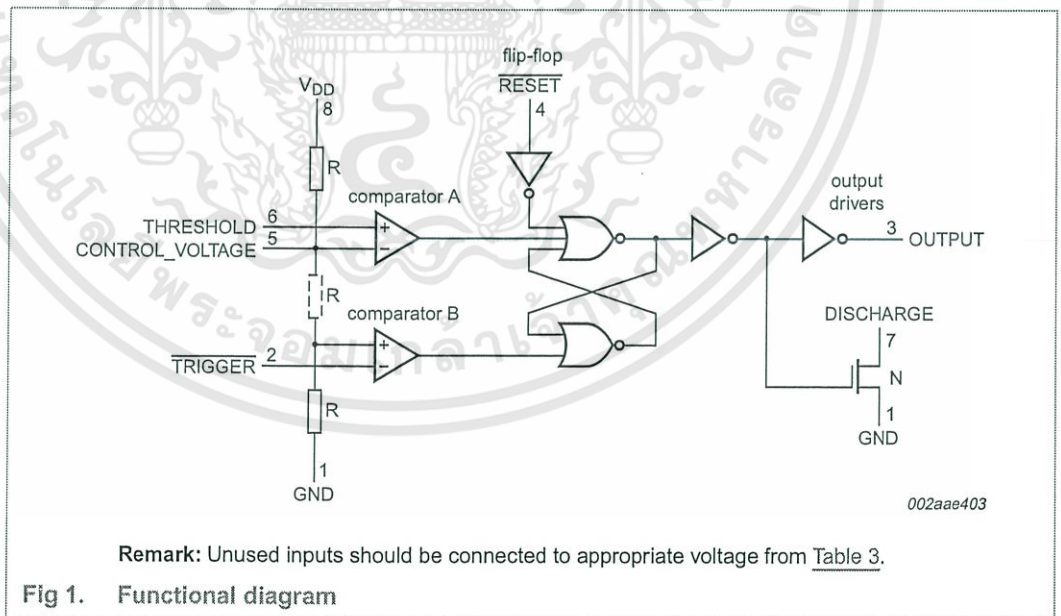
- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Missing pulse detector

4. Ordering information

Table 1. Ordering information

Type number	Temperature range	Package		Version
		Name	Description	
ICM7555CD	$T_{amb} = 0\text{ }^{\circ}\text{C to }+70\text{ }^{\circ}\text{C}$	SO8	plastic small outline package; 8 leads; body width 3.9 mm	SOT96-1
ICM7555ID	$T_{amb} = -40\text{ }^{\circ}\text{C to }+85\text{ }^{\circ}\text{C}$			
ICM7555CN	$T_{amb} = 0\text{ }^{\circ}\text{C to }+70\text{ }^{\circ}\text{C}$	DIP8	plastic dual in-line package; 8 leads (300 mil)	SOT97-1
ICM7555IN	$T_{amb} = -40\text{ }^{\circ}\text{C to }+85\text{ }^{\circ}\text{C}$			

5. Functional diagram



6. Pinning information

6.1 Pinning

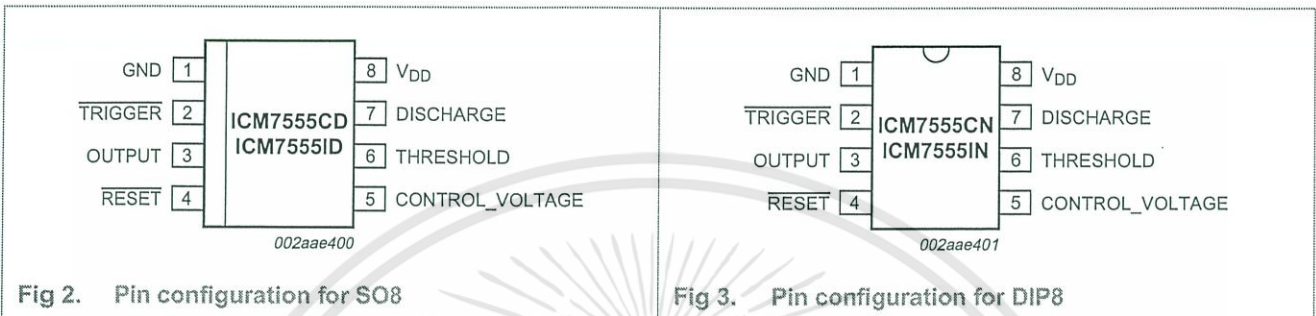


Fig 2. Pin configuration for SO8

Fig 3. Pin configuration for DIP8

6.2 Pin description

Table 2. Pin description

Symbol	Pin	Description
GND	1	supply ground
TRIGGER	2	start timer input; (active LOW)
OUTPUT	3	timer logic level output
RESET	4	timer inhibit input; (active LOW)
CONTROL_VOLTAGE	5	timing capacitor upper voltage sense input
THRESHOLD	6	timing capacitor lower voltage sense input
DISCHARGE	7	timing capacitor discharge output
V _{DD}	8	supply voltage

7. Functional description

Refer to Figure 1 “Functional diagram”.

7.1 Function selection

Table 3. Function selection

THRESHOLD voltage	TRIGGER voltage	RESET ^[1]	OUTPUT	Discharge switch
don't care	don't care	L	L	on
$> \frac{2}{3} V+$	$> \frac{1}{3} V+$	H	L	on
$V_{th} < \frac{2}{3} V+$	$V_{trig} > \frac{1}{3} V+$	H	stable	stable
don't care	$< \frac{1}{3} V+$	H	H	off

[1] RESET will dominate all other inputs; TRIGGER will dominate over THRESHOLD.

8. Limiting values

Table 4. Limiting values
In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
V_{DD}	supply voltage			18	V
V_I	input voltage	TRIGGER	[1] -0.3	$V_{DD} + 0.3$	V
		CONTROL_VOLTAGE	-0.3	$V_{DD} + 0.3$	V
		THRESHOLD	-0.3	$V_{DD} + 0.3$	V
		RESET	-0.3	$V_{DD} + 0.3$	V
I_O	output current		-	100	mA
P	power dissipation	$T_{amb} = 25\text{ °C}$ (still air)	[2][3]		
		DIP8 package	-	1160	mW
		SO8 package	-	780	mW
T_{stg}	storage temperature		-65	+150	°C
T_{sp}	solder point temperature	soldering 60 s	-	300	°C

[1] Due to the SCR structure inherent in the CMOS process used to fabricate these devices, connecting any terminal to a voltage greater than $V_{DD} + 0.3\text{ V}$ or less than $GND - 0.3\text{ V}$ may cause destructive latch-up. For this reason it is recommended that no inputs from external sources not operating from the same power supply be applied to the device before its power supply is established. In multiple systems, the supply of the ICM7555 must be turned on first.

[2] Above 25 °C , derate at the following rates:
DIP8 package at 9.3 mW / °C
SO8 package at 6.2 mW / °C

[3] Refer to Section 11.2 "Power supply considerations" section.

9. Characteristics

Table 5. Characteristics
 $T_{amb} = 25\text{ °C}$ unless otherwise specified.

Sym	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
bol						
V_{DD}	supply voltage	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	3	-	16	V
I_{DD}	supply current ^[1]	$V_{DD} = V_{min}$	-	50	200	μA
		$V_{DD} = V_{max}$	-	180	300	μA
Astable mode timing^{[2][3]}						
$\Delta f/f$	frequency stability		-	1.0	5.0	%
$\Delta f/\Delta V$	frequency variation with voltage		-	0.1	3.0	%/V
$\Delta f/\Delta T$	frequency variation with temperature ^[4]	$V_{DD} = 5\text{ V}$	-	50	-	ppm/°C
		$V_{DD} = 10\text{ V}$	-	75	-	ppm/°C
		$V_{DD} = 15\text{ V}$	-	100	-	ppm/°C
V_I	input voltage	TRIGGER: $V_{DD} = 5\text{ V}$	$0.29V_{DD}$	$0.31V_{DD}$	$0.34V_{DD}$	V
		CONTROL_VOLTAGE: $V_{DD} = 5\text{ V}$	$0.62V_{DD}$	$0.65V_{DD}$	$0.67V_{DD}$	V
		THRESHOLD: $V_{DD} = 5\text{ V}$	$0.63V_{DD}$	$0.65V_{DD}$	$0.67V_{DD}$	V
		RESET: $V_{DD} = V_{min}$ and V_{max}	$0.4V_{DD}$	$0.7V_{DD}$	$1.0V_{DD}$	V

Table 5. Characteristics ...continued
T_{amb} = 25 °C unless otherwise specified.

Sym	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
bol						
I _i	input current	TRIGGER				
		V _{DD} = V _{trig} = V _{max}	-	50	-	pA
		V _{DD} = V _{trig} = 5 V	-	10	-	pA
		V _{DD} = V _{trig} = V _{min}	-	1	-	pA
		THRESHOLD				
		V _{DD} = V _{th} = V _{max}	-	50	-	pA
		V _{DD} = V _{th} = 5 V	-	10	-	pA
		V _{DD} = V _{th} = V _{min}	-	1	-	pA
		RESET				
		V _{DD} = V _{rst} = V _{max}	-	100	-	pA
		V _{DD} = V _{rst} = 5 V	-	20	-	pA
		V _{DD} = V _{rst} = V _{min}	-	2	-	pA
V _{OL}	LOW-level output voltage	V _{DD} = V _{max} ; I _{sink} = 3.2 mA	-	0.1	0.4	V
		V _{DD} = 5 V; I _{sink} = 3.2 mA	-	0.2	0.4	V
V _{OH}	HIGH-level output voltage	I _{source} = -1.0 mA				
		V _{DD} = V _{max}	15.25	15.7	-	V
		V _{DD} = 5 V _{max}	4.0	4.5	-	V
V _o	output voltage	DISCHARGE: V _{DD} = 5 V; I _{DIS} = 10 mA	-	0.2	0.4	V
t _{r(o)}	output rise time ^[4]	R _L = 10 MΩ; C _L = 10 pF; V _{DD} = 5 V	-	45	75	ns
t _{f(o)}	output fall time ^[4]		-	20	75	ns
f _{osc}	oscillator frequency	astable mode	-	-	500	kHz

[1] The supply current value is essentially independent of the TRIGGER, THRESHOLD and RESET voltages.

[2] Astable timing is calculated using the following equation:

$$f = \frac{1.38}{(R_A + 2R_B)C}$$

The components are defined in Figure 15.

[3] R_A, R_B = 1 kΩ to 100 kΩ; C = 0.1 μF; 5 V < V_{DD} < 15 V

[4] Parameter is not 100 % tested.

10. Typical performance curves

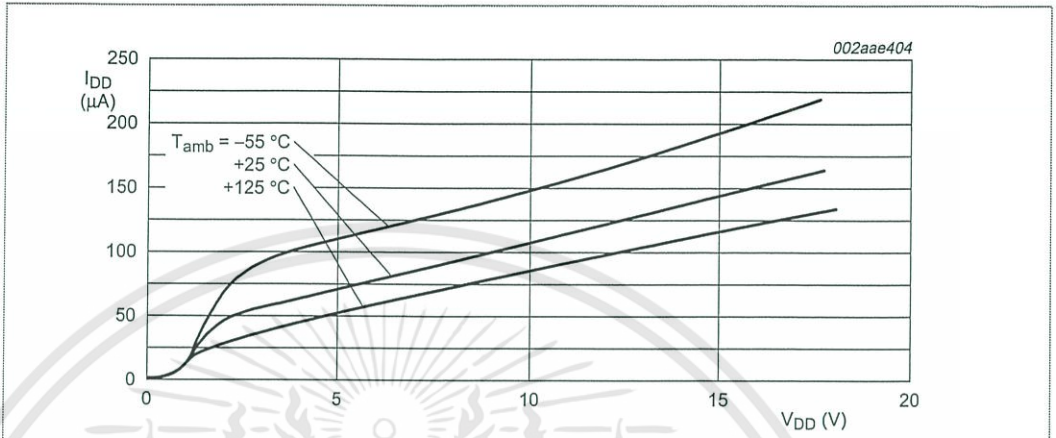


Fig 4. Supply current versus supply voltage

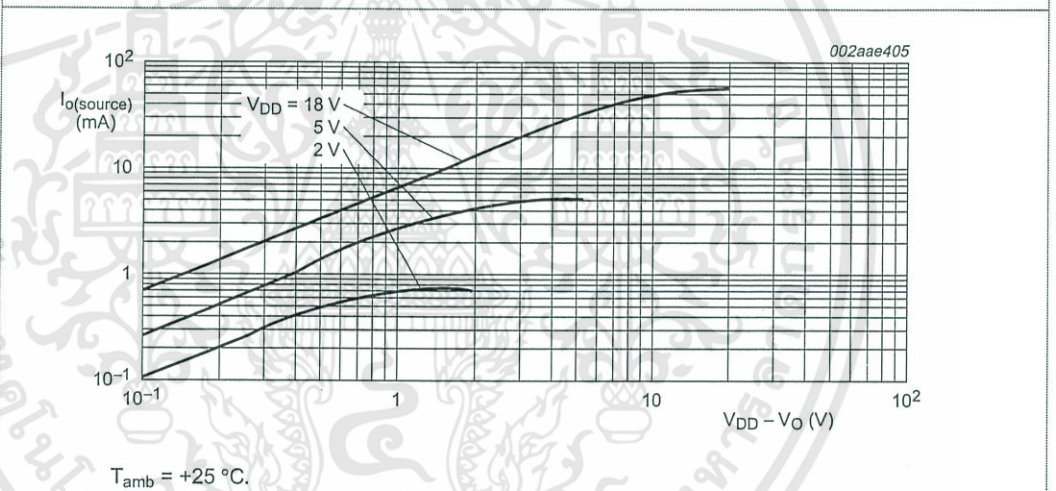


Fig 5. High output voltage drop versus output source current

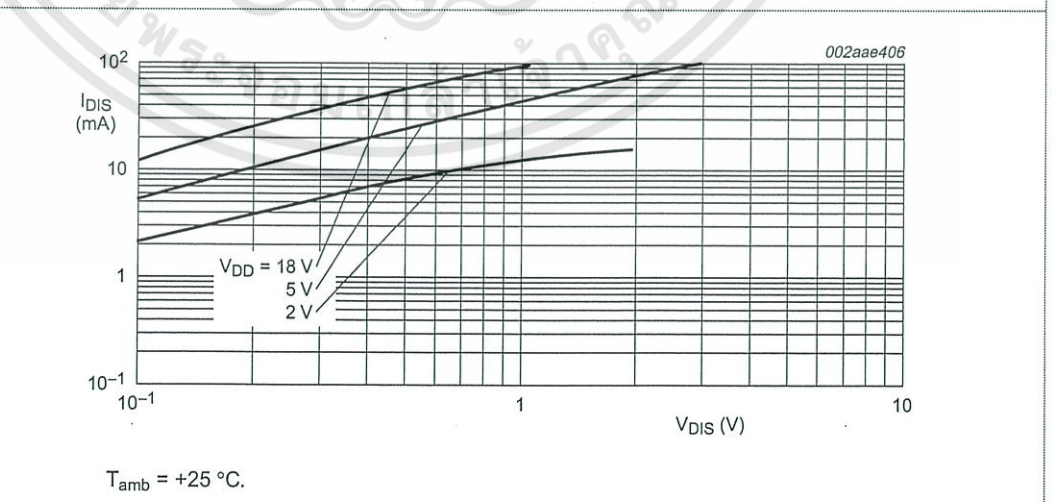


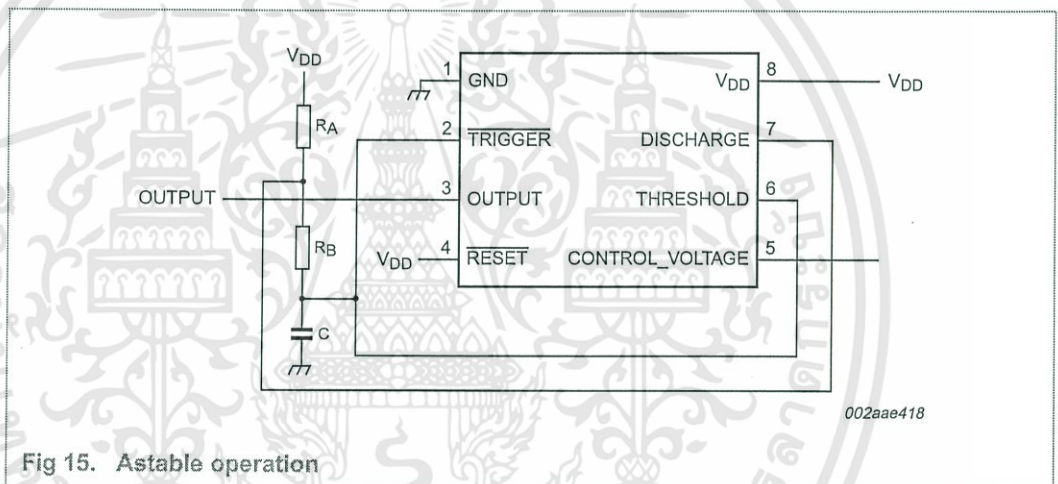
Fig 6. Discharge low output voltage versus discharge sink current

11.4 Astable operation

If the circuit is connected as shown in Figure 15, it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through R_A and R_B and discharges through R_B only. Thus, the duty cycle (δ) may be precisely set by the ratio of these two resistors. In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between $\frac{1}{3} V_{DD}$ and $\frac{2}{3} V_{DD}$. Since the charge rate and the threshold levels are directly proportional to the supply voltage, the frequency of oscillation is independent of the supply voltage.

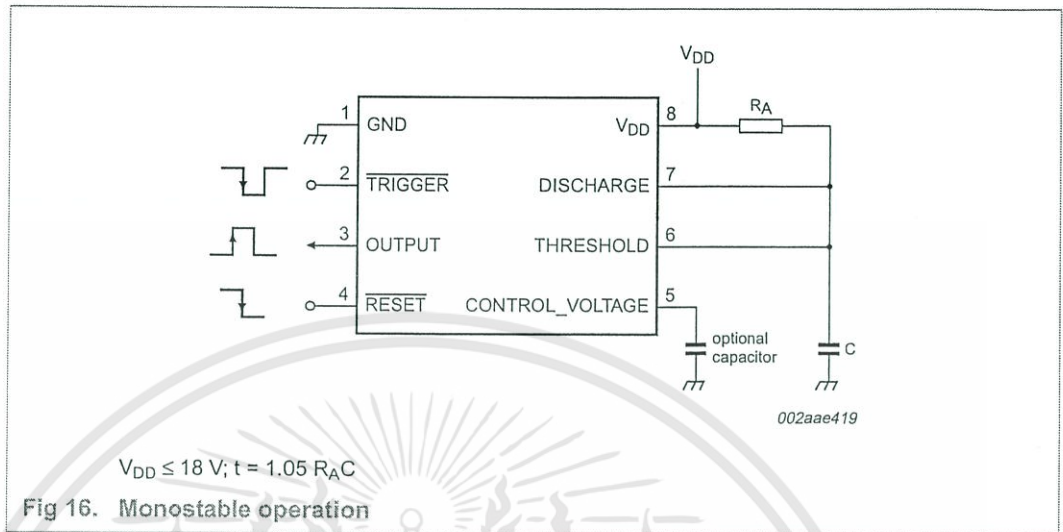
$$f = \frac{1.38}{(R_A + 2R_B) \times C} \tag{1}$$

$$\delta = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B} \tag{2}$$



11.5 Monostable operation

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot. Initially, the external capacitor (C) is held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative pulse to pin 2, $\overline{\text{TRIGGER}}$, the internal flip-flop is set, which releases the low-impedance on DISCHARGE; the external capacitor charges and drives the OUTPUT HIGH. The voltage across the capacitor increases exponentially with a time constant $t = R_A C$. When the voltage across the capacitor equals $\frac{2}{3} V+$, the comparator resets the flip-flop, which in turn discharges the capacitor rapidly and also drives the OUTPUT to its LOW state. $\overline{\text{TRIGGER}}$ must return to a HIGH state before the OUTPUT can return to a LOW state.



11.6 Control voltage

The CONTROL_VOLTAGE terminal permits the two trip voltages for the THRESHOLD and TRIGGER internal comparators to be controlled. This provides the possibility of oscillation frequency modulation in the astable mode, or even inhibition of oscillation, depending on the applied voltage. In the monostable mode, delay times can be changed by varying the applied voltage to the CONTROL_VOLTAGE pin.

11.7 RESET

The RESET terminal is designed to have essentially the same trip voltage as the standard NE/SE555 device, i.e., 0.6 V to 0.7 V. At all supply voltages it represents an extremely high input impedance. The mode of operation of the RESET function is, however, much improved over the standard NE/SE555 device in that it controls only the internal flip-flop, which in turn controls simultaneously the state of the OUTPUT and DISCHARGE pins. This avoids the multiple threshold problems sometimes encountered with slow falling edges in the NE/SE555 devices.