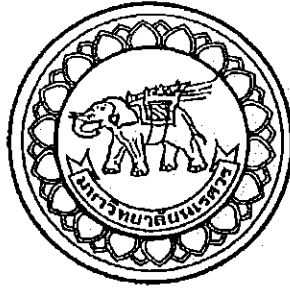


อกินันทนาการ



สำนักหอสมุด



การพัฒนาแหล่งจ่ายกำลังสวิตซิ่ง

THE DEVELOPMENT OF SWITCHING POWER SUPPLY

นายพนทพันธ์ จันทรวีฑูร รหัส 51383898
นายภูมินทร์ พงษากุล รหัส 51384918

17194961

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
วันลงทะเบียน... 1.0.2558
เลขทะเบียน.....
เลขเรียกหนังสือ.....

2/8
4/66 ก
2558

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

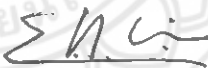
ปีการศึกษา 2558

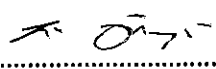



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การพัฒนาแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์
ผู้ดำเนินโครงการ นายนนทพันธุ์ จันทรวีทร รหัส 51383898
 นายภูมิน พงษากุล รหัส 51384918
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มเม่น
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2558

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มเม่น)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนัส นัตถฤทธิ์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การพัฒนาวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง
ผู้ดำเนินโครงการ	นายนนทพันธุ์ จันทรวีฑูร รหัส 51383898
	นายภูมิน พงษากุล รหัส 51384918
ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แยมเม่น
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

ในโครงการนี้จะออกแบบและพัฒนาแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง เพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังงานให้กับกับเตารีดไฟฟ้า ที่พิกัดแรงดัน 5 V และกระแส 100 mA โดยวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงมีการนำองค์ประกอบของวงจรคือ ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ออปโตคัปเปลอร์ ตัวเก็บประจุ ตัวต้านทาน และ หม้อแปลงสวิตชิง มารวมเข้าด้วยกันเป็น วงจรเรียงกระแสแลวงจรกรองกระแสด้านเข้า วงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุล วงจรควบคุมแรงดันและกระแส วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านออก

จากการทดลองมีการปรับตั้ง ให้มีแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับ 5 V และกระแสไฟฟ้าด้านออกที่เท่ากับ 100 mA โดยจ่ายให้กับ โหลดที่มีค่าความต้านทาน 50 Ω และผลการทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกที่ได้มีค่าเท่ากับ 5.09 V ทำให้มีความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับ 1.8 % กระแสไฟฟ้าด้านออกมีค่าเท่ากับ 103.40 mA ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.40 % ให้กำลังไฟฟ้า 526.326 mW สามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้เท่ากับ 6.00 % และมีริฟเปิ้ลแฟกเตอร์เท่ากับ 4.45% เมื่อหาค่าประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้เท่ากับ 90.68 % มีค่ากำลังสูญเสียภายในระบบเท่ากับ 0.054 W หาค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันคงที่ได้เท่ากับ 2.98 % ดังนั้นวงจรแหล่งกำเนิดกำลังสวิตชิงมีค่าของแรงดันและกระแสอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เมื่อโหลดความต้านทานมีค่า 50 Ω

Project title The Development of Switching Power Supply

Name Mr. Nontapan Chandaravithoon ID.51383898

 Mr. Phumeen Phongsakun ID.51384918

Project advisor Assistant Professor Suchart Yammen, Ph.D.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2015

.....

Abstract

This project is to design and develop for a switching power supply in order to be used for electric irons having a rated voltage of 5 volt and a rated current of 100 milliamps. The developed power supply consists of four main parts: input filter-rectifier circuit, push-pull converter, current-voltage control circuit and output filter-rectifier circuit

From the experimental results with the set voltage of 5 volt and the set current of 100 milliamps supplied to the resistant load of 50 ohm, it has been shown that the output voltage is equal to 5.09 volt with tolerance of 1.8%, the output current is equal to 103.40 milliamps with tolerance of 3.40%, the ripple factor is equal to 4.45%, the efficiency of the developed supply is equal to 90.68%, the power loss is equal to 0.054 watts, and the value of the voltage regulation is equal to 2.98%. Therefore, the developed supply can produce the voltage and the current in the acceptable range while supplying the resistant load of 50 ohm.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ เข้มเม่น ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญาานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนัส นัดฤทธิ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา ซึ่งเป็นคณะกรรมการในการสอบโครงการที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ในโครงการนี้ ทำให้โครงการนี้ออกมาสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ นายประทีป สังข์แป้น ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆตลอดระยะเวลาของการศึกษาเล่าเรียน ซึ่งเป็นความรู้ที่สามารถนำไปใช้ในการทำโครงการนี้และยังสามารถนำไปใช้ในการประกอบอาชีพในอนาคต

เหนือสิ่งอื่นใดที่จะขาดไม่ได้เลยในการดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณคุณบิดา คุณมารดา ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่าง คอยเป็นกำลังใจทำให้จนได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวของ คณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายพนทพันธ์ จันทรวีฑูร

นายภูมิน พงษากุล

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนและแผนดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	3
1.6 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ไดโอด (Diode).....	5
2.2 ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode).....	9
2.3 ทรานซิสเตอร์ (Transistor).....	12
2.4 ออปโตคัปเปิลเลอร์ (OptoCoupler).....	19
2.5 ตัวเก็บประจุ (Capacitor).....	21
2.6 ตัวต้านทาน (Resistor).....	23
2.7 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformers).....	26
2.8 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) และวงจรกรองกระแส C (C Filter) ด้านเข้า.....	31
2.9 วงจรตัวแปลงผันแบบพุ่ม-พูล.....	36
2.10 วงจรควบคุมด้านกระแส.....	39
2.11 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) และวงจรกรองกระแส C (C Filter) ด้านออก.....	40
2.12 โปรแกรมที่เกี่ยวข้อง.....	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ	45
3.1 เสนอหัวข้อโครงการ	45
3.2 ศึกษาหลักการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์	45
3.3 ออกแบบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านเข้า	46
3.3.1 หาค่าเฉลี่ย	47
3.2.2 หาค่าแรงดันเฉลี่ย	47
3.4 ออกแบบวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุก	49
3.5 ออกแบบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านออก	52
3.6 ออกแบบวงจรควบคุมด้านแรงดันและกระแส	55
3.6.1 หาค่า V_{out} , I_z	55
3.6.2 หาค่า R ที่เหมาะสม	55
3.6.3 หาค่า R_{Load} ที่เหมาะสม	55
3.6.4 การเลือกขนาดแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง	55
3.6.5 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจากแกน EI ETD และ แกนPot	57
3.7 ออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ โดยใช้โปรแกรมพีสไปร์ท (Pspice).....	57
3.8 ออกแบบลายวงจร โดยใช้โปรแกรมเซอร์กิตวิซาร์ด (circuit wizard).....	59
3.9 นำวงจรแหล่งจ่ายกำลังที่ออกแบบมาประกอบเป็นชิ้นงาน	60
3.10 การทดสอบสมรรถนะของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์	60
3.11 วิเคราะห์ผลการทดลอง	61
3.12 สรุปผลการทดลอง	61
3.13 ปัญหา และข้อเสนอแนะ	61
บทที่ 4 ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์	
4.1 ผลการออกแบบลายปรินต์ที่ได้จาก โปรแกรมเซอร์กิตวิซาร์ดและนำมาลงอุปกรณ์ต่าง	59
4.2 ผลการทดสอบวงจรย่อยของแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์.....	61
4.2.1 ผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านเข้า	61
4.2.2 ผลการทดสอบวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุก	63
4.2.3 ผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านออก	65
4.2.4 ผลการทดสอบวงจรควบคุมแรงดันและกระแส	66

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ิ่ง.....	68
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	76
5.1 สรุปผลการดำเนิน โครงการงาน	76
5.2 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข.....	76
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	77
เอกสารอ้างอิง.....	78
ภาคผนวก ก โปรแกรมPspice ที่ใช้ช่วยในการออกแบบวงจร	79
ภาคผนวก ข วิธีการใช้งาน วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ิ่ง	82
ภาคผนวก ค รายละเอียด ไลยวงจรสำหรับกัคปรีนและลงอุปกรณ์ โดยใช้ โปรแกรม Circuit wizard ในการออกแบบ.....	84
ภาคผนวก ง เอกสารข้อมูลอ้างอิงของอุปกรณ์ภายในวงจร.....	86
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	109

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงหรือ ค่าคงตัว ไดอิเล็กตริกของสาร ไดอิเล็กตริก	23
2.2 ตารางแถบสีบอกขนาดของตัวต้านทาน	28
3.1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะ โครงสร้างแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด EI	56
3.2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะ โครงสร้างแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด ETD	56
3.3 การเปรียบเทียบคุณลักษณะ โครงสร้างแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด Pot	56
4.1 ผลทดสอบค่าพารามิเตอร์ของวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านเข้า.....	66
4.2 ผลทดสอบค่าพารามิเตอร์ของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุล	67
4.3 ผลทดสอบค่าพารามิเตอร์ของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุล	69
4.4 ผลทดสอบค่าพารามิเตอร์ของวงจรควบคุมแรงดันและกระแส	70
4.5 เปรียบเทียบระหว่างค่าปรับตั้งที่ต้องการนำไปใช้กับผลที่ได้จากการทดลองของแรงดัน ไฟฟ้า กับกระแสไฟฟ้าโดยมีการเปลี่ยนความต้านทานโหลด จำนวน 16 ค่า	71
4.6 ผลการทดลองของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าทั้งด้าน เข้าและด้านออก	74

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แผนผังของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ิ่ง..... 4
2.2	รูปวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ิ่งที่ออกแบบ..... 5
2.3	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด..... 5
2.4	กราฟคุณสมบัติทางกระแสและแรงดัน (VI Curve) ของไดโอดแบบอุดมคติ..... 6
2.5	กราฟคุณสมบัติทางกระแสและแรงดัน (VI Curve) ของไดโอดในทางปฏิบัติ..... 7
2.6	เอกสารอ้างอิงข้อมูลของไดโอด เบอร์ 1N4001-1N4007..... 8
2.7	แสดงวงจรตัวรูปคลื่นแบบอนุกรมทางลบและกราฟรูปคลื่นแรงดันด้านเข้ากับด้านออก..... 9
2.8	แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด..... 10
2.9	แสดงกราฟลักษณะคุณสมบัติทางไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอด..... 10
2.10	วงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอด..... 11
2.11	วงจรรักษาแรงดัน..... 11
2.12	โครงสร้างทรานซิสเตอร์..... 12
2.13	สัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์..... 13
2.14	จ่ายสัญญาณให้ทรานซิสเตอร์..... 13
2.15	แรงดันจุดต่างๆของวงจรทรานซิสเตอร์ขณะทำงาน..... 14
2.16	วงจรทรานซิสเตอร์ขณะอิมิตัว..... 15
2.17	การไบอัสทรานซิสเตอร์..... 16
2.18	วงจรทรานซิสเตอร์สวิตซ์..... 19
2.19	สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง ชนิด NPN Optocoupler..... 20
2.20	โครงสร้างพื้นฐานของตัวเก็บประจุ..... 21
2.21	สัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุ..... 21
2.22	ลักษณะพื้นที่ส่วนที่อยู่ซ้อนกันของแผ่นตัวนำที่มีผลต่อค่าความจุ..... 22
2.23	ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำที่มีต่อค่าความจุ..... 23
2.15	แรงดันจุดต่างๆของวงจรทรานซิสเตอร์ขณะทำงาน..... 14
2.16	วงจรทรานซิสเตอร์ขณะอิมิตัว..... 15
2.17	การไบอัสทรานซิสเตอร์..... 16
2.18	วงจรทรานซิสเตอร์สวิตซ์..... 19
2.19	สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง ชนิด NPN Optocoupler..... 20
2.20	โครงสร้างพื้นฐานของตัวเก็บประจุ..... 21

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.21 สัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุ	21
2.22 ลักษณะพื้นที่ส่วนที่อยู่ซ้อนกันของแผ่นตัวนำที่มีผลต่อค่าความจุ.....	22
2.23 ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำที่มีต่อค่าความจุ.....	23
2.24 วงจรกรองกระแสแบบครึ่งคลื่น.....	25
2.25 การทำงานของวงจรปาซิเตอร์ฟิลเตอร์และรูปคลื่นแรงดันด้านออก	26
2.26 ตัวอย่างตัวต้านทานชนิดค่าคงที่แบบต่างๆ	26
2.27 สัญลักษณ์ของตัวต้านทานชนิดค่าคงที่	27
2.28 แถบสีตัวต้านทาน	27
2.29 วงจรอนุกรม.....	29
2.30 สัญลักษณ์ของหม้อแปลง.....	30
2.31 หลักการทำงานของหม้อแปลง.....	30
2.32 ส่วนประกอบของค่ากระแสกระตุ่น.....	31
2.33 หลักการทำงานของหม้อแปลงขณะมีภาระ.....	32
2.34 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) และวงจรกรองกระแส C (C Filter) ด้านเข้า	34
2.35 พารามิเตอร์ของรูปคลื่น ไชน์.....	35
2.36 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น	36
2.37 แรงดันด้านเข้าและด้านออก.....	37
2.38 ค่า แสดง VP , VRMS , VDC	37
2.39 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นและวงจรกรองด้วยตัวเก็บประจุ.....	38
2.40 แรงดันripple ของการเรียงกระแสครึ่งคลื่นและเต็มคลื่น.....	39
2.41 วงจรตัวแปลงผันแบบพูช-พูด	39
2.42 เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลง	41
2.43 วงจรควบคุมแรงดันและกระแส.....	42
2.44 วงจรซีเนอร์ไดโอด อนุกรมกับตัวต้านทาน	43
2.45 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) ละวงจรกรองกระแส C (C Filter) ด้านออก	43
3.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) และ วงจรกรองกระแส C (C Filter) ด้านเข้า	46
3.2 รูปแสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	47
3.3 รูปแสดงสัญญาณและการหาค่าประสิทธิผล.....	48
3.4 วงจรตัวแปลงผันแบบพูช-พูด	49

3.5 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) ละวงจรกรองกระแส C (C Filter) ด้านออก	52
3.6 รูปแสดงสัญญาณและการหาค่าประสิทธิผล	53
3.7 วงจรควบคุมความแรงดันและกระแส	54
3.8 วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์	58
3.9 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์	59
3.10 กราฟแสดงกระแสด้านออกของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์	59
4.1 ลายปริ้น PCB ด้านบนที่ออกแบบ	62
4.2 ลายปริ้น PCB ด้านล่างที่ออกแบบ	63
4.3 แผ่นลายทองแดงของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ที่กัดลายปริ้นแล้ว	63
4.4 แผ่นลายทองแดงของที่ลงอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์แล้ว	64
4.5 วงจรย่อยต่างๆในวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์โดยรวม	64
4.6 รูปวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านเข้า	65
4.7 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านเข้า	65
4.8 รูปวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุก	66
4.9 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุก	67
4.10 รูปวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านออก	68
4.11 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านออก	69
4.12 รูปวงจรควบคุมแรงดันและกระแส	70
4.13 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรควบคุมแรงดันและกระแส	70
4.14 กราฟแรงดันด้านออกระหว่างค่าปรับตั้งที่ต้องการกับค่าที่วัดได้จากผลการทดลอง	72
4.15 กราฟกระแสด้านออกระหว่างค่าปรับตั้งที่ต้องการกับค่าที่วัดได้จากผลการทดลอง	72
4.16 กราฟกำลังไฟฟ้าด้านออกระหว่างค่าปรับตั้งที่ต้องการกับค่าที่วัดได้จากผลการทดลอง	73
4.17 แสดงสัญญาณด้านออกขณะต่อกับความต้านทาน โหลด 50 โอห์ม	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งนั้น ได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในงานหลายด้าน เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กซึ่งต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีขนาดสูง และมีขนาดเล็ก เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน และโทรทัศน์ จำเป็นที่ต้องใช้วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งเพราะมีขนาดเล็ก และแนวโน้มการนำวงจรแหล่งจ่ายกำลังมาใช้ในเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ทุกประเภทเป็นไปได้สูง การศึกษาหลักการและการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งนั้นจึงเป็นสิ่งที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องในงานอิเล็กทรอนิกส์ทุกประเภท เพื่อรองรับเทคโนโลยีในอนาคตซึ่งแน่นอนว่าในอนาคตนั้นอุปกรณ์ต่างๆย่อมได้รับการพัฒนาให้มีขนาดที่เล็กลง และสามารถใช้งานได้อย่างสะดวกสบายเพื่อให้เหมาะสมกับผู้ใช้ยิ่งขึ้น

โครงการนี้จะออกแบบและพัฒนาแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่ง เพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับกับเตาเรียดอัจฉริยะ ที่พิกัดแรงดัน 5 โวลต์ กระแส 100 มิลลิแอมป์ และต้องการแหล่งจ่ายกำลังที่มีขนาดเล็ก จึงเห็นว่าถ้าเป็นแหล่งจ่ายกำลังธรรมดาจะมีขนาดที่ใหญ่มากและมีน้ำหนักมาก จึงจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งที่มีขนาดเล็กและเบาอย่างมาก มาเป็นแหล่งจ่ายกำลังให้แก่เตาเรียดอัจฉริยะ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ออกแบบและสร้างวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งซึ่งมีพิกัดกระแส 100 มิลลิแอมป์ และพิกัดแรงดัน 5 โวลต์ และวิเคราะห์หลักการทำงานวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่ง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งมีกระแสทางด้านออก 100 มิลลิแอมป์ มีแรงดัน 5 โวลต์
- 1.3.2 ใช้หม้อแปลงสวิตชิ่งในการแยกแรงดันสูงกับแรงดันต่ำ
- 1.3.4 ใช้ออปโตคัปเปิลเลอร์ (OptoCoupler) เป็นตัวควบคุมเพาเวอร์สวิตช์เปิด
- 1.3.4 ใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นตัวควบคุมแรงดัน

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี 2558			
	พ.ค. มิ.ย.	ก.ค. ส.ค.	ก.ย. ต.ค.	พ.ย. ธ.ค.
1. เสนอหัวข้อ โครงการ				
2. ศึกษาหลักการทำงานของวงจร แหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง				
3. ออกแบบวงจรเรียงกระแสและ วงจรกรองกระแสค่านเข้า				
4. ออกแบบวงจรตัวแปลงผันแบบ พุก-พุก				
5. ออกแบบวงจรเรียงกระแสและ วงจรกรองกระแสค่านออก				
6. ออกแบบวงจรควบคุมแรงดัน และกระแส				
7. ออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลัง สวิตชิงโดยใช้โปรแกรมพีสไปร์ท (Pspice)				
8. ออกแบบลายวงจรโดยใช้ โปรแกรมเซอร์กิตวิซาร์ด (circuit wizard)				
9. นำวงจรที่ออกแบบมาประกอบ เป็นชิ้นงาน				
10. การทดสอบสมรรถนะของ วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง				
11. วิเคราะห์ผลการทดลอง				
12. สรุปผลการทดลอง				
13. ปัญหา และข้อเสนอแนะ				
14. จัดทำรูปเล่มปริิญญาานิพนธ์				

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงที่พิกัดแรงดันออก 5 โวลต์ มีกระแส 100 มิลลิแอมป์ เพื่อใช้ในเตารีดไฟฟ้าอัจฉริยะ
- 1.5.2 ได้พัฒนาบุคลากรด้านความรู้เกี่ยวกับวงจรแหล่งจ่ายกำลัง
- 1.5.3 สามารถสร้างเครือข่ายเพื่อที่จะพัฒนาวงจรแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

1.6 งบประมาณ

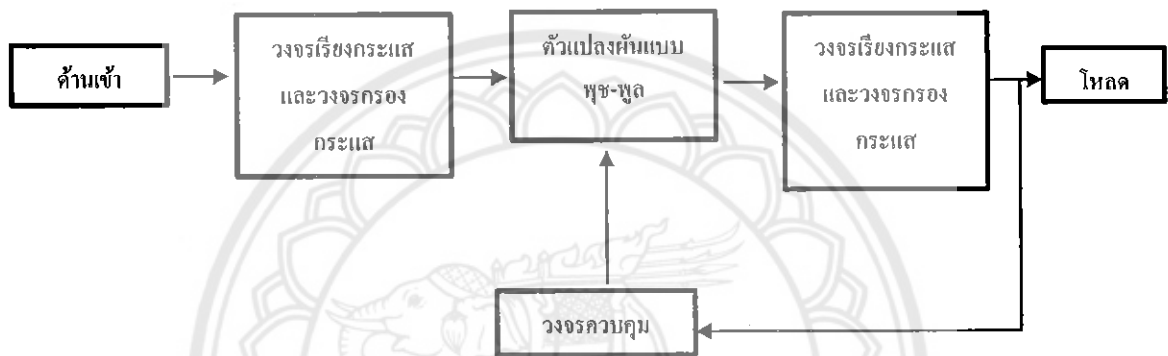
1.6.1 ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	500	บาท
1.6.2 ค่าถ่ายเอกสารและค่าจัดทำรูปเล่ม	1,500	บาท
รวมเป็นเงิน (สองพันบาทถ้วน)	<u>2,000</u>	บาท
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ		



บทที่ 2

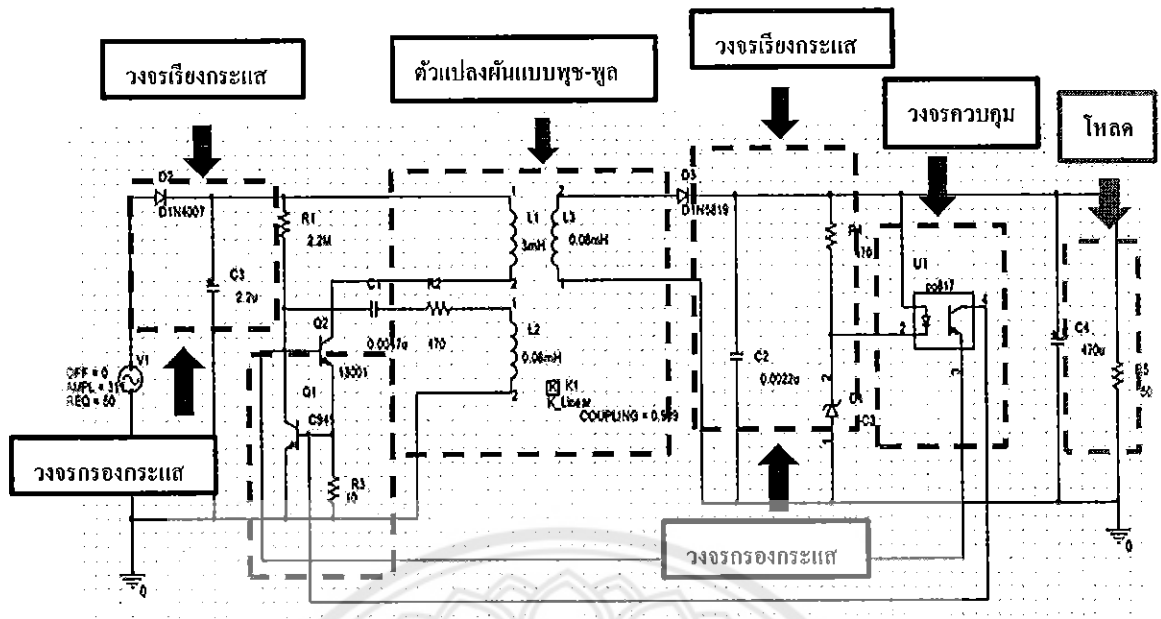
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวกับวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงเพื่อใช้ในการทำโครงการซึ่งประกอบด้วย ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ออปโตคัปเปลอร์ ตัวเก็บประจุ ตัวต้านทาน หม้อแปลงสวิตชิง เพื่อนำมาใช้งานในวงจรย่อยดังต่อไปนี้ วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านเข้า วงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุล วงจรควบคุมแรงดันและกระแส วงจรเรียงกระแส และวงจรกรองกระแสด้านออก อีกทั้งโปรแกรมที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.1 แผนผังของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง

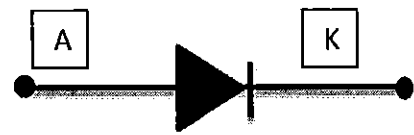
จากรูปที่ 2.1 วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงที่ออกแบบนั้น จะสามารถแบ่งย่อยมาได้ในแต่ละส่วนที่กล่าวมาในข้างต้น วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงทำงานที่พิกัดกำลัง 220 โวลต์ พิกัดกระแสด้านออก 100 มิลลิแอมป์ แรงดันไฟสลับค่าสูงจะผ่านเข้ามาทางวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสแปลงเป็นไฟตรงและกรองสัญญาณรบกวนเพื่อไหลผ่านไปให้กับ วงจรเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะทำงานเป็นเพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์โดยการตัดต่อแรงดันเป็นช่วงๆ ที่ความถี่ประมาณ 20-200 KHz จากนั้นจะผ่านไปยังตัวแปลงผันแบบพุก-พุลเพื่อลดแรงดันลง ด้านออกของหม้อแปลงจะต่อกับวงจรเรียงกระแส และกรองกระแสให้เรียบ ส่วนการคงค่าแรงดันจะทำให้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่ด้านออกกลับมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ด้านออก ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันด้านออกคงที่ได้ การทำงานดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งที่ออกแบบ

2.1 ไดโอด (Diode)

ไดโอดเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทำมาจากสารกึ่งตัวนำซิลิคอน มี 2 ขั้ว ขั้วที่ขึ้นสารชนิดพี เรียกว่า แอโนด (Anode: A) และขั้วที่ขึ้นสารชนิดเอ็นเรียกว่า แคโทด (Cathode: K) สัญลักษณ์ของไดโอดเปรียบเทียบกับสารกึ่งตัวนำ 1 รอยต่อ (พี-เอ็น) ดังรูปที่ 2.3 แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด เมื่อไดโอดนำกระแสจึงเท่ากับ 0.6V มันคือแรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อ พี-เอ็น



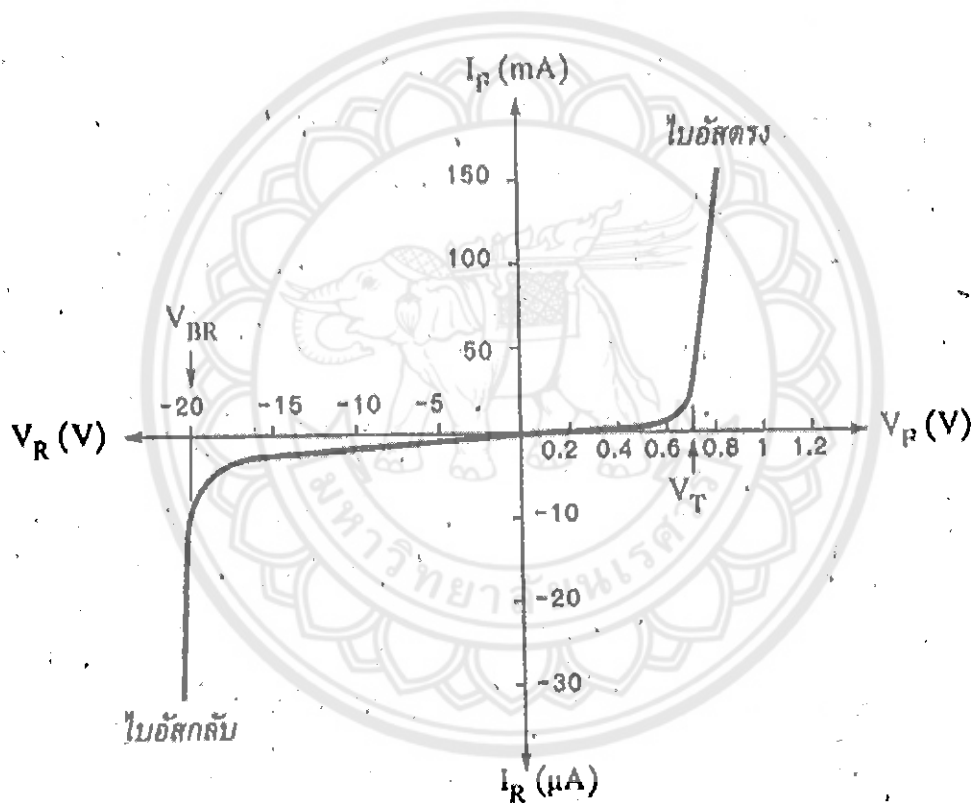
รูปที่ 2.3 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด

โดยทั่วไปแล้ว ไดโอดจะมีคุณสมบัติการทำงานอยู่ 3 ข้อซึ่งได้แก่

1. เมื่อได้รับไบแอสกลับ ไดโอดจะไม่นำกระแส
2. เมื่อได้รับไบแอสตรง ที่แรงดันมากกว่า 0.6 V ไดโอดจะนำกระแสได้

3. โดยปกติในวงจรไดโอดจะต้องต่อตัวต้านทานจำกัดกระแสเพื่อป้องกันไดโอดเกิดการเสียหาย

เส้นโค้งคุณลักษณะทางแรงดันและกระแสเรียกว่า กราฟ VI-Curve แสดงคุณลักษณะเมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรง และไบแอสกลับ เมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรง จะมีกระแสไหลผ่านไดโอดได้ และจะมีแรงดันตกคร่อมไดโอดเท่ากับ 0.6 V แต่เมื่อไดโอด ได้รับไบแอสกลับ ไดโอดจะไม่นำกระแส แต่จะมีกระแสรั่วไหล จำนวนน้อยมากไหลผ่าน ไดโอดได้ (นาโนแอมแปร์) และเมื่อให้ แรงดันไบแอสกลับให้กับ ไดโอดเพิ่มมากขึ้น จนถึงจุดพังทลาย (Break down point) ไดโอดจะทะลุมีกระแสไหลได้ จำนวนมาก และไดโอดนั้นจะเสียหายไม่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ตามปกติอีก สำหรับ กราฟคุณลักษณะของไดโอดแสดงในรูปที่ 2.4



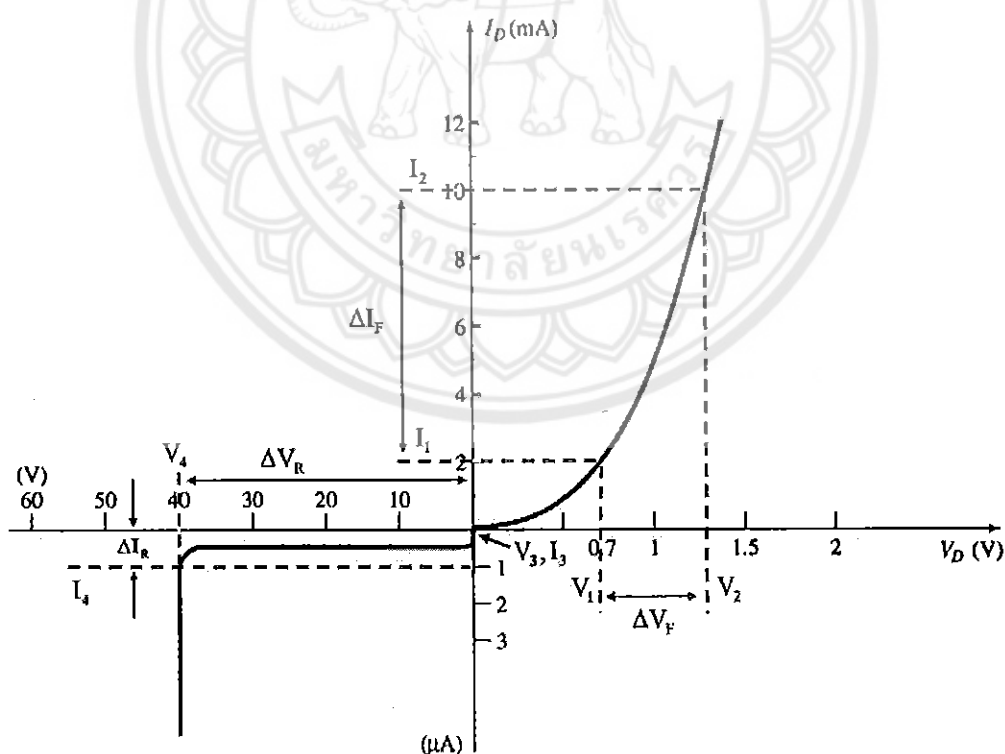
รูปที่ 2.4 กราฟคุณสมบัติทางกระแสและแรงดัน (VI Curve) ของไดโอดแบบอุดมคติ

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อไดโอด เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อลักษณะสมบัติทางแรงดันและกระแสของไดโอด เนื่องจากสารกึ่งตัวนำจะมีจำนวนโฮลและอิเล็กตรอนอิสระที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมด้วย ดังนั้นในการออกแบบวงจรจำเป็นต้องทราบว่ากระแสไดโอดเมื่อไบแอสกลับ จะเปลี่ยนแปลงอย่างไรกับอุณหภูมิ และแรงดันคร่อมไดโอดขณะไบแอสตรงจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรกับอุณหภูมิเมื่อกระแสที่ไหลผ่านไดโอดมีค่าคงที่

ความต้านทานในตัวไดโอดพอที่จะแบ่งออกตามชนิดของแรงดันที่ให้กับตัวไดโอดซึ่งแยกออกเป็นความต้านทานทางไฟตรงและความต้านทานไฟสลับ

ความต้านทานทางไฟตรง (static resistance) จากลักษณะสมบัติแรงดันและกระแสของไดโอดจะไม่ใช่ลักษณะเชิงเส้น ดังนั้นความต้านทานในตัวไดโอดจึงไม่คงที่จากกฎของโอห์มจะได้รับความต้านทานทางไฟตรงที่จะทำงานขณะไม่มีสัญญาณอื่นใดเข้ามา

ความต้านทานทางไฟสลับ (dynamic resistance) เมื่อไดโอดทำงานในขณะที่มีค่าสัญญาณแรงดันไฟสลับขนาดเล็ก ๆ ป้อนเข้ามาค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นที่ไดโอดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ค่าความต้านทานนี้จะแตกต่างจากความต้านทานทางไฟตรง เราเรียกค่าความต้านทานนี้ว่า ความต้านทานทางไฟสลับ การหาค่าความต้านทานทางไฟสลับหาค่าได้จากค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของแรงดันคร่อมตัวไดโอดที่เปลี่ยนไปกับค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลในตัวไดโอด เนื่องจากการทำงานของไดโอดเมื่อมีสัญญาณเข้ามา ณ จุดที่ไดโอดทำงานก็จะมีค่าไม่คงที่ ไม่แน่นอน เกิดการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะสมบัติ แต่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอสตรงค่าเล็ก ๆ ของกระแสและแรงดันแล้วจะสามารถหาค่าความต้านทานทางไดนามิกหรือความต้านทานต่อไฟสลับ ได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟคุณสมบัติทางกระแสและแรงดัน (VI Curve) ของไดโอดในทางปฏิบัติ

จากรูปที่ 2.5 สามารถหาค่าความต้านทานภายในไดโอดได้จาก

$$\text{ความต้านทานไอแอสตรง } r_F = \frac{\Delta V_F}{\Delta I_F} = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} \quad (2.1)$$

$$\text{ความต้านทานไบแอสกลับ } r_R = \frac{\Delta V_R}{\Delta I_R} = \frac{V_4 - V_3}{I_4 - I_3} \quad (2.2)$$

DIODES

1N4001 - 1N4007

1.0A RECTIFIER

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Working Peak Reverse Voltage	V _{WRM}								V
DC Blocking Voltage	V _R								V
RMS Reverse Voltage	V _{RRMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1) @ T _A = 25°C	I _O				1.0				A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load	I _{FSM}				30				A
Forward Voltage @ I _F = 1.0A	V _{FM}				1.0				V
Peak Reverse Current @ T _A = 25°C	I _{RM}				5.0				µA
at Rated DC Blocking Voltage @ T _A = 100°C					50				
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C _J		15				8		pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	R _{JA}				100				K/W
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	T _A				+150				°C
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}				-65 to +150				°C

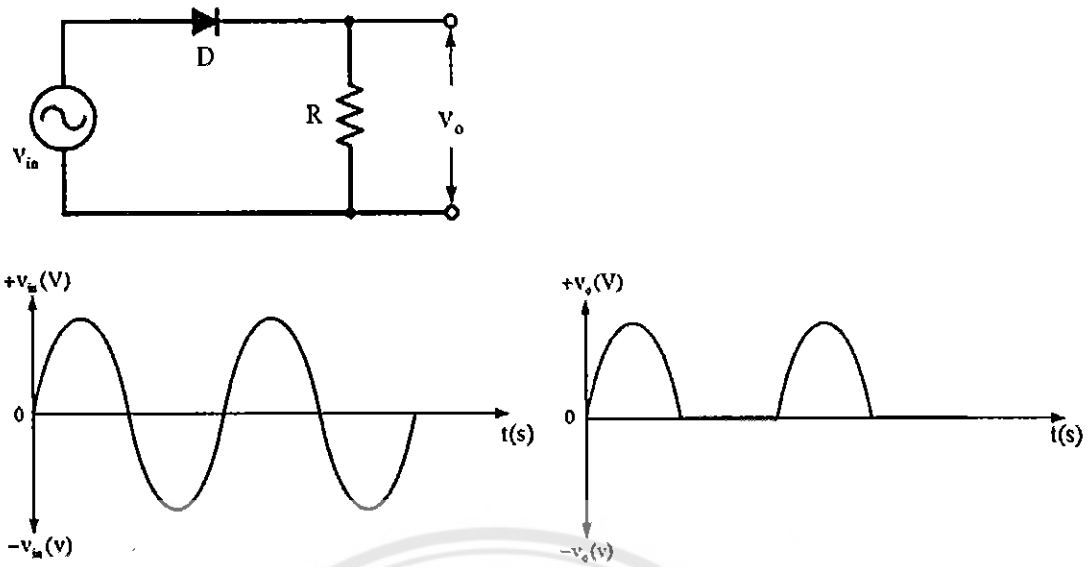
NOTE: 1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 0.5mm from the case.
2. Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 8.0V DC.
3. EU Directive 2002/95/EC (RoHS). All applicable RoHS exemptions applied, see EU Directive 2002/95/EC Annex Notes.

รูปที่ 2.6 เอกสารอ้างอิงข้อมูลของไดโอด เบอร์ 1N4001-1N4007

การอ่านค่าเอกสารอ้างอิงข้อมูล จะแสดงข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นในการเลือกใช้งานไดโอด ได้อย่างถูกต้องดังรูปที่ 2.6 ซึ่งควรอ่านและเข้าใจในตัวเลขที่สำคัญ 4 ค่า คือ

1. แรงดันตกคร่อมเมื่อนำกระแส (Forward Voltage Drop)
2. กระแสเฉลี่ยเมื่อไดโอดได้รับ ไบแอสตรง (Average forward Current)
3. กระแสไบแอสกลับสูงสุด (Peak Reverse Current)
4. แรงดันเบรกดาวน์ (Breakdown Voltage)

การนำไดโอดไปใช้งานในวงจรตัวคูณแบบอนุกรมไดโอดตัดทางลบหรือเรียกอีกอย่างว่าวงจรเรียงกระแสดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงวงจรตัวคูณรูปคลื่นแบบอนุกรมทางลบและกราฟรูปคลื่นแรงดันค้ำเข้ากับค้ำออก

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าแรงดันกระแสสลับค้ำเข้าจะมีคลื่นสลับขึ้นลงค้ำบวกับค้ำลบ แต่เมื่อผ่านไดโอดแล้วจะทำให้คลื่นส่วนค้ำลบหายไปทำให้เป็นแรงดันกระแสตรง สามารถหาค่าแรงค้ำขออกได้จาก

$$V_o = I_D \times R \quad (2.3)$$

$$R = \sqrt{r_F + r_R} \quad (2.4)$$

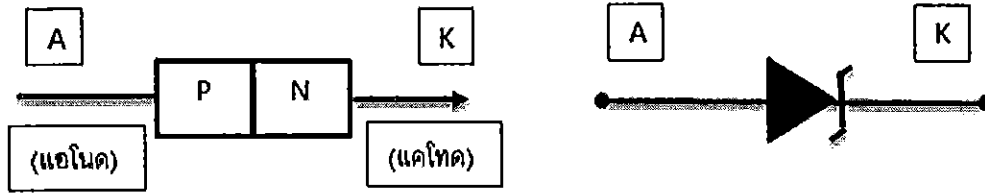
ค่า r_F , r_R หาได้จากสมการที่ (2.1) และ (2.2)

$$I_D = \frac{V}{R} \quad (2.5)$$

2.2 ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode)

ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) เป็นไดโอดชนิดพิเศษที่สร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่รักษาแรงค้ำให้คงที่มีโครงสร้างเหมือนไดโอดธรรมดาทั่วไป ดังรูปที่ 2.8 แต่ไดโอดธรรมดาทั่วไปเมื่อทำการไบอัสกลับจนถึงค่าแรงค้ำเบรคคาว์นจะทำให้เกิดการเสียหายได้ ซีเนอร์ไดโอดเป็นไดโอดที่ผลิตจากสารซิลิกอนที่มีปริมาณความหนาแน่นของสารเจือปนในส่วนของสารพีและเอ็นมีค่าสูงกว่าปกติ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะทำให้ค่าแรงค้ำเบรคคาว์นสูง และค่าแรงค้ำเบรคคาว์นหรือแรงค้ำซีเนอร์สามารถกำหนดได้ด้วยการควบคุมความหนาแน่นของสารเจือปนและเมื่อให้ไบอัสกลับจะ

สามารถทนกระแสย้อนกลับได้สูง โดยไดโอดไม่เสียหาย แรงดันที่ตกคร่อมตัวซีเนอร์ไดโอดจะเป็นตัวควบคุมและรักษาแรงดันให้คงที่



ก. โครงสร้าง

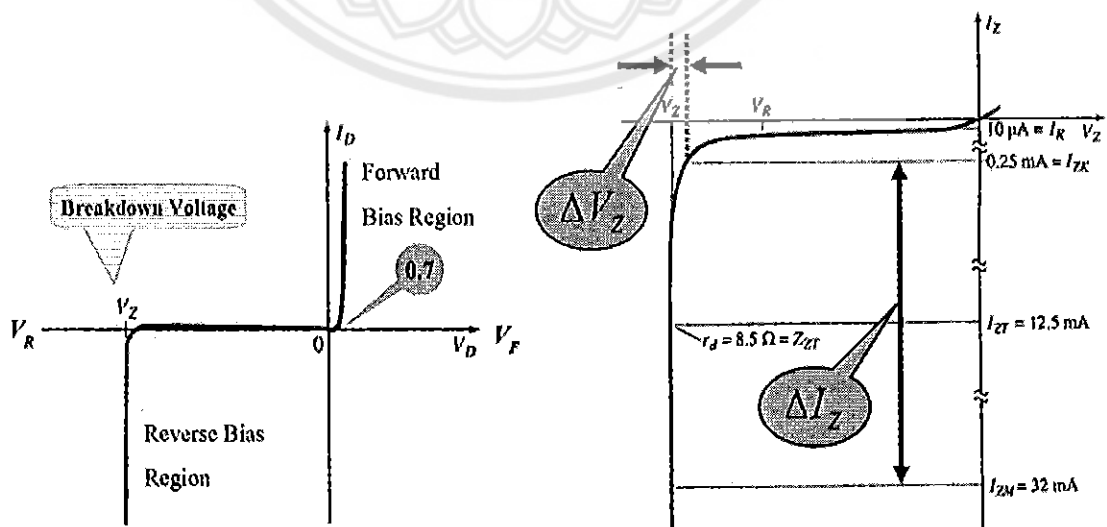
ข. สัญลักษณ์

รูปที่ 2.8 แสดง โครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด

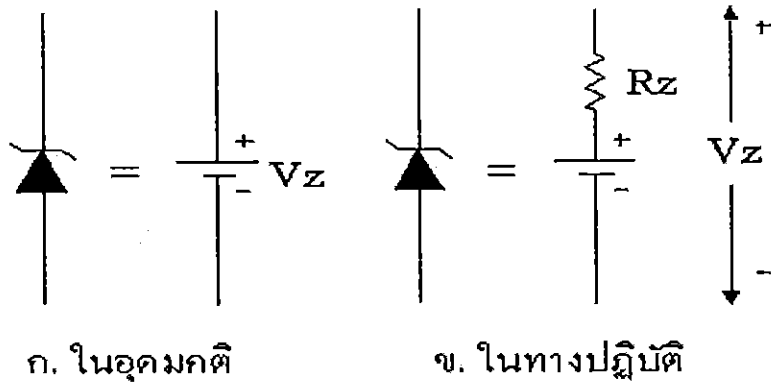
การพังทลายของซีเนอร์ไดโอดแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. การพังทลายแบบอะวาเลนซ์(Avalanche) คือเมื่อไดโอดได้รับไบอัสกลับแรงดันสูงสุดจนทำให้มีกระแสไหลย้อนกลับผ่านไดโอดจำนวนมากทำให้รอยต่อของไดโอดทะลุและใช้งานไม่ได้

2. การพังทลายแบบซีเนอร์ เป็นการพังทลายที่เกิดขึ้นกับแรงดันไบอัสกลับค่าต่ำๆซึ่งกำหนดได้จากการ โด๊ปสารกึ่งตัวนำที่ใช้ผลิตซีเนอร์ไดโอด การพังทลายแบบซีเนอร์นี้จะมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดจำนวนหนึ่ง ซึ่งต้องจำกัดไม่ให้เกินค่าพิกัดสูงสุดและจะเกิดสภาวะที่แรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดมีค่าคงที่เรียกว่า แรงดันซีเนอร์ คุณสมบัติข้อนี้สามารถนำซีเนอร์ไดโอดไปเป็นวงจรควบคุมแรงดันไฟตรงให้คงที่ได้



รูปที่ 2.9 แสดงกราฟลักษณะคุณสมบัติทางไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอด

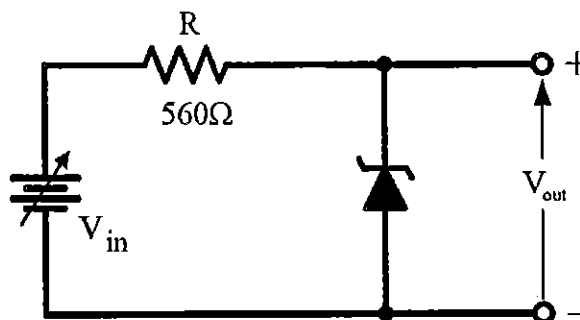


รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอด

จากกราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแรงดันและกระแส และวงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอด ดังรูปที่ 2.9 กับรูปที่ 2.10 V_z เป็นแรงดันเบรกควาน์หรือ แรงดันซีเนอร์ ในการพังทลายของซีเนอร์ ไดโอดเมื่อได้รับไบอัสกลับ เมื่อเพิ่มแรงดัน ไบอัสกลับจน ถึงค่าแรงดันซีเนอร์จะมีกระแสไหลผ่าน ซีเนอร์ไดโอดมากขึ้น ที่จุดเอียงของกราฟจะมีกระแสไหลผ่าน ซีเนอร์ไดโอดเท่ากับ I_z (knee current) ซึ่งเป็นกระแสบริเวณเส้นโค้งดังรูปที่ 2.10 และถ้าซีเนอร์ไดโอด ได้รับแรงดันย้อนกลับ สูงขึ้นอีก กระแสจะเพิ่มขึ้นแต่แรงดันซีเนอร์จะคงที่ แต่ถ้าเพิ่มกระแสเกิน กว่าค่ากระแสซีเนอร์ สูงสุด I_{zm} (maximum current) แรงดันซีเนอร์จะไม่คงที่และชำรุดได้สามารถหาได้จาก

$$R_z = \frac{\Delta V_z}{\Delta I_z} \tag{2.6}$$

การนำซีเนอร์ไดโอดมาใช้งานจำเป็นจะต้องทราบพิกัดต่างๆ ของซีเนอร์ไดโอดเช่น แรงดันซีเนอร์, อัตราทนกำลังไฟสูงสุด ยกตัวอย่างการนำซีเนอร์ไดโอดมาใช้ในการควบคุมแรงดัน ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.11 วงจรรักษาแรงดัน

จากวงจรรูปที่ 2.11 กำหนดให้ซีเนอร์ไดโอดที่มี $V_Z = 10 \text{ V}$ ต่อกับแหล่งจ่ายโดยมีความต้านทานจำกัดกระแสค่า 560Ω โดยที่ซีเนอร์ไดโอดมี $I_{ZK} = 4 \text{ mA}$, $I_{ZM} = 40 \text{ mA}$ จะต้องจ่าย V_{in} ย่านใด จึงทำให้ $V_{out} = 10 \text{ V}$ คงที่

จากสมการที่ (2.6) จะได้ว่า

$$I_{ZK} = \frac{V_Z}{R} \quad (2.7)$$

$$V_Z = 4 \text{ mA} \times 560 \Omega = 2.24 \text{ V}$$

$$V_{in} = V_R + V_Z = 2.24 + 10 = 12.24 \text{ V}$$

$$I_{ZM} = \frac{V_Z}{R} \quad (2.8)$$

$$V_Z = 40 \text{ mA} \times 560 \Omega = 22.4 \text{ V}$$

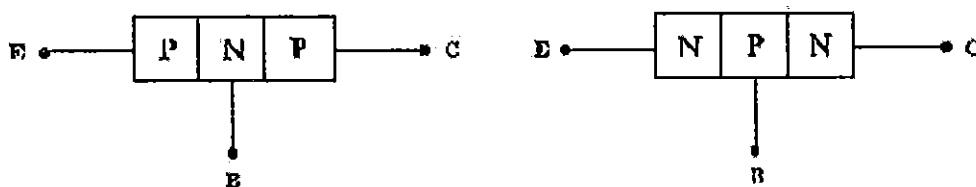
$$V_{in} = V_R + V_Z = 2.24 + 10 = 32.24 \text{ V}$$

ดังนั้น V_{in} ที่ใช้จะอยู่ในช่วง 12.24 V ถึง 32.24 V จะทำให้ $V_{out} = 10 \text{ V}$ คงที่

2.3 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

คือ สิ่งประดิษฐ์ทำจากสารกึ่งตัวนำมีสามขา (TREE LEADS) กระแสหรือแรงดัน เพียงเล็กน้อยที่ขาหนึ่งจะควบคุมกระแสที่มีปริมาณมากที่ไหลผ่านขาทั้งสองข้างได้ หมายความว่า ทรานซิสเตอร์เป็นทั้งเครื่องขยาย (AMPLIFIER) และสวิตช์ทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อเรียกด้วยชื่อว่า BJT (BIPOLAR JUNCTION TRANSISTOR)

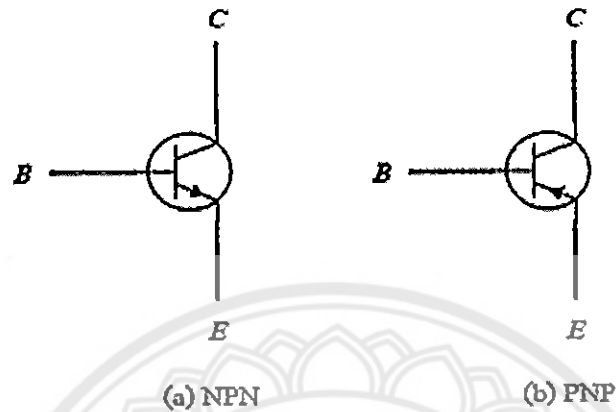
ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อหรือ BJT นี้ ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นต่อกัน โดยการเติมสารเจือปน (Doping) จำนวน 3 ชั้นทำให้เกิดรอยต่อ (Junction) ขึ้นจำนวน 2 รอยต่อ การสร้างทรานซิสเตอร์จึงสร้างได้ 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีสารชนิด N 2 ชั้น เรียกว่าชนิด NPN และชนิดที่มีสารชนิด P 2 ชั้น เรียกว่าชนิด PNP โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และชนิด PNP แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างทรานซิสเตอร์

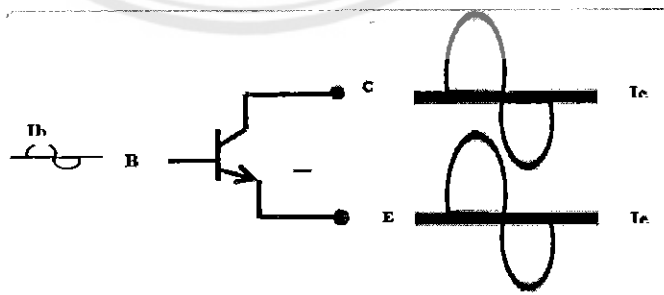
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าโครงสร้างของทรานซิสเตอร์จะมีสารกึ่งตัวนำ 3 ชั้น แต่ละชั้นจะต่อลวดตัวนำจากเนื้อสารกึ่งตัวนำไปใช้งานชั้นที่เล็กที่สุด(บางที่สุด)เรียกว่า เบส

(Base)ตัวอักษรย่อ B สำหรับสารกึ่งตัวนำชั้นที่เหลือนคือ คอลเลกเตอร์ (collector หรือ C) และ อิมิตเตอร์ (Emitter หรือ E) นั่นคือทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด NPN จะมี 3 ขา คือ ขาเบส ขาคอลเลกเตอร์ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์นิยมเขียนทรานซิสเตอร์แทนด้วยสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์

เนื่องจากทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีขั้ว 3 ขั้ว คือ ขั้วคอลเลกเตอร์ (Collector ; C), ขั้วเบส(Base ; B) และขั้วอิมิตเตอร์ (Emitter ; E) จึงมีกระแสและแรงดันทรานซิสเตอร์หลายค่า ดังนั้น ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ซึ่งถูกควบคุมด้วยกระแสเบส [Base Current; I_B] กล่าวคือ เมื่อ I_B มีการเปลี่ยนแปลงแม้เพียง เล็กน้อยก็จะทำให้กระแสอิมิตเตอร์ [Emitter Current; I_E] และกระแสคอลเลกเตอร์ [Collector Current; I_C] เปลี่ยนแปลงไปด้วยนอกจากนี้ถ้าเราเลือกบริเวณการทำงาน (Operating Region) หรือทำการไบอัสที่รอยต่อของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตำแหน่ง ให้เหมาะสม ก็จะได้ I_E และ I_C ซึ่งมีขนาดมากขึ้นเมื่อเทียบกับ I_B



รูปที่ 2.14 จ่ายสัญญาณให้ทรานซิสเตอร์

จากรูปที่ 2.14 เมื่อจ่ายสัญญาณกระแส AC ที่ขั้วเบส (I_B) หรือที่ด้านอินพุตของ ทรานซิสเตอร์ก็จะได้รับสัญญาณเอาต์พุตที่ขั้ว E (I_E) และที่ขั้ว C (I_C) มีขนาดเพิ่มขึ้นตัวประกอบ หรือเฟกเตอร์ที่ทำให้กระแสไฟฟ้า จากขั้วเบสไปยังขั้วคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น

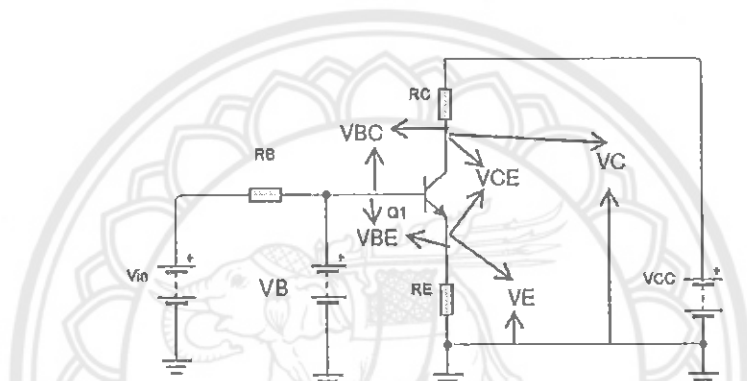
เรียกว่า อัตราขยายกระแสไฟฟ้า (Current Gain) ซึ่งแทนด้วยอักษรกรีก คือ เบต้า (β) ถ้าต้องการหาปริมาณ I_C ของทรานซิสเตอร์ ก็เพียงแต่คูณ I_B ด้วยพิกัด β เขียนเป็นสมการได้คือ

$$I_C = \beta \times I_B \quad (2.9)$$

$$I_E = I_B + I_C \quad (2.10)$$

$$I_C \sim I_E \quad (2.11)$$

แรงดันของทรานซิสเตอร์ขณะต่อทรานซิสเตอร์เพื่อใช้กับงานจริง มีแรงดันไฟฟ้าหลายประการเกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แรงดันจุดต่างๆของวงจรทรานซิสเตอร์ขณะทำงาน

V_{CC} , V_{EE} , และ V_{BB} เป็นแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง V_C , V_B และ V_E เป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากขั้ว C, B และ E V_{BC} , V_{BE} และ V_{CE} เป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ระหว่างขั้วที่ระบุตามหัวลูกศร

เมื่อนำหลักการ มาร่วมพิจารณา ทำให้ทราบว่าการทำงานที่จะนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานได้นั้น ต้องต่อแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำการไบอัสที่รอยต่อหรือไดโอดเทียบเคียงทั้งสองเนื่องจากทรานซิสเตอร์มี 3 ขั้วการต่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงานจึงเป็นไปได้ 3 แบบคือ

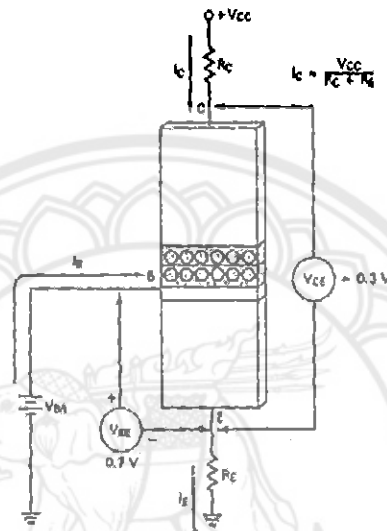
1. การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณคัตออฟ (Cut-off Region)
2. การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณอิ่มตัว (Saturation Region)
3. การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณแอกทีฟ (Active Region)

ในการอธิบายถึงการทำงานที่บริเวณต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์นั้น จะเริ่มต้นจากกรณีไม่มีการต่อแรงดันที่ขั้ว ของทรานซิสเตอร์ หรือกรณีไม่ได้รับการไบอัส

การทำงานที่บริเวณคัตออฟ คือการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณคัตออฟเป็นการไบอัสกลับที่รอยต่อทั้ง 2 ตำแหน่ง ซึ่งจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านขั้วทั้งสามมีค่าใกล้ศูนย์จากการต่อวงจรในลักษณะดังกล่าวบริเวณปลอดพาหะทั้งสองบริเวณจะขยายกว้างขึ้น

จึงมีเพียงกระแสย้อนกลับ (Reverse Current) กระแสรั่วไหลปริมาณต่ำมากเท่านั้นที่ไหลจากคอลเลกเตอร์ไปยังอิมิตเตอร์ได้

การทำงานที่บริเวณอิมิตตัว จากสมการที่ 2.9 ทำให้ทราบว่าถ้าค่า I_B เพิ่มขึ้น I_C ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อ I_E เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด หรือ เรียกว่า ทรานซิสเตอร์เกิดการอิมิตตัว ณ ตำแหน่งนี้ ค่า I_C จะเพิ่มตามค่า I_B ไม่ได้อีกแล้วการหาค่า I_C ทำได้โดยใช้ V_{CC} หารด้วยผลรวมของความต้านทานที่ขั้วคอลเลกเตอร์(R_C)กับความต้านทานที่ขั้วอิมิตเตอร์(R_E) ดังรูปที่ 2.16

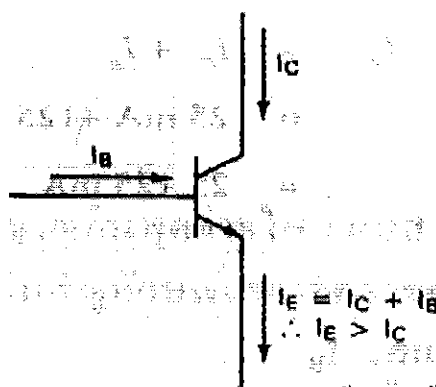


รูปที่ 2.16 วงจรทรานซิสเตอร์ขณะอิมิตตัว

สมมติขณะที่ V_{CE} ของทรานซิสเตอร์มีค่า 0 V (สภาพในอุดมคติ) I_C จะขึ้นอยู่กับค่า V_{CC} , R_C และ R_E ดังนี้

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \quad (2.12)$$

การทำงานที่บริเวณแอกทีฟคือ การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณแอกทีฟเป็นการแอกทีฟเป็นการไบอัสตรงที่รอยต่อ อิมิตเตอร์ - เบส และไบอัสกลับที่รอยต่อคอลเลกเตอร์ - เบส ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การไบอัสทรานซิสเตอร์

การอธิบายหลักการทำงานของทรานซิสเตอร์ในบริเวณนี้จะง่ายขึ้น ถ้าพิจารณาเฉพาะรอยต่ออิมิตเตอร์-เบส โดยแทนด้วยสัญลักษณ์ของไดโอด ดังรูปที่ 2.17 [สมมติ V_{BE} มีค่ามากพอที่จะทำให้ไดโอดทำงาน (Si ประมาณ 0.7 V และ Ge ประมาณ 0.3 V)] รอยต่อคอลเลกเตอร์-เบสได้รับการไบอัสกลับ ทำให้บริเวณปลอดพาหะกว้างกว่าที่รอยต่ออิมิตเตอร์-เบสซึ่งได้รับการไบอัสตรง ดังนั้น ความต้านทานที่เบส (R_B) จึงมีค่าสูง เมื่อพิจารณาในรูปที่ 2.19 ของไดโอดจะเห็นว่า I_B เป็นกระแสที่มีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับกระแสคอลเลกเตอร์ (I_C) และเป็นส่วนหนึ่งของ I_E ดังนั้น I_E ส่วนใหญ่จึงเป็นกระแส I_C ซึ่งผ่านรอยต่อคอลเลกเตอร์ - เบส ของทรานซิสเตอร์

ค่าพิกัดของทรานซิสเตอร์มีหลายประเภท ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงค่าพิกัดเฉพาะบางประเภท อันเป็นพื้นฐาน สำคัญสำหรับการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความเสียหายใด ๆ ซึ่งได้แก่ พิกัดเบตต้าไฟฟ้ากระแสตรง, พิกัดอัลฟาไฟฟ้ากระแสตรง, พิกัดกระแสไฟฟ้าสูงสุด และพิกัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเบตต้าไฟฟ้ากระแสตรง (β_{DC}) พิกัดเบตต้าไฟฟ้ากระแสตรงของทรานซิสเตอร์ซึ่งมักเรียกสั้น ๆ ว่าเบตต้า เป็นอัตราส่วนของ I_C ต่อ I_B เขียน เป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (2.13)$$

วงจรทรานซิสเตอร์ส่วนมากมีสัญญาณอินพุตจ่ายให้ขั้วเบส และสัญญาณเอาต์พุตออกจากขั้วคอลเลกเตอร์ เบตต้าของทรานซิสเตอร์จึงเป็นสัญลักษณ์แทนอัตราขยายกระแส DC (DC Current Gain) ของทรานซิสเตอร์ จากสมการ 2.9 และ 2.13 หาค่ากระแสอิมิตเตอร์ได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} I_C &= \beta \times I_B \\ I_E &= I_B + I_C \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$= I_B + \beta \times I_B$$

$$I_E = I_B \times (1 + \beta) \quad (2.15)$$

ใช้เบต้าและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วใดขั้วหนึ่งหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ขั้วอื่นๆ ได้ อัลฟาไฟฟ้ากระแสตรง (α_{DC}) พิกัดอัลฟาของทรานซิสเตอร์ ซึ่งมักเรียกสั้น ๆ ว่า อัลฟา คือ อัตราส่วน I_C ต่อ I_E เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad (2.16)$$

เมื่อนำกฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์มาร่วมพิจารณา จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ ขั้วทั้งสามของทรานซิสเตอร์เป็นดังสมการ (2.9) คือ

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_C = I_E - I_B$$

เนื่องจาก I_C มีค่าต่ำกว่า I_E (เป็นปริมาณเท่ากับ I_B) ดังนั้น α หรือ $\frac{I_C}{I_E}$ จึงมีค่าต่ำกว่า 1 จากสมการที่ (2.16) ทำให้ได้

$$I_C = \alpha \times I_E \quad (2.17)$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าว หาค่า I_B ได้ดังนี้

$$I_B = I_E - I_C$$

$$= I_E - (\alpha \times I_E)$$

$$I_B = I_E \times (1 - \alpha) \quad (2.18)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างอัลฟาและเบต้า (The Relationship Between Alpha and Beta) โดยทั่วไปสเปคของทรานซิสเตอร์จะระบุค่าเบต้า แต่จะไม่มีค่าอัลฟาเนื่องจากมักใช้ค่าเบต้าสำหรับการคำนวณในวงจรทรานซิสเตอร์มากกว่าอัลฟา แต่ในบางครั้งจำเป็นต้องหาค่าอัลฟาเพื่อคำนวณค่าอื่นต่อไป จึงมีวิธีการหาค่าอัลฟาในเทอมของเบต้า โดยเริ่มต้นจากสมการที่ 2.16

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

เขียนสมการใหม่โดยใช้สมการที่ (2.14) แทนค่า I_C และสมการที่ (2.15) แทนค่า I_E

$$\alpha = \frac{\beta}{(1 + \beta)} \quad (2.19)$$

$$I_E = (\beta + 1) \times I_B \quad (2.20)$$

สเปคของทรานซิสเตอร์ระบุค่าพิกัดสูงสุดของกระแสคอลเลกเตอร์ (I_{Cmax})ไว้เสมอ I_{Cmax} หมายถึง กระแสคอลเลกเตอร์สูงสุดที่ทรานซิสเตอร์ทนได้โดยไม่ทำให้เกิดความร้อนจนทรานซิสเตอร์เสียหาย ดังนั้นการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานต้องระวังไม่ให้ค่า I_C สูงกว่า I_{Cmax} ค่า I_{Cmax} จะขึ้นอยู่กับค่ากระแสเบสสูงสุด (I_{Bmax}) ดังนี้

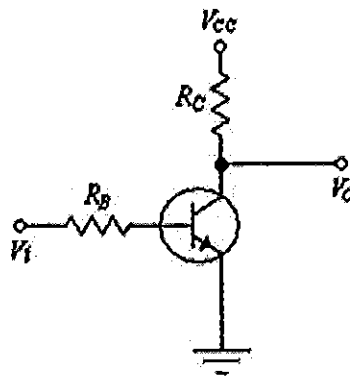
$$I_{Bmax} = \frac{I_{Cmax}}{\beta_{max}} \quad (2.21)$$

สเปคของทรานซิสเตอร์ส่วนมากจะระบุค่าพิกัดสูงสุดของแรงดันที่ขั้วคอลเลกเตอร์-เบส (V_{CBmax}) V_{CBmax} หมายถึง แรงดันไบอัสกลับที่ใช้กลับที่ใช้กับรอยต่อคอลเลกเตอร์-เบสได้โดยไม่ทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหาย ดังนั้นการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานจึงต้องระวังไม่ให้ V_{CB} สูงกว่า V_{CEmax}

ในการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานพอจะแบ่งเป็นหมวดใหญ่ ๆ ได้ 2 หมวด คือ

1. ในวงจรอนาล็อกหรือวงจรขยายสัญญาณ
2. ในวงจรดิจิทัลหรือวงจรสวิตซ์ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตซ์

ยกตัวอย่างทรานซิสเตอร์เป็นสวิตซ์ วงจรทรานซิสเตอร์สวิตซ์ (Transistor Switching Circuit) โดยปกติจะไม่มีกรไบอัสแรงดัน เนื่องจากทรานซิสเตอร์จะถูกให้ทำงานแค่สองโหมดเท่านั้นคือ โหมดอิ่มตัว (Saturation Mode) และ โหมดคัตออฟ (Cutoff Mode)



รูปที่ 2.18 วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์

จากรูปที่ 2.18 เป็นวงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์แบบพื้นฐาน ซึ่งการพิจารณาวงจรจะพิจารณาในกรณีที่ ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว (“ON”) หรือ นำกระแสกับทรานซิสเตอร์คัตออฟ (“OFF”) หรือ ไม่นำกระแส ซึ่งในวงจรดังกล่าวเอาต์พุตที่ได้ (V_O) จะกลับเฟสกับอินพุต (V_I) นั่นคือ ถ้าอินพุตเป็น High (V_I) เอาต์พุตจะมีค่าเป็น Low (0 Volt) และ ถ้าอินพุตเป็น Low เอาต์พุตจะมีค่าเป็น High (มีค่าใกล้เคียง V_{CC}) เรียกววงจรแบบนี้ว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เมื่อทรานซิสเตอร์ “ON” หรือ saturation

$$I_{Cset} = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (2.22)$$

การออกแบบจะต้องให้ I_B มีค่ามากพอที่จะทำให้ ทรานซิสเตอร์ “ON” อย่างเต็มที่ดังนั้น

$$I_B < \frac{I_{Cset}}{\beta_{DC}} \quad (2.23)$$

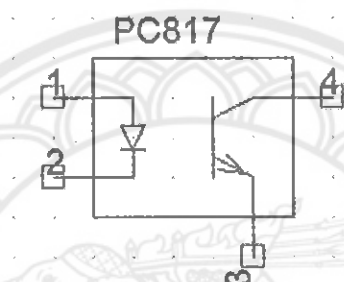
เมื่อแรงดันอินพุตเท่ากับ V_i และ R_B ดังนั้น

$$V_i = I_B \times R_B + V_{BE} \quad (2.24)$$

2.4 ออปโตคัปเปิลเลอร์ (Optocoupler)

เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง หรือออปโตคัปเปิลเลอร์ (Opto-Coupler) หรือบางทีก็เรียกว่า อุปกรณ์แยกสัญญาณทางแสง (Opto-Isolator) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการเชื่อมต่อทางแสง โดยการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นแสงแล้วเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม นิยมใช้สำหรับการ เชื่อมต่อสัญญาณระหว่างสองวงจร และต้องการแยกกันทางไฟฟ้าโดยเด็ดขาด เพื่อป้องกันการรบกวนกันทางไฟฟ้าระหว่างสองวงจร ภายในของอุปกรณ์ประเภทนี้ ประกอบด้วย

ไดโอดเปล่งแสง (LED) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งแสง (Optical Transmitter) เช่น แสงอินฟราเรด (Infrared) และสำหรับตัวรับแสง (Optical Receiver) ซึ่งมักนิยมใช้โฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) เป็นตัวรับ โดยจะถูกผลิตรวมอยู่ในตัวถังเดียวกัน โฟโต้ทรานซิสเตอร์ ทำงานได้ในลักษณะเดียวกับทรานซิสเตอร์รอยต่อคู่แบบ NPN แต่ไม่มีขาเบส (B) และถูกแทนที่ด้วยส่วนรับแสง เมื่อได้รับแสงหรืออนุภาคของแสง หรือที่เรียกว่า โฟตอน (Photons) ในปริมาณมากพอ จะทำให้เกิดอนุภาคอิสระที่มีประจุในบริเวณรอยต่อระหว่างเบสและคอลเลกเตอร์ (Base-Collector Region) และให้ผลเหมือนมีกระแสไหลเข้าที่ขาเบสรูปที่ 2.19 แสดงสัญลักษณ์ของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง แบบ 4 ขา (เบอร์ PC817)

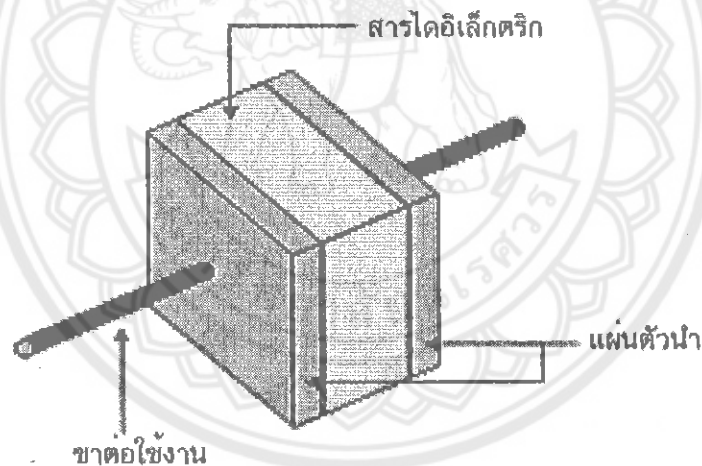


รูปที่ 2.19 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง ชนิด NPN Optocoupler

อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงสามารถรับสัญญาณอินพุต (ดิจิทัล) เช่น จากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้เปิด-ปิด ไดโอดเปล่งแสงที่อยู่ภายในตัวอุปกรณ์ (ทำให้มีกระแสไหลไดโอดเปล่งแสง) และทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ด้วยแสง ดังนั้นจึงนำไปใช้ในลักษณะเป็นอุปกรณ์สวิตช์เปิด-ปิด หรือนำไปต่อกับวงจรทรานซิสเตอร์ภายนอกเพื่อให้สามารถขับกระแสได้ในปริมาณที่สูงขึ้น เมื่อแรงดันอินพุตอยู่ในระดับที่สูงกว่าแรงดันไบอัสตรงของไดโอดเปล่งแสง (VF) จะทำให้เกิดกระแสไหล หรือที่เรียกว่า กระแสอินพุต หรือ กระแสไบอัสตรง (IF) ทำให้ไดโอดเปล่งแสงตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหล ในการต่อวงจรจะต้องมีตัวต้านทานต่ออนุกรมอยู่ด้วย เพื่อจำกัดปริมาณของกระแสที่ไหลไม่ให้สูงเกิน ซึ่งขึ้นอยู่กับอุปกรณ์แต่ละตัวที่ใช้ แต่โดยทั่วไปแล้ว ควรจะให้อยู่ในช่วง 5-50 มิลลิแอมป์ (mA) เมื่อโฟโต้ทรานซิสเตอร์ได้รับแสงจะทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้ระหว่างขา C และ E ซึ่งให้ผลเหมือนในกรณีที่จ่ายกระแส เข้าที่ขาเบส (B) ของทรานซิสเตอร์รอยต่อคู่แบบ NPN และถ้ามีแรงดันตกคร่อมที่ขา C และขา E ($V_{CE} > 0V$) ก็จะทำให้มีกระแสดันออกพุทไหล

2.5 ตัวเก็บประจุ (capacitor)

ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าเอาไว้ภายในตัวมันแล้วจ่ายให้กับวงจรในเวลาที่ต้องการได้ ตัวเก็บประจุจึงเปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในวงจรเพื่อใช้งาน ในช่วงที่วงจรมีระดับของแรงดันไม่เพียงพอ ตัวเก็บประจุมักถูกใช้ในการรักษาระดับแรงดันในวงจร ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าตัวเก็บประจุทำหน้าที่เป็นตัวกรองแรงดันไฟฟ้า นอกจากนี้ตัวเก็บประจยังถูกใช้ในการกั้นกระแสไฟตรง โดยยอมให้เพียงกระแสไฟสลับผ่านได้ หรืออาจใช้ลัดวงจร ให้กระแสไฟสลับลงดิน ในบางครั้งเราอาจเรียกตัวเก็บประจุแบบทับศัพท์ว่าคาปาซิเตอร์หรือคอนเดนเซอร์ (condenser) หรือเรียกย่อๆ ว่า ซี (C) ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์สะสมพลังงานไฟฟ้า ในรูปของประจุไฟฟ้าซึ่งถูกควบคุมด้วยสนามไฟฟ้า โครงสร้างพื้นฐานของตัวเก็บประจุประกอบไปด้วยแผ่นตัวนำสองแผ่นที่ถูกคั่นไว้ด้วยสารไดอิเล็กตริกดังแสดงในรูปที่ 2.20 สารไดอิเล็กตริกที่นิยมนำมาใช้ทำตัวเก็บประจุ ได้แก่ อากาศ กระจก ยาง น้ำมัน เซรามิก ไมก้า (mica) น้ำยาอิเล็กทรอนิกส์ ไลต์พลาสติก หรือเทฟลอน (teflon) สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.20 โครงสร้างพื้นฐานของตัวเก็บประจุ



(ก) ชนิดมีขั้ว



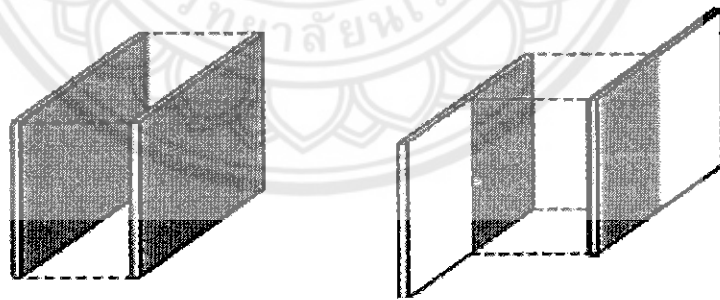
(ข) ชนิดไม่มีขั้ว

รูปที่ 2.21 สัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีความสามารถในการเก็บสะสมประจุไฟฟ้าแตกต่างกัน ทำนองเดียวกับตัวต้านทาน ที่มีค่าความต้านทาน ซึ่งบอกถึงขนาดความสามารถในการต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าของตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ก็มีค่าความจุซึ่งเป็นปริมาณที่ใช้บอกว่าตัวเก็บประจุมีความสามารถในการเก็บสะสมประจุได้มากน้อยเพียงใดค่าความจุมี หน่วยเป็นฟารัด (farad หรือตัวย่อ F) โดยตั้งชื่อให้เป็นเกียรติแก่นักวิทยาศาสตร์ ชื่อไมเคิล ฟาราเดย์(Michael Faraday) ค่าความจุของตัวเก็บประจุในทางกายภาพนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการคือ

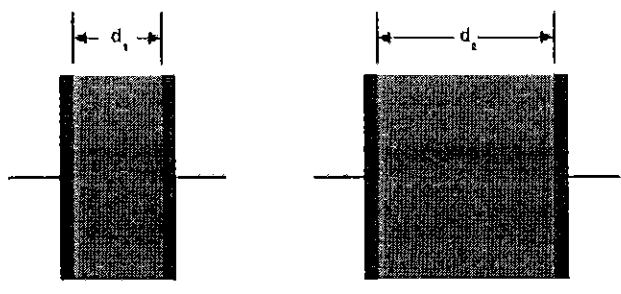
1. พื้นที่ส่วนที่ซ้อนกันของแผ่นตัวนำ
2. ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ
3. ชนิดของไดอิเล็กตริกที่นำมาใช้ทำตัวเก็บประจุ

พื้นที่ส่วนที่ซ้อนกันของแผ่นตัวนำ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการกำหนดขนาดของค่าความจุ โดยถ้าเราวางแผ่น ตัวนำซ้อนกันเต็มแผ่นตามรูปที่ 2.22 (ก) ตัวเก็บประจุก็สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้มาก แต่ถ้าเราวางแผ่นตัวนำให้ซ้อนกัน น้อย ดังรูปที่ 2.22 (ข) ก็จะทำให้ตัวเก็บประจุสามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ลดน้อยลง ในทางปฏิบัติเรานำเอาหลักการของการ เปลี่ยนค่าความจุของตัวเก็บประจุ โดยการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของส่วนที่ซ้อนกันของแผ่นตัวนำนี้ไปสร้างเป็นหนึ่งของตัวเก็บ ประจุ ชนิดปรับค่าได้ หรืออีกประการหนึ่ง ถ้าพื้นที่ของแผ่นตัวนำมีขนาดเล็กก็จะทำให้ตัวเก็บประจุสามารถเก็บประจุไฟฟ้า ได้น้อย ในทางตรงกันข้าม ถ้าพื้นที่ของแผ่นตัวนำมีขนาดใหญ่ ก็จะทำให้ตัวเก็บประจุสามารถเก็บประจุไฟฟ้า ได้มากด้วย



(ก) เมื่อแผ่นตัวนำซ้อนกันเต็มพื้นที่ค่าความจุมาก (ข) เมื่อแผ่นตัวนำซ้อนกันไม่เต็มพื้นที่ค่าความจุน้อย
รูปที่ 2.22 ลักษณะพื้นที่ส่วนที่อยู่ซ้อนกันของแผ่นตัวนำที่มีผลต่อค่าความจุ

ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ จะมีผลต่อปฏิกิริยาระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง โดยถ้าเราวางแผ่นตัวนำทั้งสองให้มีระยะห่างน้อยลง จะทำให้ค่าความจุเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 2.23 (ก) แต่ถ้าเราเลื่อนแผ่นตัวนำทั้งสองออกให้มีระยะห่างกันมากๆ จะมีผลทำให้ค่าความจุลดลง ดังรูปที่ 2.23 (ข)



(ก) ระยะห่างน้อย ค่าความจุมาก (ข) ระยะห่างมาก ค่าความจุน้อย

รูปที่ 2.23 ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำที่มีต่อค่าความจุ

ชนิดของไดอิเล็กตริกที่นำมาใช้ทำตัวเก็บประจุ ค่าเพอร์มิตติวิตีหรือสภาพยอม (สัญลักษณ์คือ ϵ) ของสาร ไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นค่าเฉพาะตัวของสารไดอิเล็กตริก เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความจุของตัวเก็บประจุ ถ้าใช้สาร ไดอิเล็กตริกที่มีค่าเพอร์มิตติวิตีมาก ก็จะได้ตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุมาก โดยทั่วไปค่าเพอร์มิตติวิตีจะบอกมาเป็น ค่าเพอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์ (สัญลักษณ์คือ ϵ_r) หรือค่าคงตัวไดอิเล็กตริกคือเป็นค่าเพอร์มิตติวิตีของสารเมื่อเทียบกับ ค่าเพอร์มิตติวิตีของอากาศ โดยถือว่าอากาศมีค่าเพอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์เป็นหนึ่งในนั้น นั่นคือค่าเพอร์มิตติวิตีของสาร ไดอิเล็กตริก จะมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างค่าเพอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์ของสารไดอิเล็กตริกนั้นกับค่าเพอร์มิตติวิตีของอากาศ ค่าเพอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์ หรือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของสารไดอิเล็กตริก ที่นิยมนำมาใช้ทำตัวเก็บประจุชนิดต่างๆจะแสดงไว้ในตารางที่ 1 ตัวอย่าง ถ้าเราใช้ไดอิเล็กตริกชนิดเซรามิก (ceramic) แทน ไดอิเล็กตริกชนิดอากาศ เราจะได้ตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุ เพิ่มขึ้น 3 เท่าของไดอิเล็กตริกชนิดอากาศ เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงหรือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของสาร ไดอิเล็กตริก

วัสดุ	ค่า ϵ_r
สุญญากาศ	1
อากาศ	1.0006
เทฟลอน	2.0
ยาง	2 - 3
กระดาษ	2 - 3
เซรามิก	3 - 7
ควอร์ต	4
น้ำมันหล่อลื่น	4.0
แก้ว	4 - 7
ไมกา	5 - 7

ในเชิงคณิตศาสตร์เราสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ พื้นที่ของแผ่นตัวนำ ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ และค่าคงตัวไดอิเล็กตริกได้ดังสมการ

$$C = \frac{A\epsilon_0\epsilon_r}{d} \quad (2.25)$$

โดยที่ A = พื้นที่ของแผ่นตัวนำ (m^2)

ϵ_0 = ค่าเพอร์มิตติวิตีของอากาศมีค่า 8.85×10^{-12} F/m (farad/m)

ϵ_r = ค่าเพอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์หรือค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของสารไดอิเล็กตริก (dielectric constant หรือ relative permittivity)

d = ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (m)

จากสมการที่ (2.25) จะเห็นได้ว่าค่าความจุจะแปรผันตรงกับพื้นที่ของแผ่นตัวนำและค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของสารที่ใช้ทำไดอิเล็กตริกนั่นคือถ้าพื้นที่ของแผ่นตัวนำเพิ่มมากขึ้น ค่าความจุก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ทำนองเดียวกันถ้าใช้สาร ไดอิเล็กตริกที่มีค่าคงตัว ไดอิเล็กตริกมากกว่าค่าความจุก็จะมากตาม ในทางตรงกันข้ามค่าความจุจะแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำขึ้น ค่าความจุจะมีค่าลดลงเมื่อพิจารณาตัวเก็บประจุในมุมมองทางไฟฟ้า ตัวเก็บประจุนั้นสามารถสะสมพลังงานในรูปของประจุไฟฟ้าโดยอาศัยสนามไฟฟ้าที่ได้จากการต่อขั้วของตัวเก็บประจุเข้ากับแหล่งจ่าย ค่าความจุ (ใช้ตัวย่อ C) ซึ่งเป็นสิ่งที่ใช้วัดความสามารถในการเก็บประจุของตัวเก็บประจุก็คือ ปริมาณของประจุที่เก็บสะสมไว้ได้ต่อค่าแรงดันตกคร่อมระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง ดังสมการที่ (2.26)

$$C = \frac{Q}{V} \text{ หรือ } Q = C \times V \quad (2.26)$$

เมื่อ C คือค่าความจุ (ฟารัด) Q คือประจุไฟฟ้า (คูลอมบ์) และ V คือแรงดัน (โวลต์) ค่าความจุมีหน่วยเป็นฟารัด(Farad หรือ F) ดังนั้นเราสามารถกล่าวได้ว่า ค่าความจุหนึ่งฟารัดคือค่าความจุที่ต้องใช้ในการเก็บประจุหนึ่งคูลอมบ์ด้วยแรงดันหนึ่งโวลต์ หรือค่าความจุซึ่งเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าหนึ่งโวลต์แล้วทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสะสมในตัวเก็บประจุหนึ่งคูลอมบ์ ค่าความจุหนึ่งฟารัดจะเป็นหน่วยที่ใหญ่มาก ดังนั้นโดยปกติแล้วขนาดของตัวเก็บประจุที่พบเห็นทั่วไปจะมีค่าเล็กๆ เช่น $pF = 10^{-12}$ F, $nF = 10^{-9}$ F หรือ $\mu F = 10^{-6}$ F เป็นต้น

การนำตัวเก็บประจุมาใช้ วงจรคาปาซิเตอร์ (Capacitor Filter Circuit) เป็นวงจรฟิลเตอร์ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ทาหน้าที่กรองแรงดันให้เรียบ ตัวเก็บประจุรองกระแสจะทำการเก็บประจุเมื่อแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าน้อยกว่าแหล่งจ่าย และจะทำการคายประจุให้กับโหลด

17194961

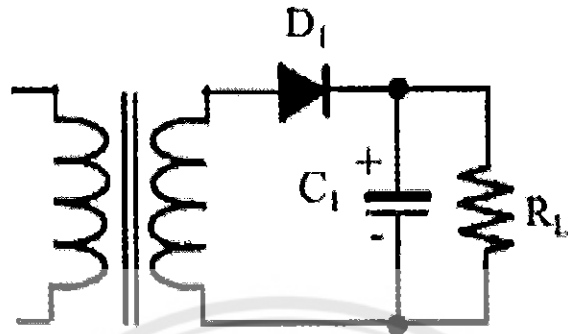
ป
K1660
2558



สำนักหอสมุด

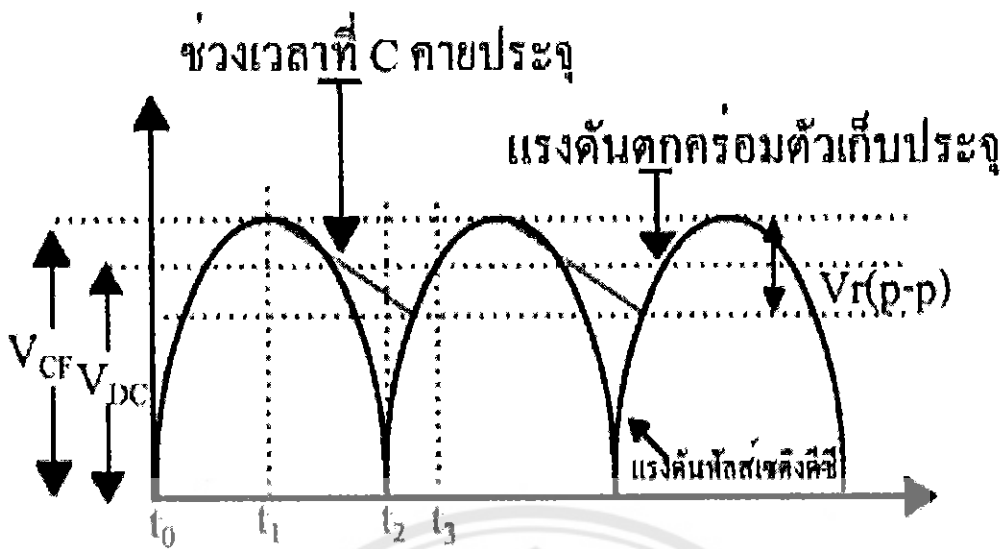
110 ต.ร. 2560

เมื่อแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่ามากกว่าแหล่งจ่าย ดังนั้นเมื่อมีแรงดันจากวงจรเรียงกระแส
ป้อนที่วงจรกรองกระแสจะทำให้ตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุ และเมื่อไม่มีแรงดันจากวงจรเรียง
กระแสตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่คายประจุให้กับโหลด



รูปที่ 2.24 วงจรกรองกระแสแบบครึ่งคลื่น

จากรูปที่ 2.24 เป็นวงจรกรองกระแสแบบครึ่งคลื่นซึ่งมี D_1 ทำหน้าที่เรียงกระแส และ C_1 เป็นตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่กรองแรงดันจากวงจรเรียงกระแส โดยมีตัวต้านทาน R_L เป็นโหลดเพื่อรับค่าแรงดันที่ได้เมื่อมีแรงดันพัลส์เซตติงดีซีจากวงจรเรียงกระแส ป้อนเข้ากรองกระแสแบบครึ่งคลื่นตัวเก็บประจุจะทำการเก็บประจุ ทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุสูงขึ้นจนค่า V_m จากนั้นแรงดันพัลส์เซตติงดีซีที่มีค่าสูงสุดจะมีค่าลดลงเหลือศูนย์โวลต์ ในช่วงเวลานี้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่ามากกว่าแรงดันพัลส์ดีซี ทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุให้กับ โหลด แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าลดลง จนแรงดันพัลส์เซตติงดีซีมีค่าเพิ่มขึ้นอีก (แต่ในช่วงแรก ๆ แรงดันพัลส์เซตติงดีซียังมีค่าน้อยตัวเก็บประจุจะยังคงคายประจุ) เมื่อแรงดันพัลส์เซตติงดีซีจากวงจรเรกติไฟร์มีค่ามากกว่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ จะทำให้ตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุอีกครั้ง จนแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าถึงค่า V_M หลังจากนั้นตัวเก็บประจุจะทำการคายประจุอีกครั้ง ที่เวลา t_0 แรงดันพัลส์เซตติงดีซีจะมีค่าเป็นศูนย์ และแรงดันตกคร่อม C_1 มีค่าเป็นศูนย์โวลต์ เมื่อเวลาผ่านไป $(t_0 - t_1)$ แรงดันพัลส์เซตติงดีซีจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ C_1 จะทำการเก็บประจุทำให้แรงดันตกคร่อม C_1 มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับแรงดันพัลส์เซตติงดีซี

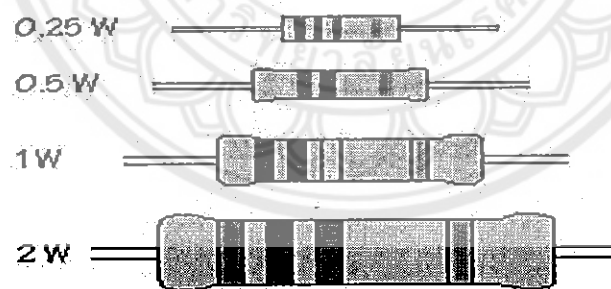


รูปที่ 2.25 การทำงานของวงจรคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์และรูปคลื่นแรงดันด้านออก

2.6 ตัวต้านทาน (Resistor)

ตัวต้านทาน (Resistor) มีมากมายแตกต่างกันทั้งขนาดและรูปร่าง แต่ก็ทำหน้าที่อย่างเดียวกันคือ จำกัดกระแส (Limit current) ยกตัวอย่างตัวต้านทานชนิดค่าคงที่

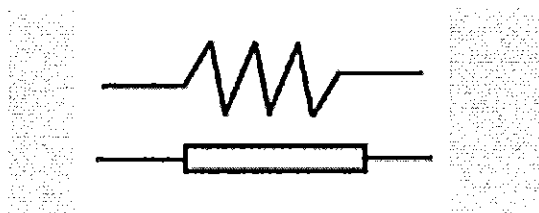
ตัวต้านทานที่พบเห็นได้ง่ายในวงจรมักจะเป็นตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ ตัวอย่างของตัวต้านทานแบบนี้แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างตัวต้านทานชนิดค่าคงที่แบบต่างๆ

ตัวต้านทานที่มีค่าคงที่เหล่านี้บางชนิดทำมาจากคาร์บอนเคลือบด้วยพลาสติกหรือเซรามิก แข็งสีดำหรือสีน้ำตาล ตัวต้านทานบางแบบทำด้วยสารจำพวก โลหะออกไซด์ ตัวต้านทานชนิดนี้โดยทั่วไปจะมีค่าผิดพลาดน้อย (Tolerance) หรือมีค่าความถูกต้องเชื่อถือได้ตามที่บอกค่าไว้ที่เป็นได้ตัวต้านทานคงที่ชนิดลวดพัน (wire wound) ตัวต้านทานชนิดนี้ทำมาจากลวดความต้านทานพันรอบแกนฉนวน ซึ่งทำด้วยสารจำพวกเซรามิก ตัวต้านทานชนิดนี้มีลักษณะสมบัติพิเศษคือ

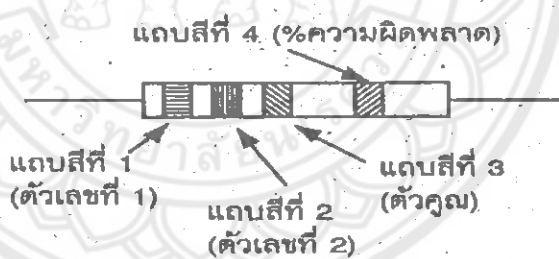
สามารถทนต่อการไหลของกระแสผ่านตัวมันได้สูงกว่าตัวต้านทานแบบอื่น สัญลักษณ์ของตัวต้านทานชนิดค่าคงที่



รูปที่ 2.27 สัญลักษณ์ของตัวต้านทานชนิดค่าคงที่

หน่วยที่ใช้วัดค่าความต้านทานเรียกว่า โอห์มจากนิยามความต้านทานหนึ่งโอห์มหมายความว่าเมื่อป้อนแรงดันคร่อมตัวต้านทานหนึ่ง โวลต์แล้วมีค่ากระแสไหลผ่านหนึ่งแอมแปร์ ตัวต้านทานนั้นจะมีค่าหนึ่ง โอห์ม โครงสร้างและขนาดของตัวต้านทานที่ทนกำลังงานได้ต่างกัน เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความต้านทานเรียกว่า โอห์มมิเตอร์(ohmmeter) แต่เมื่อใช้ตัวต้านทานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์

การอ่านค่าตัวต้านทาน ในการที่จะวัดตัวต้านทานที่อยู่ในวงจรทำได้ยาก เพราะไม่สะดวกต่อการวัด ดังนั้นผู้ผลิตจึงกำหนดสัญลักษณ์สีแทนค่าความต้านทานค่าตัวต้านทานกำหนดด้วยแถบสีสามสีที่พิมพ์ติดอยู่บนตัวต้านทานและการกำหนดค่าความผิดพลาด(tolerance)ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.28 แถบสีตัวต้านทาน

โดยปกติมีค่าเช่นน้อยกว่า 5% หรือน้อยกว่า 10% จะใช้แถบสีแถบที่สี่เป็นตัวบอกแถบสีสองสีแรกคือแถบสีแถบ A และแถบ B เป็นตัวเลขที่บอกค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่เป็นตัวเลขนัยสำคัญ (Significant digit) ส่วนในแถบ C เป็นตัวที่จะบอกให้ทราบว่า มีจำนวนต่อท้ายอยู่จำนวนเท่าใด หรือกล่าวได้ว่าเป็นตัวคูณ(multiplier) ด้วยสัญลักษณ์กำลังค่าของแถบสีแถบ C ส่วนในแถบสีแถบ D นั้น จะเป็นสีทองหรือแถบสีเงิน แถบสีทองมีความหมายเป็นค่าผิดพลาดได้ไม่เกิน 5% ส่วนแถบสีเงินจะบอกความหมายเป็นค่าความผิดพลาด 10% ถ้าในแถบสี D มิได้พิมพ์สีใดไว้ให้ถือว่ามีความผิดพลาดได้ไม่เกิน 20% ค่าความผิดพลาดจะเป็นช่วงที่บอกค่าความต้านทาน

จะผิดพลาดไปจากค่าที่อ่านจากแถบสีมาน้อยเพียงใดสีแต่ละสีที่ใช้เป็นสัญลักษณ์ที่แทนค่าตัวเลขใดตัวเลขหนึ่งมีค่า 0 ถึง 9 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2.2 ตารางแถบสีบอกขนาดของตัวต้านทาน

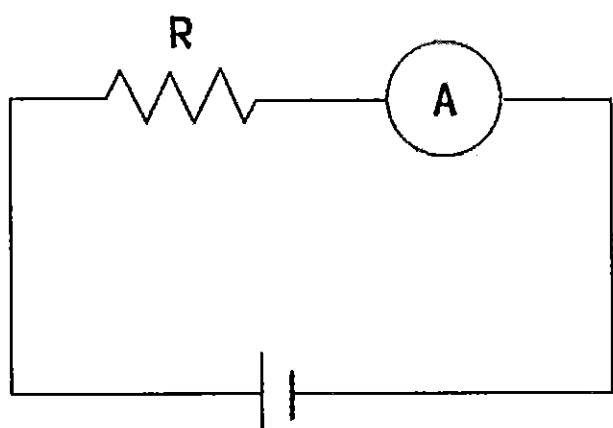
รหัสสี (Color Code)	แถบสีที่ 1 ตำแหน่ง 1	แถบสีที่ 2 ตำแหน่ง 2	แถบสีที่ 3 ตัวคูณ	แถบสีที่ 4 เปอร์เซ็นต์ผิดพลาด
ดำ	0	0	1	20%(M)
น้ำตาล	1	1	10	1%(F)
แดง	2	2	100	2%(G)
ส้ม	3	3	1,000	-
เหลือง	4	4	10,000	-
เขียว	5	5	100,000	0.5%(D)
น้ำเงิน	6	6	1,000,000	0.25%(C)
ม่วง	7	7	-	0.1%(B)
เทา	8	8	-	0.05%(A)
ขาว	9	9	-	-
ทอง	-	-	0.1	5%(J)
เงิน	-	-	0.01	10%(K)

ตัวอย่าง การอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทาน

แถบสี	1	2	3	4
สี	ม่วง	เขียว	แดง	ทอง
ตัวเลข	7	5	2	ค่าผิดพลาด 5%

แถบสี 1 และ 2 เป็นเลขนัยสำคัญ 75 แถบสี 3 สีแดงมีความหมายเป็นตัวคูณด้วย 10^2 แถบสี 4 เป็นค่าผิดพลาด 5% นั่นคือความต้านทานจะมีค่าเป็น 7500 โอห์ม 5% หรือ 7.5 kค่าผิดพลาดไม่มากกว่า 5%

ยกตัวอย่างการนำตัวต้านทานมาใช้งานตัวต้านทานนั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวลดกระแสที่ไหลผ่าน ยิ่งความต้านทานมากกระแสก็จะยิ่งน้อยตามคั้งกฎของโอห์ม $V = I_R$, $I = \frac{V}{R}$ ยกตัวอย่างการนำมาใช้ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.29 วงจรอนุกรม

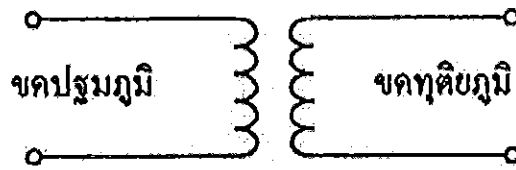
กำหนดให้แหล่งจ่าย $V = 10$ โวลต์, $R = 50$ โอห์ม หาค่า I ว่าได้กี่แอมป์
 จาก $I = \frac{V}{R} = \frac{10}{50} = 0.2$ แอมป์ หากใช้ $R = 500$ โอห์ม $I = \frac{V}{R} = \frac{10}{500} = 0.02$ แอมป์ ดังนั้นจะ
 เห็นได้ว่าค่ากระแสที่ได้นั้นมีการเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน ฉะนั้นเมื่อจะใช้งาน
 ควรรู้แรงดันและกระแสที่จะใช้งานก่อน จึงจะหาค่าตัวต้านทานมาใช้ได้อย่างเหมาะสม

2.7 หม้อแปลงไฟฟ้า(Transformer)

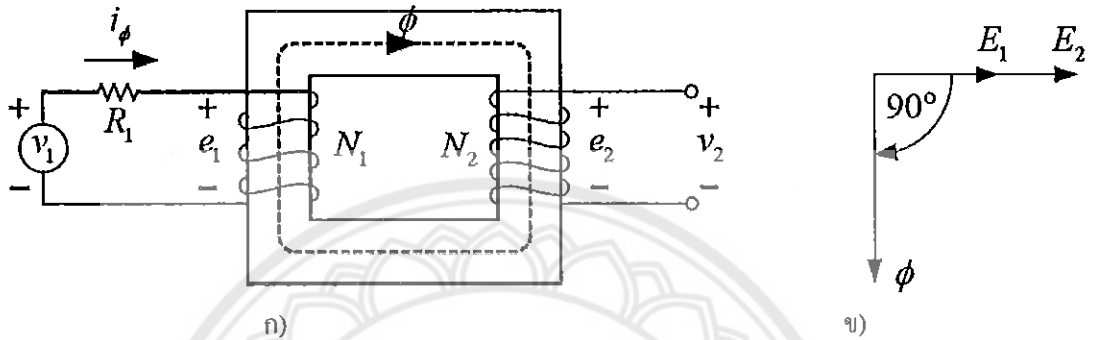
หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformers) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้มีระดับ
 แรงดันเหมาะสมที่จะใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ชนิดต่างๆ หรือทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในระบบ
 ไฟฟ้าจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง ที่ระดับความถี่เดียวกัน โดยวิธีการเปลี่ยนทั้งค่าแรงดันและ
 กระแสไฟฟ้า ซึ่งใช้หลักการของวงจรแม่เหล็กที่กระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ จึงทำให้เกิด
 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น (Faraday's law) และในหม้อแปลงไฟฟ้าจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ
 ดังต่อไปนี้

1. ขดลวดปฐมภูมิ (Primary)
2. ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary)
3. แกนเหล็ก (Core) ซึ่งทำจากสาร Ferromagnetic ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่ดีคือ มีความ
 ซึมซาบแม่เหล็กสูง ๆ เพื่อลดการเกิดปรากฏการณ์สนามแม่เหล็กรั่ว

การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะที่ไม่มีโหลด



รูปที่ 2.30 สัญลักษณ์ของหม้อแปลง



รูปที่ 2.31 หลักการทำงานของหม้อแปลง

จากรูปที่ 2.31 ก) เมื่อขดลวด Primary (N_1) ได้รับ V_1 และขดลวด Secondary (N_2) อยู่ในสภาพเปิดวงจร จะทำให้เกิดค่ากระแสปริมาณหนึ่งไหลในขดลวด (N_1) เรียกว่า กระแสกระตุ้น i_ϕ (Exciting Current) และจะมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced Voltage) ขึ้นที่ขดลวดทั้งสองดังนี้

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} = N_1 \omega \phi_m \cos \omega t = E_{m1} \cos \omega t \quad (21.7)$$

$$e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} = N_2 \omega \phi_m \cos \omega t = E_{m2} \cos \omega t \quad (2.27)$$

เมื่อ $\phi = \phi_m \sin \omega t$

$\phi_m = \text{Maximum magnetic flux}$

ถ้ากำหนดให้ E_1 และ E_2 เป็นค่าประสิทธิภาพผล (rms) ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ e_1 และ e_2 ตามลำดับ

และ $\omega = 2\pi f$

$$E_1 = N_1 \frac{\omega \phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} N_1 \omega_m = 4.44 N_1 \phi_m \quad (2.28)$$

$$E_2 = N_2 \frac{\omega \phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} N_2 \omega_m = 4.44 N_2 \phi_m \quad (2.29)$$

เมื่อ $\phi_m = B_m A_C$ จะได้

$$E_1 = 4.44fN_1 B_m A_C \quad (2.30)$$

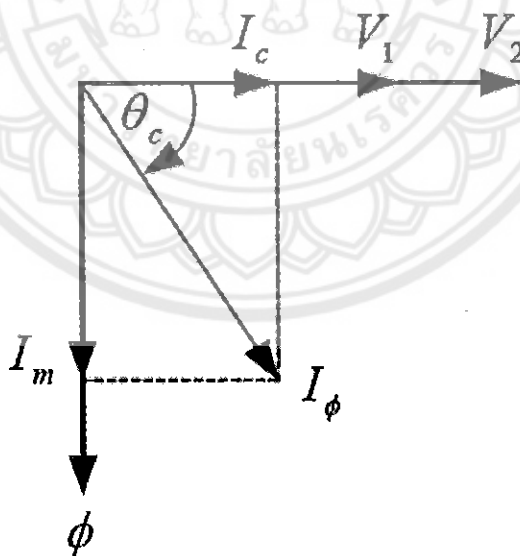
$$E_2 = 4.44fN_2 B_m A_C \quad (2.31)$$

และจากสมการที่ (2.30) และ (2.31) จะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในรูปอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (Voltage ratio) หรือ (Turns ratio) ดังนี้

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (2.32)$$

ในขณะที่ยังไม่มีภาระ (No Load) จะมีเพียงกระแสกระตุ้น I_ϕ เท่านั้น ซึ่งประกอบด้วย

1. กระแส I_m (Magnetizing Current) เป็นค่ากระแสที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็ก เพื่อทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ e_1 และ e_2
2. กระแส I_c (Core loss Current) เป็นค่ากระแสที่ทำให้เกิดค่าสูญเสียในแกนเหล็ก ดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 ส่วนประกอบของค่ากระแสกระตุ้น

จากรูปที่ 2.31 จะได้ความสัมพันธ์ของค่ากระแสดังนี้

$$I_\phi = I_c + I_m \quad (2.33)$$

$$I_c = I_\phi \cos \theta_c \quad (2.34)$$

$$I_m = I_\phi \sin \theta_c \quad (2.35)$$

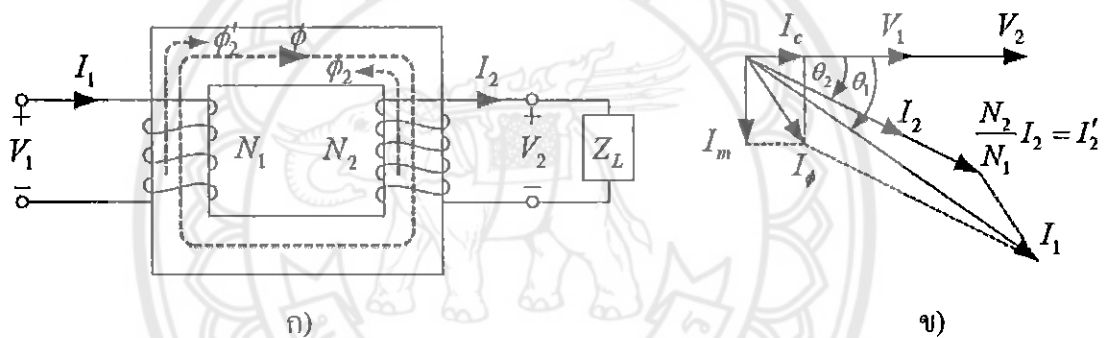
ดังนั้น จากรูปที่ 3 ค่าสูญเสียในแกนเหล็ก (P_{core} or P_ϕ) สามารถหาได้จากสมการ

$$P_c = V_1 I_\phi \sin \theta_c = V_1 I_c \quad (2.36)$$

เมื่อ $S_c = V_1 I_\phi$

$$\text{Power Factor}(\cos \theta_c) = \frac{P_c}{S_c} = \frac{I_c}{I_\phi} \quad (2.37)$$

ขณะมีภาระ (Transformer Under Load)



รูปที่ 2.33 หลักการทำงานของหม้อแปลงขณะมีภาระ

จากรูปที่ 2.33 ก) เมื่อต่อ โหลด Z_L เข้ากับขดลวด Secondary กระแส I_2 จะสร้างแรงเคลื่อนแม่เหล็ก $N_2 I_2$ ขึ้น และ $N_2 I_2$ นี้จะทำให้เกิด ϕ' ขึ้น และเคลื่อนตัวไปตัดขดลวด Secondary จึงทำให้เกิด V_2 ขึ้น V_2 จะไปสร้างกระแส I_2 ($V_2 Z_L$) ขึ้นและทำให้เกิด $N_2 I_2$ และ ϕ_2 และเมื่อ ϕ_2 เคลื่อนตัวตัดขดลวด Primary จึงทำให้เกิด I'_2 ขึ้น กระแส I'_2 ที่เกิดขึ้นนี้จะไปสร้าง $N_1 I'_2$ ขึ้นมาชดเชยกับค่า $N_2 I_2$ และสร้าง ϕ'_2 ที่มีขนาดเท่ากับ ϕ_2 จากนั้นก็จะกลับ เข้าสู่สภาวะปกติ ซึ่งแสดงได้ดังสมการ

$$N_1 I'_2 = N_2 I_2 \quad (2.38)$$

ดังนั้น จะได้ความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนกระแสไฟฟ้า (Current Ratio) ดังนี้

$$\frac{I'_2}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \quad (2.39)$$

และจะได้

$$I_1 = I_0 + I_2 \quad (2.40)$$

และ Current Ratio คือ

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \quad (2.41)$$

จากหลักการทํางานพื้นฐานของหม้อแปลงที่กล่าวมานี้สามารถสรุปได้ว่า

1. ขณะไม่มีภาระ หม้อแปลงไฟฟ้าจะไม่มีกระแสส่งผ่านกำลังไฟฟ้า จะมีเพียงกระแส I_0 เท่านั้นเพื่อใช้สร้าง Φ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่รับเข้ามา ($V_1 I_0$) จะสูญเสียไปในรูปของความร้อนที่แกนเหล็ก $P_c = V_1 I_0 \sin \theta_c$
2. ขณะที่มีการะ Z_L จะมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าทางด้าน Secondary เท่ากับ ($V_2 I_2$) ซึ่งส่งผ่านมาในรูปของค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กจาก Pri และการสูญเสียที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นในแกนเหล็ก (Core loss) และในลวดทองแดง (Copper loss) ดังนั้นจะได้

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \theta_1 \quad (2.42)$$

$$P_2 = V_2 I_2 \cos \theta_2 \quad (2.43)$$

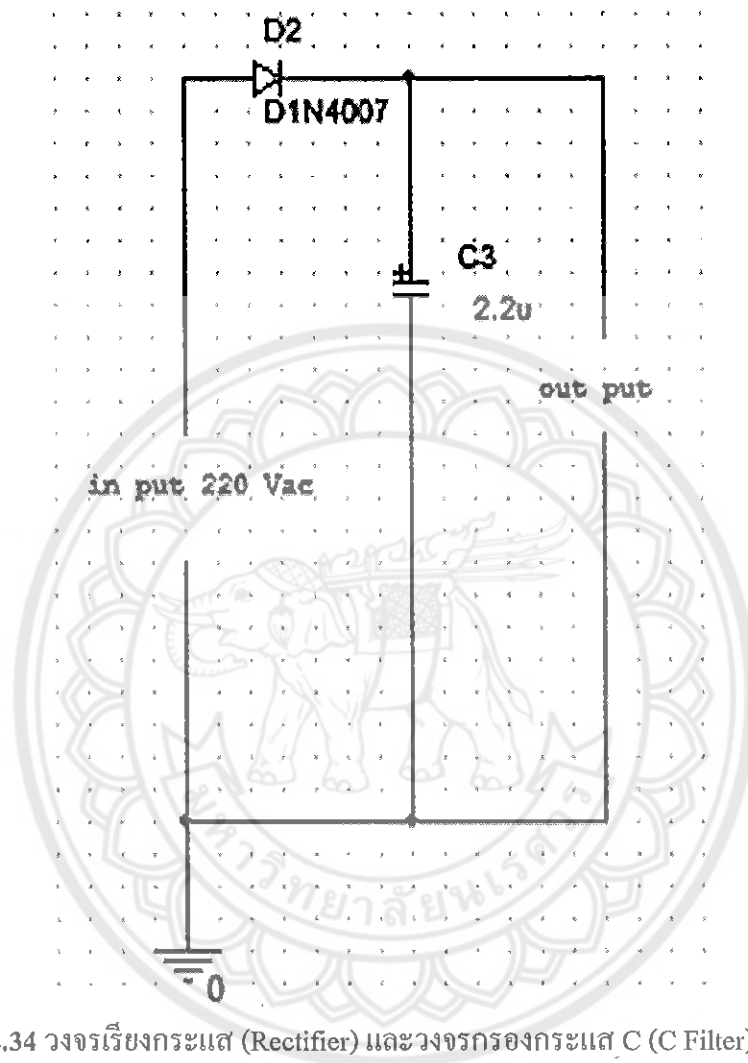
เมื่อ P_1 และ P_2 คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริง

$I_1 \cos \theta_1$ คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า

$I_2 \cos \theta_2$ คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของภาระไฟฟ้า Z_L

นำมาใช้กับวงจรแปลงผันแบบพุก-พุก เป็นวงจรตัวแปลงผันที่จ่ายกำลังได้สูง ในช่วง 200 - 1000 วัตต์ แต่มีข้อเสียคือมักเกิดการไม่สมมาตรของฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลง ซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย ในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมแบบควบคุมกระแสช่วยลดปัญหานี้ลงได้ ดังนั้นวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุกจึงเป็นวงจรตัวแปลงผันที่น่าสนใจสำหรับแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิ่งที่ต้องการกำลังสูงการทำงานของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุกเปรียบเสมือนการนำวงจรตัวแปลงผันแบบไปข้างหน้าสองชุดมาทำงานร่วมกัน โดยผลัดกันทำงานในแต่ละครึ่งคาบเวลาในลักษณะกลับเฟส ทำให้จ่ายกำลังได้สูง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรยังคงมีแรงดันตกคร่อมในขณะที่หยุดนำกระแสก่อนข้างสูงเช่นเดียวกับวงจรตัวแปลงผันแบบฟลายแบคและวงจรตัวแปลงผันแบบฟอร์เวิร์ด รวมทั้งปัญหาการเกิดฟลักซ์ไม่สมมาตรในแกนเฟอร์ไรท์

ของวงจรทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายง่าย วงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุลเป็นพื้นฐานของ เครื่องคลื่น และวงจรตัวแปลงผันแบบเต็มคลื่นซึ่งมีการทำงานคล้ายกัน แต่มีข้อบกพร่องน้อยกว่า



รูปที่ 2.34 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) และวงจรกรองกระแส C (C Filter) ด้านเข้า

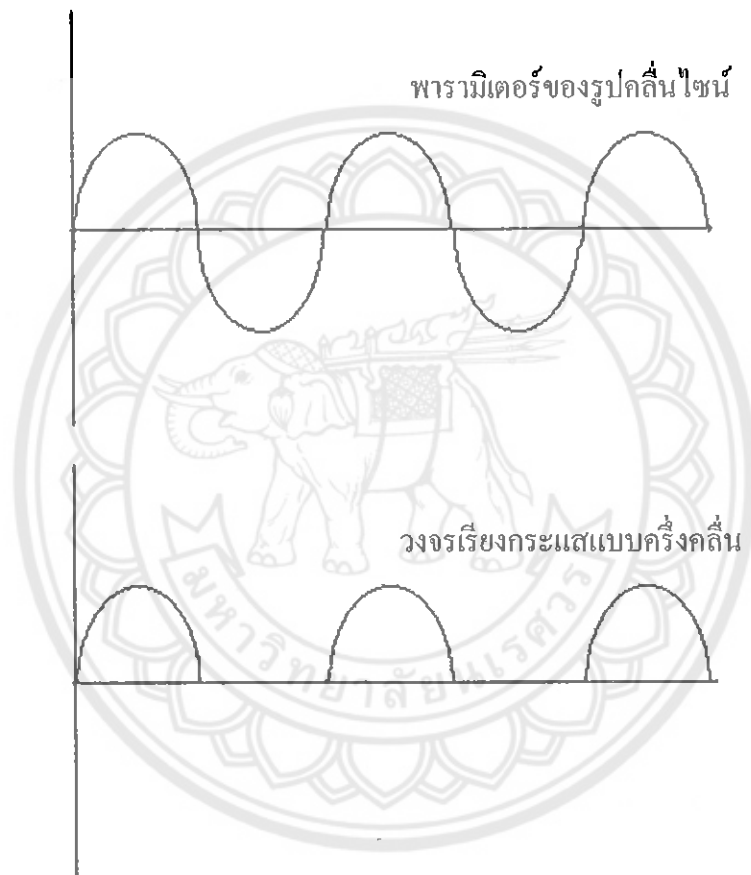
2.8 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) และวงจรกรองกระแส C (C Filter) ด้านเข้า

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ จะต้องใช้แรงดันเลี้ยงวงจรเป็นแรงดันไฟตรง (DC) โดยทำการแปลงแรงดันไฟสลับ (AC) ให้เป็นแรงดันไฟตรง (DC) วงจรที่ทำหน้าที่ดังกล่าวนี้เรียกว่าวงจรเรกติไฟเออร์ (Rectifier Circuit) หรืออาจเรียกว่าวงจรเรียงกระแส อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้คือไดโอด ไดโอดที่นิยมนำมาใช้งานในวงจรเรกติไฟเออร์เป็นไดโอดชนิดซิลิกอน การทำงานของไดโอดเรกติไฟเออร์ใช้หลักการจ่ายไบอัสตรง และการจ่ายไบอัสกลับให้ตัวไดโอด เพื่อให้ไดโอดนำกระแส และหยุดนำกระแสตามสภาวะไบอัสที่จ่ายแรงดันที่ผ่านการ เรกติไฟเออร์แล้ว ได้แรงดันออกมาเป็นไฟตรงซีกบวกหรือแรงดันไฟตรงซีกลบ แรงดันไฟตรงจะได้ออกมาซีกใดขึ้นอยู่กับการจัด

วงจรไดโอดเรกติไฟเออร์ ถ้าไดโอดจัดให้ขาแคโทด (K) ออกด้านนอกได้แรงดันซีกบวกออกมา และถ้าไดโอดจัดให้ขาแอนโนด (A) ออกด้านนอกได้แรงดันซีกลบออกมา ลักษณะการเรกติไฟเออร์เบื้องต้น

2.8.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น

1. พารามิเตอร์ของรูปคลื่นไซน์ (Sine wave Parameters)



รูปที่ 2.35 พารามิเตอร์ของรูปคลื่นไซน์

1. คลื่นไซน์ 1 ไซเคิล จะมีค่าแรงดันที่สำคัญ คือ

V_P = ค่าสูงสุดของยอดคลื่น (Peak Voltage)

V_{P-P} = ค่าสูงสุดของยอดคลื่นถึงยอดคลื่น (Peak to Peak Voltage)

V_{RMS} = ค่าแรงดัน อาร์.เอ็ม.เอส. (Root mean square Voltage)

V_{ava} = ค่าแรงดันเฉลี่ย (Average Voltage)

และค่าเหล่านี้ หาได้จาก

$$V_{P-P} = 2 V_P \text{ และ } V_{RMS} = 0.707 V_P$$

2. ค่าแรงดันเฉลี่ย ของคลื่นไซน์ $\frac{1}{2}$ ไซเคิล

$$V_{ava} = \frac{2}{\pi} (V_p) = 0.636 V_p$$

3. ค่าแรงดันเฉลี่ยของคลื่นเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full – Wave Rectified)

$$V_{ava} = 0.637 V_p$$

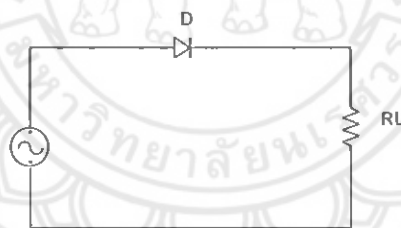
4. แรงดันเฉลี่ยของคลื่นเรียงกระแสครึ่งคลื่น (Half – Wave Rectified)

$$V_{ava} = 0.318 V_p$$

5. ถ้าไม่คิดแรงดันตกคร่อม ไดโอดเรียงกระแส

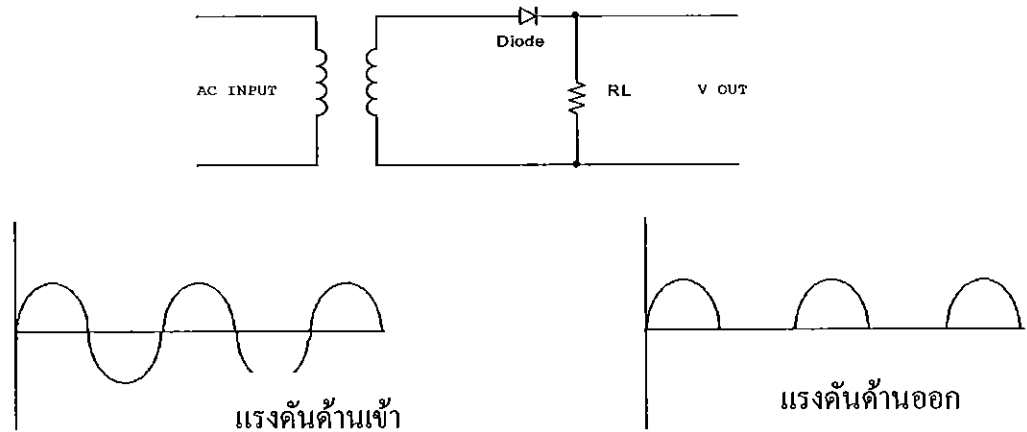
$$\text{ค่า } V_p (\text{อินพุต}) = V_p (\text{เอาต์พุต})$$

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ใช้ไดโอด 1 ตัว ทำหน้าที่เปลี่ยนด้านเข้ากระแสสลับ (คลื่นไซน์) ให้เป็นกระแสตรง เฉพาะคลื่นไซเคิลบวกของอินพุตเท่านั้น เพราะว่าไดโอดจะทำงาน (นำกระแส : ON) ได้เมื่อได้รับคลื่นไซน์ด้านครึ่งไซเคิลบวกเท่านั้น (เพราะว่าช่วงนั้นไดโอด จะได้รับไบแอสตรง) จึงเกิดกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (IF) ผ่านไดโอดไปสู่โหลด (RL) แต่เมื่อ คลื่นไซน์อินพุตเป็นช่วงครึ่งไซเคิลลบ ไดโอดจะไม่นำกระแส : OFF จึงไม่มีกระแสไหลผ่าน โหลด รูปคลื่นที่เอาต์พุตจึงปรากฏเฉพาะครึ่งไซเคิลบวกเท่านั้น จึงเรียกววงจรเรียงกระแสแบบ นี้ว่า วงจรครึ่งคลื่น ดังรูปที่ 2.36

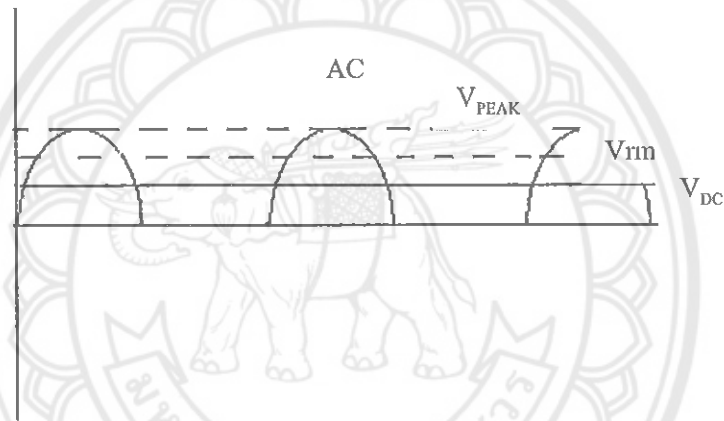


รูปที่ 2.36 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น

เมื่อพิจารณาจากรูปคลื่นด้านออกของวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นในรูปที่ 2.38 จะพบว่า ค่าสูงสุดของคลื่นไซน์ด้านเข้า คือ $+V_p$ และ $-V_p$ ส่วนค่าสูงสุดของคลื่นด้านออก คือ $+V_p$ ทั้งนี้ เพราะไม่นำค่าแรงดันตกคร่อมไดโอด (0.6V) มาคิดค่า $V_p(\text{input})$ จึงเท่ากับ V_p (Output) แต่ค่าแรงดันเฉลี่ยที่ด้านออก (V_{dc}) หรือค่าแรงดันเฉลี่ยที่ด้านออก (V_{ava}) จะเขียนแทนด้วยเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และค่าของแรงดันด้านออก ที่สามารถหาค่าได้จะมี 3 ค่า คือ (1) แรงดันสูงสุด (V_p) (2) แรงดัน อาร์.เอ็ม.เอส. (V_{rms}) และ (3) แรงดัน ดี.ซี. (V_{dc}) หรือ แรงดันเฉลี่ย (V_{ava})



รูปที่ 2.37 แรงค้ันด้านเข้าและด้านออก



รูปที่ 2.38 ค่า แสดง VP , VRMS , VDC

จากรูปที่ 2.15 คำนวณค่า Vdc ได้ดังสมการต่อไปนี้

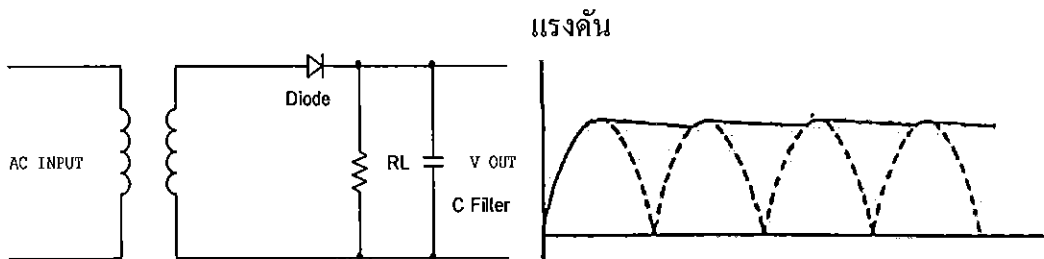
$$V_{dc} = V_{ava} = 0.318 V_p$$

$$V_{dc} = V_{ava} = 0.45 V_s$$

เมื่อ V_s คือ ค่าแรงค้ัน อาร์.เอ็ม.เอส. ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าค้ันไซน์

V_p คือ แรงค้ันสูงสุดของค้ันเอาต์พุต

2.8.2 วงจรกรองกระแสด้วยตัวเก็บประจุ

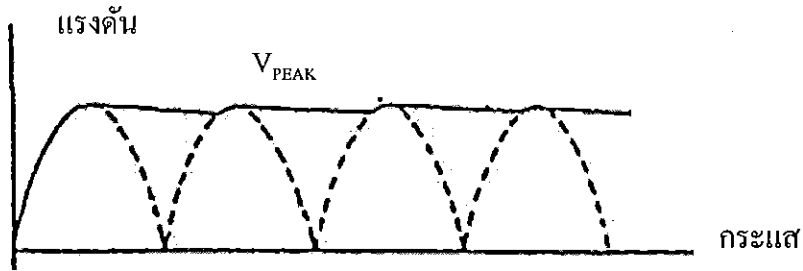


รูปที่ 2.39 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นและวงจรกรองด้วยตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุ (C) จะเกิดการเก็บประจุ (Charge) ในช่วงที่แรงดันเอาต์พุตสูงกว่าค่าแรงดันตกคร่อม C และ C จะคายประจุ (Discharge) ในช่วงที่แรงดันเอาต์พุตต่ำกว่าค่าแรงดันสูงสุด (V_p) การเก็บประจุและคายประจุของ C ตัวนี้ จะทำให้รูปคลื่นเอาต์พุตเรียบขึ้น จึงเรียกตัวเก็บประจุ (C) ที่ทำหน้าที่นี้ว่า Smoothing Capacitor หรือ Filter Capacitor เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปคลื่นเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น ที่มี C ต่ออยู่ กับที่ไม่มี C ต่ออยู่ จะเห็นว่า ต่างกันและทำให้ค่าแรงดันกระแสตรงด้านออกต่างกันด้วย วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นที่มี C ต่ออยู่จะมี V_{dc} มากกว่าแบบที่ไม่มี C ต่ออยู่ และจะมีค่าแรงดัน V_{dc} เกือบเท่ากับค่า V_p

การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้ แรงดันไฟสลับ (AC) เมื่อผ่านไดโอด D เรียงกระแส ตัดแรงดันไฟสลับ (AC) ซีกลบทิ้งไป ส่งผ่านเฉพาะแรงดันไฟสลับซีกบวก ออกด้านออก จะได้แรงดันไฟตรง (DC) กระเพื่อมออกมารูปขม่อมไม่ต่อ C เมื่อต่อตัวเก็บประจุ C_3 เข้าวงจร ตัวเก็บประจุ C_3 จะประจุแรงดันซีกบวกไว้จนถึงระดับแรงดันสูงสุด มีสวิตช์ตกคร่อม C_3 บนขั้วกลางลวด ในขณะที่แรงดันซีกบวกเริ่มลดต่ำลงจากค่าสูงสุด C_3 จะเริ่มคายประจุแรงดันออกมาระดับต่ำกว่าระดับแรงดันในตัว C_3 จะยิ่งต่ำลง C_3 จะประจุแรงดันอีกครั้งเมื่อแรงดันซีกบวกถูกป้อนเข้ามาเป็นครั้งที่สอง และ C_3 จะคายประจุอีก การทำงานจะเป็นเช่นนี้ตลอดเวลา ได้แรงดันตกคร่อมโหลด

แรงดันริบเปิด คือ คลื่นของแรงดัน เอ.ซี. ที่ปะปนออกมายังรูปคลื่นเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส เป็นคลื่นแรงดันที่ไม่เรียบ (ซึ่งในการแปลงไฟสลับเป็นไฟตรง ไม่ต้องการหรือต้องการให้มีคลื่นนี้น้อยที่สุด) ดังนั้นแรงดันริบเปิดจึงควรถูกขจัดออกไป จากเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส วิธีการขจัดทำได้โดยการใช้ตัวเก็บประจุ กรองให้เรียบนั่นเอง รูปคลื่นแรงดันริบเปิดและค่าของมัน ในวงจรแบบครึ่งคลื่น จะมีมากกว่าวงจรเต็มคลื่น ดังแสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.40 แรงดันรีปเปิลของการเรียงกระแสครึ่งคลื่นและเต็มคลื่น

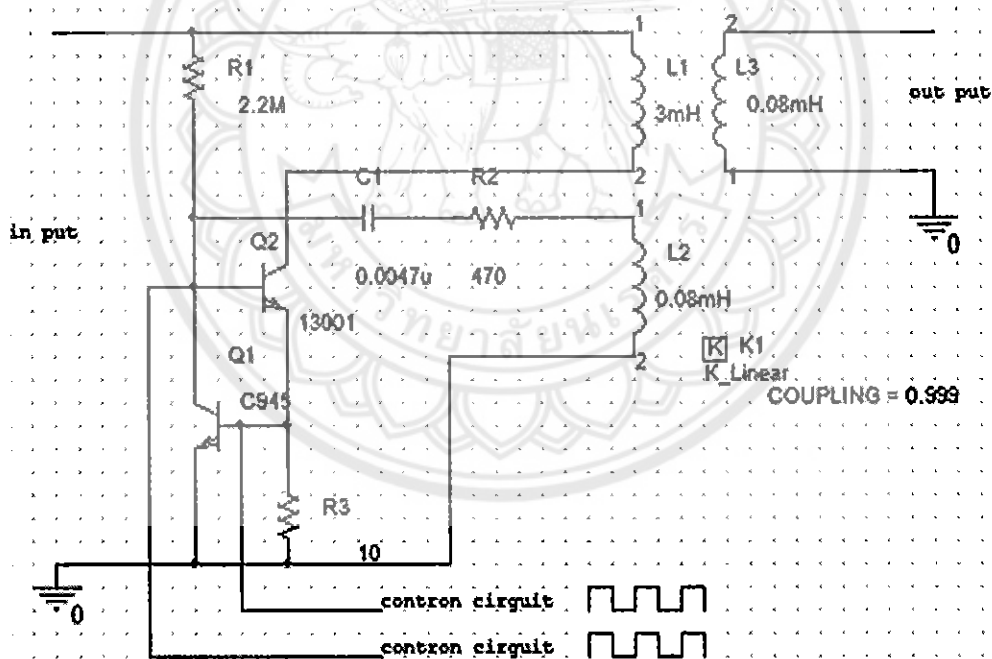
จากรูป 2.40 จะเห็นว่า ค่า $VR_2 > VR_1$ และค่า $VR(p-p)$ (Ripple voltage peak to peak) หาได้จากสมการ

$$VR(p-p) = 2V_P - V_{AVE}$$

เมื่อ $VR(p-p)$ คือ แรงดันรีปเปิล (p-p)

V_p คือ ค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุด

V_{ave} คือ ค่าแรงดันเฉลี่ยที่ไหล (แรงดันกระแสตรง)



รูปที่ 2.41 วงจรตัวแปลงผันแบบพุช-พูล

2.9 วงจรตัวแปลงผันแบบพุช-พูล

นับเป็นส่วนสำคัญที่สุดในวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันแรงดันไฟตรงค่าต่ำและสามารถคงค่าแรงดันได้ วงจรตัวแปลงผันมีอยู่หลายแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน โดยแต่ละแบบจะมีข้อดีกับข้อเสียต่างกัน การจะเลือกใช้วงจรตัวแปลงผันแบบใดสำหรับวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงนั้น มีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐาน

ของวงจรตัวแปลงผันแต่ละแบบดังนี้คือ ลักษณะการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างด้านเข้ากับด้านออกของวงจรตัวแปลงผัน ค่าแรงดันเข้าที่จะนำมาใช้กับวงจรตัวแปลงผัน ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุลขณะทำงาน ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรตัวแปลงผันขณะทำงาน การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่วงจรตัวแปลงผันมีพิกัดขาออกหลายแรงดัน การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI/EMI ของวงจรตัวแปลงผัน

วงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุลเป็นวงจรตัวแปลงผันที่จ่ายกำลังได้สูง ในช่วง 200 - 1000 วัตต์ แต่มีข้อเสียคือมักเกิดการไม่สมมาตรของฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลง ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย ในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมแบบควบคุมกระแสช่วยลดปัญหานี้ลงได้ ดังนั้นวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุลจึงเป็นวงจรตัวแปลงผันที่น่าสนใจสำหรับแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตซ์ซึ่งที่ต้องการกำลังสูงการทำงานของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุลเปรียบเสมือนการนำวงจรตัวแปลงผันแบบไปข้างหน้าสองชุดมาทำงานร่วมกัน โดยผลัดกันทำงานในแต่ละครึ่งคาบเวลาในลักษณะกลับเฟส ทำให้จ่ายกำลังได้สูง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรยังคงมีแรงดันตกคร่อมในขณะหยุดนำกระแสก่อนข้างสูงเช่นเดียวกับวงจรตัวแปลงผันแบบฟลายแบคและวงจรตัวแปลงผันแบบฟอว์เวิร์ด รวมทั้งปัญหาการเกิดฟลักซ์ไม่สมมาตรในแกนเฟอร์ไรท์ของวงจรทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายง่าย วงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุลเป็นพื้นฐานของเครื่องกลั่น และวงจรตัวแปลงผันแบบเต็มคลื่นซึ่งมีการทำงานคล้ายกัน แต่มีข้อบกพร่องน้อยกว่า

วงจรพื้นฐานวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุลแสดงไว้ในรูปที่ 2.41 จากรูป Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานโดยผลัดกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบเวลา T ในขณะที่ Q_1 นำกระแสจะมีกระแส I_p ไหลผ่านขดปฐมภูมิ N_{P1} และ ทำให้มีกระแสไหลที่ขดปฐมภูมิ $N_{S2} \approx L_0$ ไปยังตัวเก็บประจุ $C1$ และโหลด ในจังหวะนี้แรงดันตกคร่อม Q_2 จะมีค่า $2 V_{in}$ (จำนวนรอบ $N_{P1} = N_{P2}$ และ $N_{S1} = N_{P2}$) ในทำนองเดียวกันขณะที่ Q_2 นำกระแส Q_1 จะไม่นำกระแสเนื่องจากถูก ซึ่งถูกไบแอสตรงจะนำกระแสจากขดทุติยภูมิ N_{S1} ผ่าน $L2$ ไปยังตัวเก็บประจุ $C1$ และโหลด จะเห็นว่าในหนึ่งคาบเวลาการทำงาน ขดทุติยภูมิ จะให้กระแสไหลผ่าน Q_2 ได้ถึงสองครั้ง วงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุลจึงสามารถจ่ายกำลังงานได้มากเป็นสองเท่าของวงจรตัวแปลงผันแบบฟอว์เวิร์ดทำกระแสสูงสุดด้านปฐมภูมิมียุคค่าเท่ากันและกระแสไหลมีกระแสไหลต่อเนื่องตลอดเวลา กระแสที่ได้ทางพิกัดแรงดันขาออกจึงค่อนข้างเรียบ

เนื่องจากการทำงานในแต่ละครึ่งหนึ่งวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุลมีการทำงานเหมือนวงจรตัวแปลงผันแบบฟอว์เวิร์ด ดังนั้นแรงดันคร่อมทรานซิสเตอร์แต่ละตัวขณะเปิดวงจรมีค่าเท่ากับ

$$V_{CE,MAX} = 2 \times V_{IN} \quad (2.44)$$

กระแสคอลเลกเตอร์สูงสุดของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวเท่ากับ

$$I_C = \frac{I_L}{n} \times I_{mag} \quad (2.44)$$

สมมติให้ I_{mag} น้อยมากๆ เมื่อเทียบกับ $\frac{I_L}{n}$ ดังนั้น

$$I_C = \frac{I_L}{n} \quad (2.45)$$

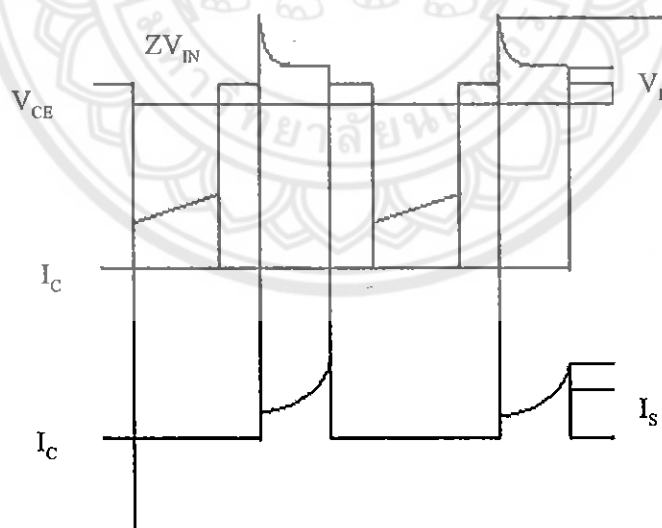
สำหรับ I_C ในเทอมกำลังด้านออกจะเท่ากับ

$$I_C = \frac{P_{out}}{n \times \delta_{MAX} \times V_{IN}} \quad (2.46)$$

สมมติประสิทธิภาพของ Converter $n = 80\%$ และ $d_{max} = 8.0$ ดังนั้นกระแสคอลเลคเตอร์เท่ากับ

ข้อจำกัดที่น่าสนใจของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุล

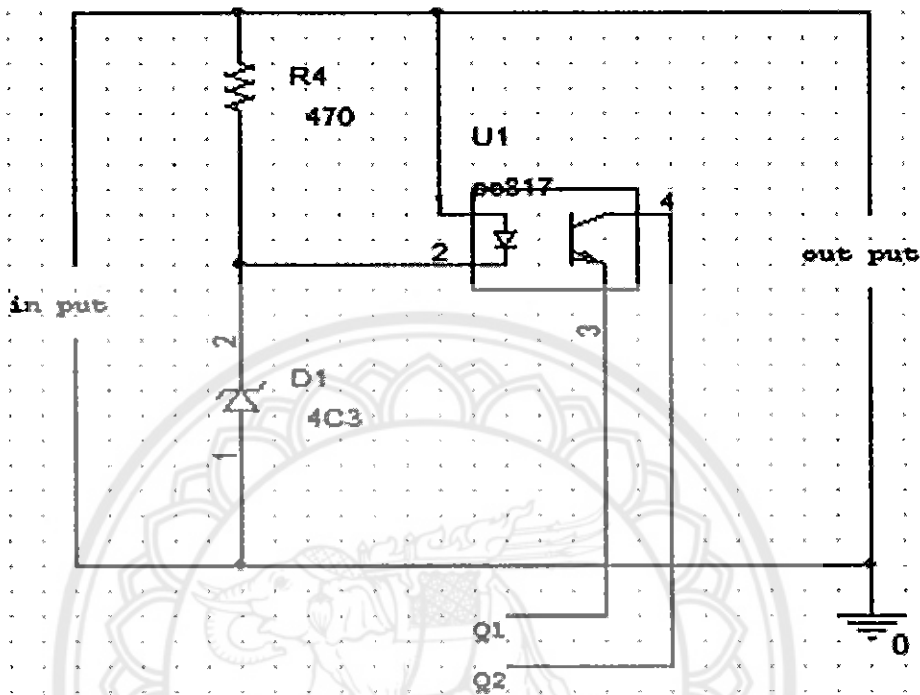
1. อัตราส่วนทนแรงดันของทรานซิสเตอร์ จะต้องมามีค่าเป็นสองเท่าของแรงดันอินพุทรวมกับแรงดัน Leakage spike เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลง (Leakage inductance) ดังแสดงในรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.42 เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลง

นั่นหมายความว่าทรานซิสเตอร์ในวงจรจะต้องสามารถทนแรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 800 V (สำหรับ 220 V_{AC} Line) ซึ่งจะเป็นปัญหามากในวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุลที่ต้องการกำลังสูงๆ เนื่องจากต้องใช้ทรานซิสเตอร์ที่ทนแรงดันและกระแสสูงซึ่งมีราคาแพง

2.เกิดการอิมิตัวของแกนหม้อแปลง ซึ่งในปัจจุบันแหล่งจ่ายไปตรงสวิตซึ่งนิยมใช้แกนเฟอร์ไรต์มาเป็นแกนของหม้อแปลง เนื่องจากมีการสูญเสียต่ำที่ความสูงๆ ตั้งแต่ 20 KHz ขึ้นไป แต่แกนเฟอร์ไรต์ก็มีข้อเสียคือง่ายต่อการอิมิตัว เพราะแกนเฟอร์ไรต์จะเกิดการอิมิตัวได้เพียงจ่ายไฟตรงไบแอสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



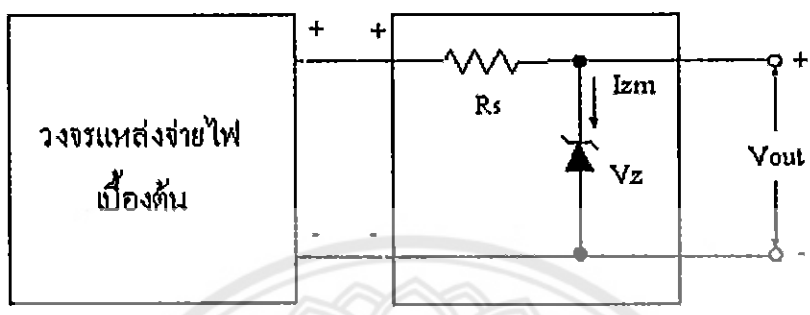
รูปที่ 2.43 วงจรควบคุมแรงดันและกระแส

2.10 วงจรควบคุมด้านกระแส

ซีเนอร์ไดโอดนำไปใช้งานหลายอย่างเช่น วงจรคลิป (Clipping Circuit) วงจรรักษาแรงดันให้คงที่ (Voltage Regulator Circuit) โดยเฉพาะในวงจรรักษาแรงดันให้คงที่ ดังรูปที่ 2.43 ในการต่อ ใช้งานทุกครั้งจะต้องมีความต้านทาน ต่ออนุกรมเสมอ เพื่อป้องกันกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอด (I_z) เกินค่าพิกัดซึ่งจะทำให้ชำรุดได้และ ตัวต้านทานที่ใช้จะต้องมีการคำนวณหาค่า ความต้านทานที่เหมาะสมวงจรจึงจะ ทำงานได้ดี

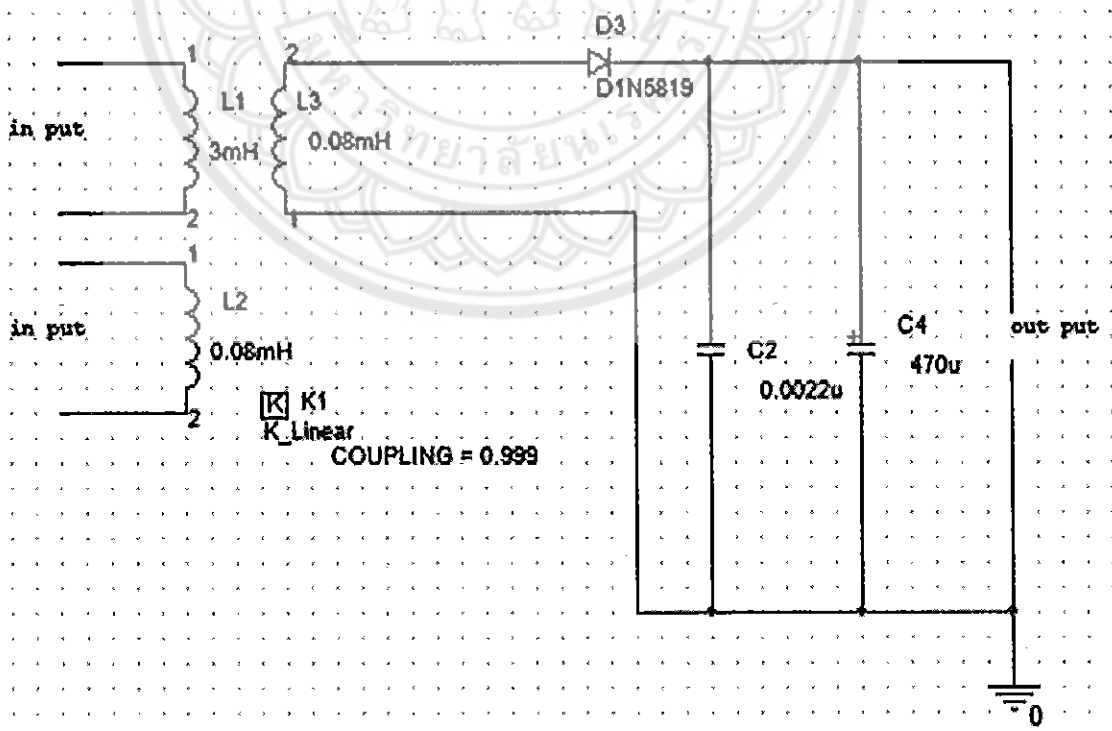
การใช้ควบคุมแรงดันให้คงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอดเบื้องต้นประกอบไปด้วยหม้อแปลงไดโอดเรียงกระแสและ ตัวเก็บประจุกรอง แรงดัน มีข้อดีคือ การประกอบใช้งานง่ายแต่มีข้อเสียคือแรงดันไฟตรงที่ได้จะยังไม่เรียบมีการกระเพื่อมหรือริบเปิล (Ripple) สูงและอัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของแรงดัน เมื่อมีโหลดและไม่มีโหลดซึ่งเรียกว่าวงจร โวลต์เดจเร็กกูเลชัน (Voltage Regulation) สูงไม่เหมาะสำหรับเป็นภาคจ่ายไฟให้วงจรขยายสัญญาณระดับต่ำ เช่น ปริแอมป์ การลดริบเปิลของภาคจ่ายไฟลงนิยมใช้วงจรกรองกระแสแบบอาร์ซี (RC Filter) แต่ก็ยังมี

โวลต์เตจเร็กกูเลชันสูงอยู่ ดังนั้น วงจรซีเนอร์ไดโอดโวลต์เตจเร็กกูเลเตอร์จึงถูกนำมาใช้ในวงจรจ่ายไฟกำลังต่ำ เพื่อขจัดปัญหาเกี่ยวกับรีปเปิล และโวลต์เตจเร็กกูเลชันการนำซีเนอร์ไดโอดมาใช้ในวงจรจ่ายไฟกำลังต่ำกระทำได้โดยต่อซีเนอร์ไดโอดอนุกรมกับตัวต้านทานแล้วนำไปต่อกับด้านออกของวงจรจ่ายไฟเบื้องต้น ส่วนแรงดันด้านออกของวงจรคือแรงดันตกคร่อม ซีเนอร์ไดโอดดังรูป 2.44



รูปที่ 2.44 วงจรซีเนอร์ไดโอด อนุกรมกับตัวต้านทาน

ตัวต้านทานที่นำมาต่ออนุกรมกับซีเนอร์ไดโอดจะต้องมีค่ามากพอที่จะจำกัดกระแสไม่ให้ไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดในขณะที่ไม่มีโหลดเกินค่ากระแสสูงสุด (I_{zm}) ที่ซีเนอร์จะทนได้ การต่อซีเนอร์ไดโอดจะต่อในลักษณะไบอัสกลับ และแรงดันด้านออกจะมีค่าเท่ากับแรงดันของซีเนอร์



รูปที่ 2.45 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) ละวงจรกรองกระแส C (C Filter) ด้านออก

2.11 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) และวงจรกรองกระแส C (C Filter) ด้านออก

จะทำหน้าที่เช่นเดียวกับข้อ 2.2 ที่ได้กล่าวไว้ในเบื้องต้นแล้ว แต่จะเป็นตัวสุดท้ายก่อนจะนำกระแสไฟฟ้าไปใช้งานด้านขาออก เพื่อให้กระแสไฟที่ใช้งานมีความเรียบขึ้น

2.12 โปรแกรมที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงโปรแกรมที่นำมาใช้ในโครงการวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ซึ่งจะเป็นโปรแกรมเกี่ยวกับการวิเคราะห์และจำลองวงจรทางไฟฟ้าโดยทั่วไป

โปรแกรม circuit wizard เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่ายและเรียนรู้ง่าย สำหรับการออกแบบแผงวงจร โดยการลากและวางอุปกรณ์ในพื้นที่เอกสารและเชื่อมต่อด้วยเครื่องมือในการเดินสายที่ชาญฉลาดและยังแปลงไปเป็นแผ่นปริ้นได้อย่างง่ายดาย

โปรแกรมพีสไปร์ท (Pspice) เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชนิดหนึ่ง มีหน้าที่ในกาเลียนแบบการทำงาน (Simulation) ถูกสร้างขึ้นตั้งแต่ปี 1975 โดย University of California, Berkeley เพื่อใช้ช่วยในการวิเคราะห์ และ ออกแบบวงจรไฟฟ้าต่อมามีหลายบริษัทได้นำมาพัฒนาต่อเป็น รุ่นต่างๆ เช่น HSpice, Spice2G (ซึ่งจะทำงานบนเครื่อง Unix หรือ Mainframe) เป็นต้น ส่วน PSpice บริษัท MicroSim Corporation ได้พัฒนาขึ้น ให้สามารถใช้งานบนเครื่อง PC โดยย่อมาจาก PC -Simulation Program for Integrated Circuit Emphasis ประโยชน์การใช้งาน PSpice คือการใช้เลียนแบบการทำงานวงจรก่อนที่จะทดลองต่อวงจรจริงทำให้สามารถลดความยุ่งยาก และ ลดเวลาในการทดลองจริงลงไปได้มาก ซึ่งผลการเลียนแบบนั้นจะเป็นที่น่าเชื่อถือมากและ เป็นที่ยอมรับในวงการวิชาการว่า ใกล้เคียงกับการทดลองจริง จึงทำให้ PSpice เป็นที่นิยมของนักวิจัย และนักออกแบบวงจรไฟฟ้าทั่วโลกอย่างกว้างขวาง ก่อนที่จะสร้างวงจรจริงในอันดับต่อไปการใช้งาน PSpice นั้นผู้ใช้ควรจะต้องมีความรู้ในด้านวงจรไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ พอสสมควร ซึ่งจะทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพ โดยหลักการแล้ว PSpice สามารถวิเคราะห์วงจรได้ไม่จำกัดรูปแบบ โดยจะอาศัยหลักการของโนดทางไฟฟ้าเป็นหลัก การเขียน โปรแกรม PSpice เพื่อเลียนแบบการทำงานวงจรไฟฟ้านั้นสามารถทำได้ 2 วิธีใหญ่ๆ ดังนี้

1. แบบ Net List (Command Line) จะใช้โปรแกรม Text Editor สร้างเป็น Input File นามสกุล .cir
2. แบบ Schematic จะใช้โปรแกรม Schematics สร้างเป็น Input File นามสกุล .sch

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการงาน

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ แหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ที่แรงดัน 5 โวลต์ 100 มิลลิแอมป์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับเตารีดอัจฉริยะ โดยจะมีขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มตั้งแต่ เสนอหัวข้อโครงการ ศึกษาหลักการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ ออกแบบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านเข้า ออกแบบวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พูล ออกแบบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านออก ออกแบบวงจรควบคุมแรงดันและกระแส ออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์โดยใช้โปรแกรมพีสไปร์ท (Pspice) ออกแบบลายวงจรโดยใช้โปรแกรมเซอร์กิตวิซาร์ด (Circuit wizard) นำวงจรที่ออกแบบมาประกอบเป็นชิ้นงาน ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

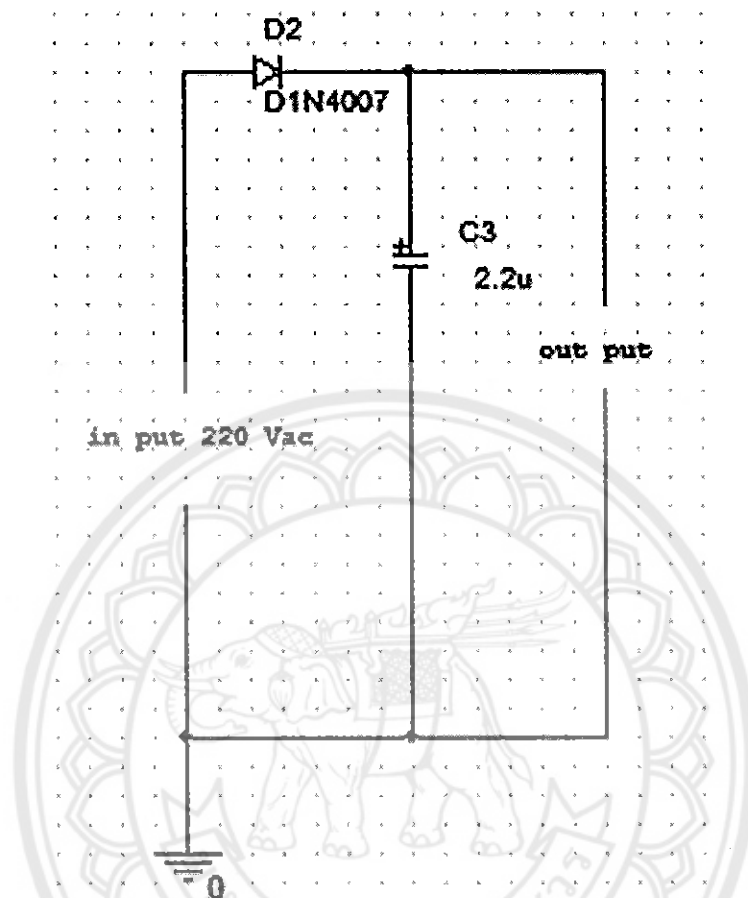
3.1 เสนอหัวข้อโครงการ

เริ่มจากการหาหัวข้อเพื่อที่จะทำโครงการ โดยได้ทำการขอคำปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ แล้วได้แนะนำโครงการเกี่ยวกับเตารีดอัจฉริยะมาว่ายังขาดแหล่งจ่ายกำลังซึ่งแหล่งจ่ายกำลังนั้นมีความต้องการแรงดัน 5 โวลต์ กระแส 100 มิลลิแอมป์ และต้องการขนาดเล็กเพื่อจะใส่เข้าไปในตัวเตารีดอัจฉริยะได้ ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งจ่ายกำลัง แล้วได้พบกับแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ ซึ่งมีคุณสมบัติตรงตามที่ต้องการ คือสามารถจ่ายแรงดัน 5 โวลต์ 100 มิลลิแอมป์ได้ อีกทั้งยังมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา จึงได้ทำการนำเสนอหัวข้อโครงการกับอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

3.2 ศึกษาหลักการทำงานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์

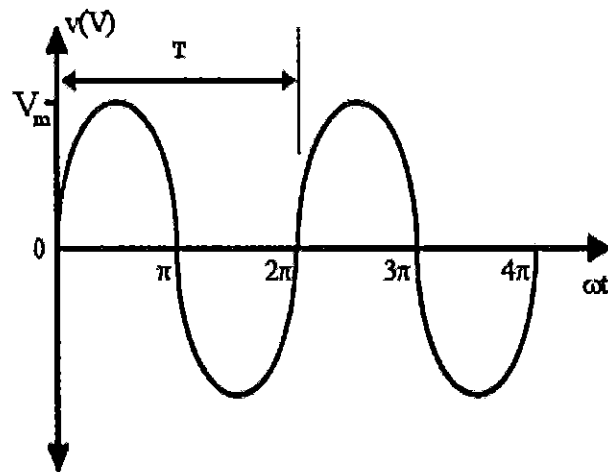
เพื่อเป็นการวางแผนการจัดการที่มีระบบ จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาวงจรแหล่งจ่ายกำลังและวงจรย่อยต่างๆในวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ ซึ่งได้แก่ วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านเข้า วงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พูล วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านออก วงจรควบคุมแรงดันและกระแส รวมถึงโปรแกรมที่นำมาใช้งานในการออกแบบวงจร ได้แก่ โปรแกรมพีสไปร์ท (pspice) โปรแกรมเซอร์กิตวิซาร์ด (Circuit wizard) จะทำให้ผู้ดำเนินโครงการทราบถึงระบบต่างๆในชุดควบคุมและเกิดความรวดเร็วในการออกแบบและสร้างชิ้นงานจากทฤษฎีดังกล่าวไว้

3.3 ออกแบบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านเข้า



รูปที่ 3.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) และ วงจรกรองกระแส C (C Filter) ด้านเข้า

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรเรียงกระแสส่วนตัวเก็บประจุจะมีเพื่อกรองกระแสให้เรียบใช้ในวงจรกรองกระแสตามทฤษฎีหลักการทำงานที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.1 เกี่ยวกับไดโอด และ หัวข้อที่ 2.4 เกี่ยวกับตัวเก็บประจุ



รูปที่ 3.2 รูปแสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

3.3.1 หาค่าเฉลี่ย (Average value)

สามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากพื้นที่ใต้กราฟของรูปที่ 3.2 แล้วหารด้วยเวลาของรูปคลื่น โดยคำนวณพื้นที่ใต้รูปคลื่นของสัญญาณที่เรียงกระแสแล้วจะต้องใช้วิธีการ อินทิเกรต สัญญาณซึ่งสมการหาค่าเฉลี่ยแสดงได้ดังนี้

$$V_{dc} = V_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt \quad (3.1)$$

จากสมการที่ (3.1) เมื่อ

$$V(t) = V_m \sin(\omega t)$$

3.3.2 หาค่าแรงดันเฉลี่ย V_{dc}

โดย V_{dc} = ค่าแรงดันเฉลี่ยของวงจรเรียงกระแส

V_m = ค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณไฟสลับ

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) \right]; \text{ ช่วง } \pi - 2\pi; V_m = 0;$$

$$= \frac{V_m}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_0^{\pi}$$

$$= \frac{V_m}{2\pi} \{[-\cos(\pi) - \cos(0)]\}$$

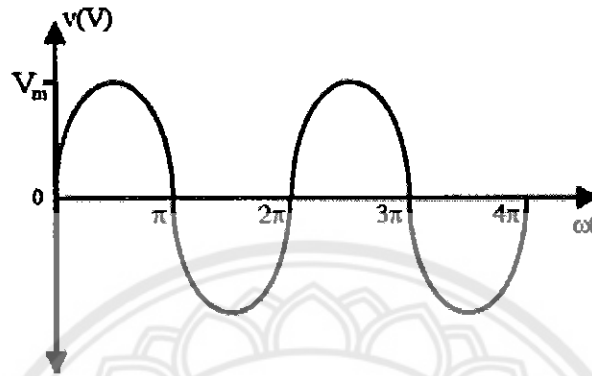
$$= \frac{V_m}{2\pi} [-(-1 - 1)]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318V_m \quad (3.2)$$

$$V_{dc} = 98.898 \text{ V}$$

ค่าประสิทธิผล (Effective value or Root Mean Square)

นิยามว่าแรงดันไฟสลับที่ก่อให้เกิดผลทางความร้อนเท่ากับค่าแรงดันไฟตรง เช่น ถ้าหากป้อนแรงดันไฟสลับรูปไซน์ ค่า 14.14 โวลต์ ครอบงวด้านทานค่า 1 โอห์ม จะทำให้เกิดความร้อนเท่ากับเมื่อป้อนแรงดันไฟตรงค่า 10 โวลต์



รูปที่ 3.3 รูปแสดงสัญญาณและการหาค่าประสิทธิผล

จากรูปที่ 3.3 จะได้สมการการหาค่าแรงดัน อาร์เอ็มเอส คือ

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt} \quad (3.4)$$

การหาค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (V_{rms})

แทนค่าของแรงดัน $V(t) = V_m \sin(\omega t)$ ในสมการที่ 3.4 จะได้

$$\begin{aligned} V_{\text{rms}} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (V_m \sin(\omega t))^2 d(\omega t) + \frac{1}{2\pi} \int_\pi^{2\pi} (V_m \sin(\omega t))^2 d(\omega t)} \\ &= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \int_0^\pi \sin^2(\omega t) d(\omega t)} \\ &= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \left[\int_0^\pi \frac{1}{2} (1 - \cos(2\omega t)) d(\omega t) \right]} \\ &= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \left[\frac{1}{2} \int_0^\pi d(\omega t) - \frac{1}{2} \int_0^\pi \cos(2\omega t) d(\omega t) \right]} \\ &= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \left[\frac{1}{2} (\omega t) - \frac{1}{4} \sin(2\omega t) \right]} \end{aligned}$$

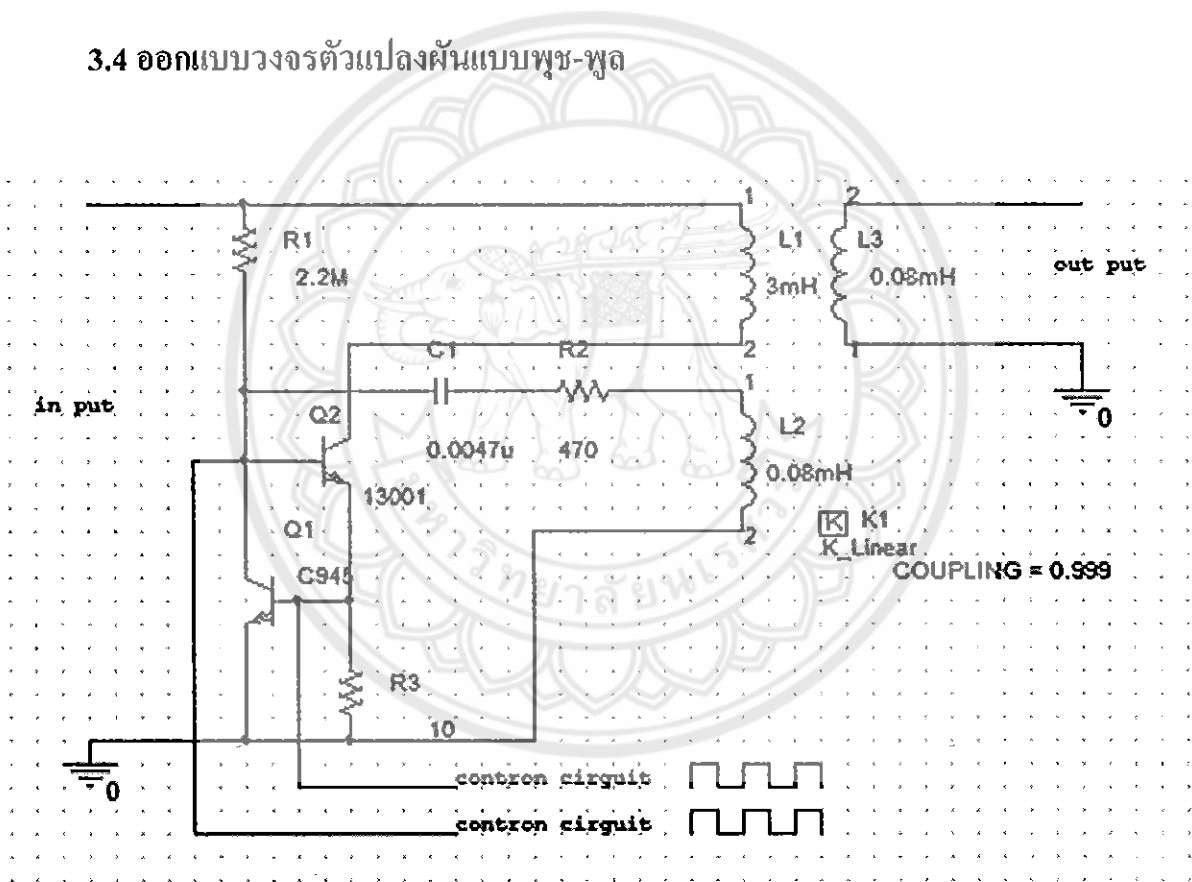
$$= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \left[\frac{1}{2}(\pi) - \frac{1}{4}\sin(2\pi) - \frac{1}{2}(0) - \frac{1}{4}\sin(0) \right]}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \left(\frac{\pi}{2} \right)}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (3.5)$$

$$V_{rms} = 219.91 \text{ V}$$

3.4 ออกแบบวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุก



รูปที่ 3.4 วงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุก

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าในวงจรแปลงผันแบบพุก-พุกนั้นจะมีอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในวงจร หลักการทำงานและทฤษฎีเบื้องต้นของอุปกรณ์จะถูกกล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.8

หลักการทํางานของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุด

วงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุดจะแสดงการคํานวณตามข้อกำหนดของวงจรที่ออกแบบไว้ดังรูปที่ 3.4 ต่อไปนี้คือ ต้องการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังที่ทํางานในช่วงแรงดันไฟสลับอินพุตเท่ากับ 220 โวลต์ โดยให้แรงดันเอาต์พุต 5 โวลต์ และกระแส 100 มิลลิแอมป์ ทํางานที่ความถี่เท่ากับ 25 กิโลเฮิรตซ์

1. คําบเวลาในทํางาน

$$T = \frac{1}{f} \quad (3.7)$$

$$T = \frac{1}{25 \times 10^3}$$

$$= 40 \times 10^{-6} \text{ วินาที}$$

2. กําหนด $T_{ON(max)}$

$$T_{ON(max)} = \frac{0.8T}{2} \quad (3.8)$$

$$T = 0.4T$$

$$= 0.4 \times 40 \times 10^{-6}$$

$$= 16 \times 10^{-6} \text{ วินาที}$$

3. กําหนดอัตราส่วนจํานวนรอบ N_p/N_s

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{(V_{in(min)} - V_{CE(sat)}) t_{ON(max)}}{(V_o - V_D)(T/2)} \quad (3.9)$$

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{(98.898 - 1) \times 2 \times 16 \times 10^{-6}}{(5 - 0.6) \times 40 \times 10^{-6}}$$

$$= 17.799 \text{ รอบ}$$

เพราะฉะนั้นเลือก $N_p/N_s = 18$ รอบ

4. กําหนดจํานวนรอบ N_{p1} และ N_{p2}

$$N_p = \frac{(V_{in(min)} - V_{CE(sat)}) t_{ON(max)} \times 10^8}{(\Delta B_{max})(A_e)} \quad (3.10)$$

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{(98.898-1) \times 16 \times 10^{-6} \times 10^8}{1600 \times 1.48}$$

$$= 66.1473 \text{ รอบ}$$

ดังนั้นเลือกจำนวนรอบ N_{P1} และ N_{P2} เท่ากับ 67 รอบ

$$\begin{aligned} 5. \quad N_S &= \frac{67}{18} = 3.7 \text{ รอบ} \\ &= 4 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

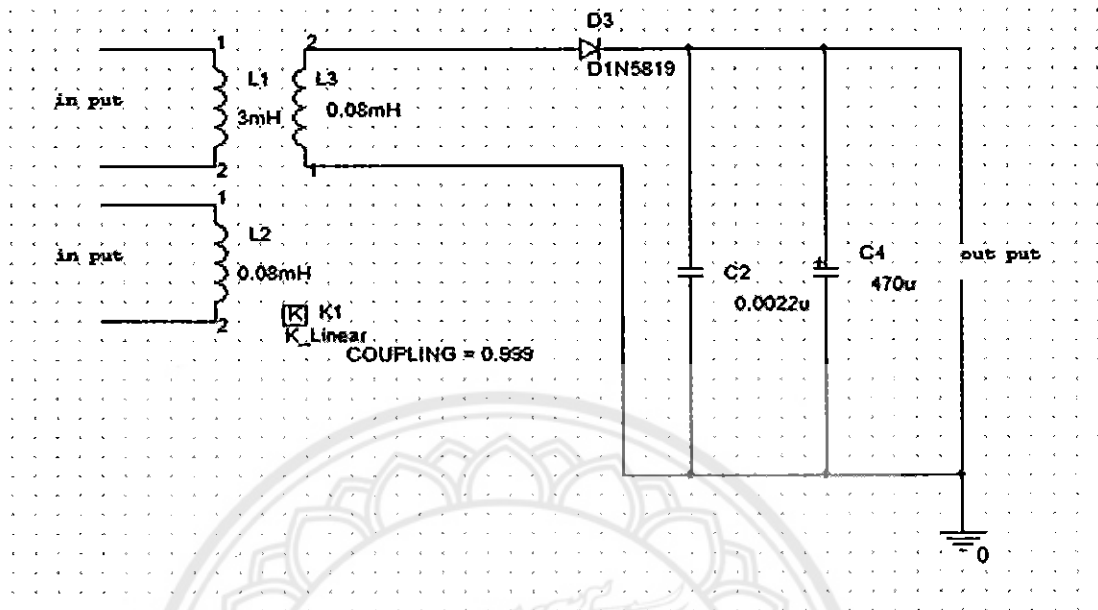
6. คำนวณค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดไพรมารี L_p (ระยะช่องอากาศ l_m เท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร)

$$\begin{aligned} L_p &= \frac{4 \times \pi \times 1.48 \times 148^2 \times 10^{-8}}{0.1} & (3.11) \\ &= 40.737 \times 10^{-3} \text{ เฮนรี} \end{aligned}$$

7. คำนวณค่ากระแสสูงสุดที่ไพรมารี

$$\begin{aligned} I_{P(pk)} &= \frac{P_{OT}}{2 \cdot V_{IN(min)} \cdot T_{ON(max)}} + \frac{(V_{in(min)} - V_{CE(sat)}) \cdot t_{ON(max)}}{L_p} & (3.12) \\ &= \frac{12.5 \times 40 \times 10^{-6}}{2 \times 0.8 \times 98.898 \times 16 \times 10^{-6}} + \frac{(98.898 - 1) \times 16 \times 10^{-6}}{40.737 \times 10^{-3}} \\ &= 0.236 \text{ แอมป์ หรือ } 236 \text{ มิลลิแอมป์} \end{aligned}$$

3.5 ออกแบบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านออก



รูปที่ 3.5 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) ละวงจรกรองกระแส C (C Filter) ด้านออก

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรเรียงกระแสส่วนตัวเก็บประจุจะมีเพื่อกรองกระแสให้เรียบใช้ในวงจรกรองกระแสตามทฤษฎีหลักการการทำงานที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.1 เกี่ยวกับไดโอด และ หัวข้อที่ 2.4 เกี่ยวกับตัวเก็บประจุและจะมีแรงดันไฟฟ้าออกจากหลังหม้อแปลง 24.9 โวลต์

เนื่องจากเป็นวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3 จึงนำสมการที่(3-1) ถึง (3-5) มาใช้

3.5.1 หาค่าแรงดันเฉลี่ย V_{dc}

โดย V_{dc} = ค่าแรงดันเฉลี่ยของวงจรเรียงกระแส

V_m = ค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณไฟสลับ

$$V_m = 24.9 \text{ V}$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) \right] ; \text{ช่วง } \pi - 2\pi ; V_m = 0 ;$$

$$= \frac{V_m}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_0^{\pi}$$

$$= \frac{V_m}{2\pi} \{[-\cos(\pi) - \cos(0)]\}$$

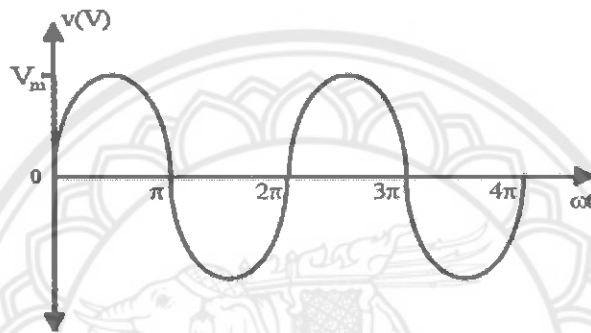
$$= \frac{V_m}{2\pi} [-(-1 - 1)]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318V_m$$

$$V_{dc} = 7.92 \text{ V}$$

ค่าประสิทธิผล (Effective value or Root Mean Square)

นิยามว่าแรงดันไฟสลับที่ก่อให้เกิดผลทางความร้อนเท่ากับค่าแรงดันไฟตรง เช่น ถ้าหากป้อนแรงดันไฟสลับรูปไซน์ ค่า 14.14 โวลต์ คร่อมตัวต้านทานค่า 1 โอห์ม จะทำให้เกิดความร้อนเท่ากับเมื่อป้อนแรงดันไฟตรงค่า 10 โวลต์



รูปที่ 3.6 รูปแสดงสัญญาณและการหาค่าประสิทธิผล

จากรูปที่ 3.6 จะได้สมการการหาค่าแรงดัน อาร์เอ็มเอส คือ

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt}$$

การหาค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (V_{rms})

แทนค่าของแรงดัน $V(t) = V_m \sin(\omega t)$ ในสมการที่ 3.14 จะได้

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (V_m \sin(\omega t))^2 d(\omega t) + \frac{1}{2\pi} \int_\pi^{2\pi} (V_m \sin(\omega t))^2 d(\omega t)}$$

$$= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \int_0^\pi \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \left[\int_0^\pi \frac{1}{2} (1 - \cos(2\omega t)) d(\omega t) \right]}$$

$$= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \left[\frac{1}{2} \int_0^\pi d(\omega t) - \frac{1}{2} \int_0^\pi \cos(2\omega t) d(\omega t) \right]}$$

$$= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \left[\frac{1}{2} (\omega t) - \frac{1}{4} \int_0^\pi \cos(2\omega t) d(2\omega t) \right]}$$

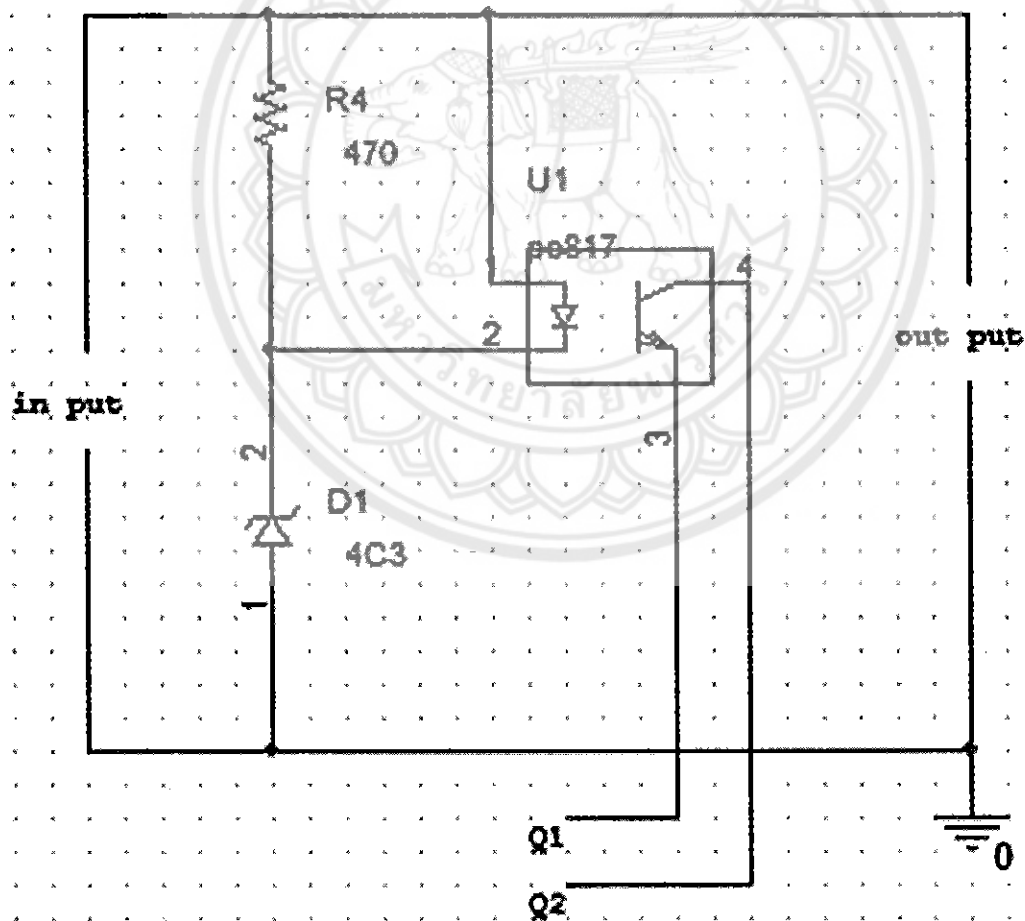
$$= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \left[\frac{1}{2}(\omega t) - \frac{1}{4}\sin(2\omega t) \right]}$$

$$= \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \left[\frac{1}{2}(\pi) - \frac{1}{4}\sin(2\pi) - \frac{1}{2}(0) - \frac{1}{4}\sin(0) \right]}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \left(\frac{\pi}{2} \right)}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} = 0.5V_m$$

$$V_{rms} = 12.9 \text{ V}$$



รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมด้านแรงดันและกระแส

จากรูปที่ 3.7 จะพบว่าในส่วนประกอบของวงจรควบคุมนั้น จะใช้ออปโตคัปเลอร์ในการควบคุมกระแส และ ใช้ซีเนอร์ไดโอดในการคุมไม่ให้แรงดันในวงจรเกิน จากที่กล่าวมาในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.3 เกี่ยวกับออปโตคัปเลอร์ และ หัวข้อที่ 2.2 สำหรับซีเนอร์ไดโอด

3.6 ออกแบบวงจรควบคุมด้านแรงดันและกระแส

3.6.1 หาค่า V_{out} , I_z

จากเอกสารอ้างอิงข้อมูลซีเนอร์ไดโอดเบอร์ 4C3 ขนาด 0.5 วัตต์จะพบว่า $I_z = 5 \text{ mA}$, $V_{zT} = 4.4 \text{ V}$

$$V_{out} = V_{zT} - \Delta I_z r_z \quad (3.13)$$

$$V_{out} = 4.4 + 5 \times 10^{-3} \times 100$$

$$V_{out} = 4.9 \text{ V}$$

3.6.2 หาค่า R ที่เหมาะสม

$$R = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{I_z} \quad (3.14)$$

$$R = \frac{7.22 - 4.9}{5 \times 10^{-3}} = 464 \Omega$$

3.6.3 หาค่า R_{Load} ที่เหมาะสม

$$R_{Load} = \frac{V_{OUT}}{I_z} \quad (3.15)$$

$$R_{Load} = \frac{4.9}{100 \times 10^{-3}}$$

$$= 49 \Omega$$

3.6.4 การเลือกขนาดแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

การเลือกขนาดแกนหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อออกแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง ที่ใช้ศึกษาการเกิดครอสเรกกูเลชัน จะพิจารณาเลือกใช้แกนเฟอร์ไรต์ชนิดแกน EI ETD และแกน Pot โดยจะเลือกแกน และขนาดแกนในการทดสอบที่มีพิกัดกำลังใช้งานได้อย่างปลอดภัยและมีปริมาตรของแกนที่ใกล้เคียงกัน เพื่อไม่ให้เกิดการอิมตัวของเส้นแรงแม่เหล็ก โดยใช้ค่า Core Geometrical Constant :Kg ดังสมการ (3.19) ในการพิจารณาเลือกแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

$$K_g = \frac{A_c^2 W_A}{MLT} \quad (3.16)$$

เมื่อ A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนหม้อแปลงไฟฟ้า

W_A คือ พื้นที่ในการพันขดลวด

MLT คือ ความยาวเฉลี่ยในการพันขดลวดต่อรอบ

แกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่บริษัทผู้ผลิตได้ผลิตออกมาจำหน่าย และนำเข้า โดยข้อมูลขนาด คุณลักษณะ และปริมาตรของแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจากบริษัทผู้ผลิต ที่ใช้ในการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับขนาด และคุณสมบัติของแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตามโครงสร้างแกนชนิด EI ETD และ Pot แสดงได้ดังตาราง 3.1 ถึง 3.3

ตาราง 3.1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะ โครงสร้างแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด EI

Core Type	Ve/mm ³	AC/mm ²	WA/mm ²	MLT/mm	Kg(mm ⁵)
EI30/21/11	6720	113	149.96	73.1	26194.8
EI33/23/13	7910	118	267.575	84.1	44301
EI35/24/10	6270	89.3	302.835	72.33	33388
EI40/27/12	11100	143	353.52	88.6	81588.3

ตาราง 3.2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะ โครงสร้างแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด ETD

Core Type	Ve/mm ³	AC/mm ²	WA/mm ²	MLT/mm	Kg(mm ⁵)
ETD34/17/11	7640	97.1	171.1	44	36697
ETD39/20/13	11500	125	234.3	48	76202.9
EI35/24/10	17800	173	278.53	54.3	153457.6
ETD44/22/15	24000	211	343.38	60.9	250962.3

ตาราง 3.3 การเปรียบเทียบคุณลักษณะ โครงสร้างแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด Pot

Core Type	Ve/mm ³	AC/mm ²	WA/mm ²	MLT/mm	Kg(mm ⁵)
P26/16	3530	93.9	99	65.9	13237.8
P26/16/1	4370	110	99	65.9	18166.5
P30/19	6190	137	133.25	78.5	31859.5
P36/22	10700	202	191.26	94.2	82846.8
P42/29	18200	265	324.8	109.9	207543.9

3.6.5 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจากแกน EI ETD และ แกนPot

การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์สำหรับการทดสอบทรานซิสเตอร์จากแกนแต่ละชนิด ซึ่งการทำงานของวงจรจะสะสมพลังงานเมื่อมอสเฟตนำกระแส และจะถ่ายเทพลังงานไปยังเอาต์พุตเมื่อมอสเฟตหยุดนำกระแส ค่าพลังงานที่สะสมไว้ในตัวหม้อแปลงจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ดังนี้

$$LI^2_p = \frac{\Delta B^2_{max} \times I_g \times A_c}{0.4\pi} \times 10^{-8} \quad (3.17)$$

เมื่อ I_g	คือ ระยะห่างช่องว่างอากาศของแกนเฟอร์ไรต์
A_c	คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์
ΔB_{MAX}	คือ ค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดในแกนเฟอร์ไรต์
L	คือ ค่าความเหนี่ยวนำขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง
I_p	คือ ค่ากระแสสูงสุดในหม้อแปลง

การกำหนดค่า $\max \Delta B$ จะกำหนดไว้เพียงครั้งหนึ่งในการออกแบบหม้อแปลง เพื่อป้องกันการอิ่มตัว และสามารถเพิ่มกำลังงานสะสมในหม้อแปลงได้โดยการเพิ่มระยะช่องว่างอากาศ g_l ซึ่งการออกแบบหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์แบบต่างๆ จะมีขนาดที่เหมาะสมอยู่หลายขนาด โดยจะมีระยะ ช่องว่างอากาศต่างกันออกไปซึ่งประสิทธิภาพการส่งผ่านพลังงานของตัวแปลงผันแบบพุก-พูลจะมีค่าประสิทธิภาพประมาณ 65-80 % กำลังงานที่แปลงผันแบบพุก-พูลสามารถจ่ายให้กับโหลด P_{out}

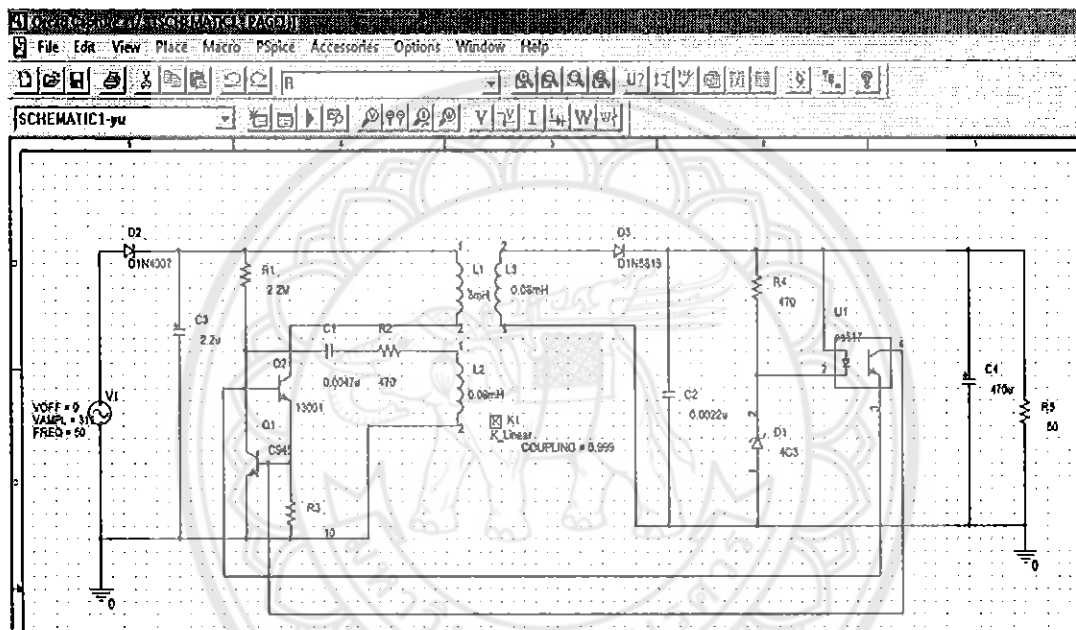
3.7 ออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิทซ์โดยใช้โปรแกรมพีเอสไปร์ท (Pspice)

โดยการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังจำเป็นต้องทำการทดสอบดูก่อนว่าใช้ได้จริงหรือไม่ โดยอาศัยโปรแกรมพีเอสไปร์ท (Pspice) มาช่วยในการทดสอบวงจรว่าได้ค่าตรงตามที่ต้องการหรือไม่ โดยจะนำอุปกรณ์ต่างๆมาทำการทดสอบดังรูปที่ 3.8

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างวงจรแหล่งกำเนิดกำลังแบบสวิทซ์นี้จะประกอบด้วย

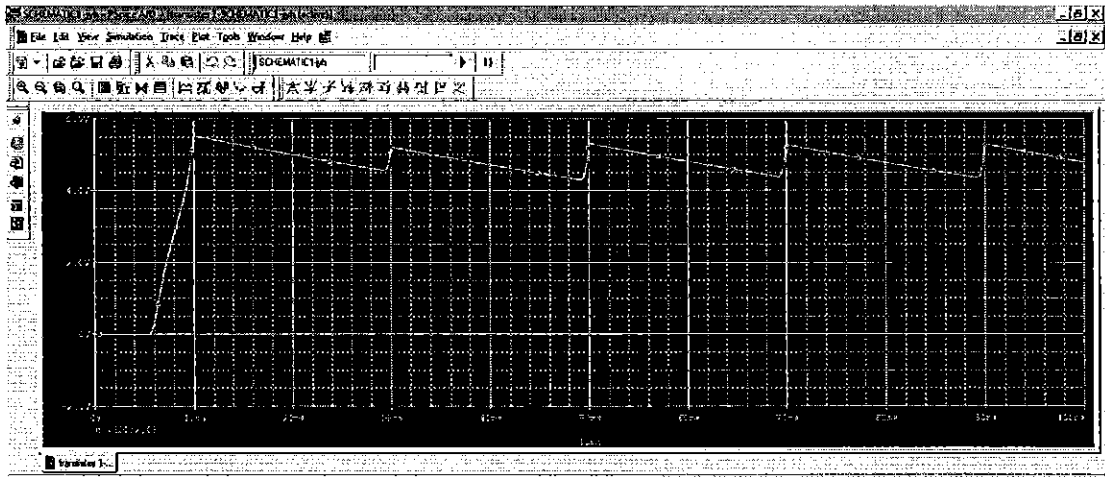
1. ไดโอดในวงจรเรียงกระแสชนิด 1N4007 ทนกระแสได้ 1 A ทนแรงดันได้ 1000 V จำนวน 1 ตัว
2. ไดโอดในวงจรเรียงกระแสชนิด 1N5819 ทนกระแสได้ 1 A ทนแรงดันได้ 40 V จำนวน 1 ตัว
3. ตัวเก็บประจุในวงจรฟิลเตอร์ชนิด Electrolytic ขนาด 220 μF ทนแรงดันได้ 10 V จำนวน 1 ตัว
4. ตัวเก็บประจุในวงจรฟิลเตอร์ชนิด Electrolytic ขนาด 2.2 μF ทนแรงดันได้ 450 V จำนวน 1 ตัว
5. ตัวเก็บประจุ ByPass ชนิด Ceramic ขนาด 4.7pF สามารถทนแรงดันได้ 450 V จำนวน 1 ตัว
6. ตัวเก็บประจุ ByPass ชนิด Ceramic ขนาด 2.2pF สามารถทนแรงดันได้ 1kV จำนวน 1 ตัว
7. ตัวต้านทาน ขนาด 2.2 $M\Omega$ 0.25 W จำนวน 1 ตัว

8. ตัวต้านทาน ขนาด $10\ \Omega$ 0.25 W จำนวน 1 ตัว
9. ตัวต้านทาน ขนาด $470\ \Omega$ 0.25 W จำนวน 2 ตัว
10. Zenodiode เบอร์ 4C3 0.5 W จำนวน 1 ตัว
11. Optocoupler pc817optocoupler pc817 จำนวน 1 ตัว
12. Transistor ชนิด NPN เบอร์ C945 จำนวน 1 ตัว
13. Transistor ชนิด NPN เบอร์ 13001 จำนวน 1 ตัว
14. หม้อแปลงสวิตซ์จิ่งจำนวน 1 ตัว



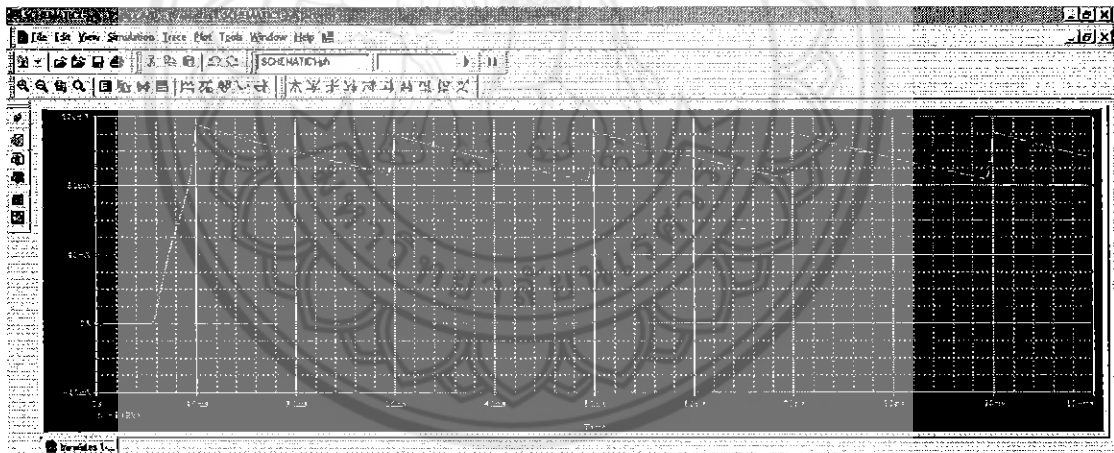
รูปที่ 3.8 วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์จิ่ง

ออกแบบและเขียนวงจรลงบนโปรแกรมพีสไปร์ท โดยนำอุปกรณ์ต่างๆมาลงในวงจร ป้อนค่าให้กับอุปกรณ์ต่างๆตามที่ได้คำนวณไว้ข้างต้น



รูปที่ 3.9 กราฟแรงดันค่านอกของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิดซิ่ง

ทำการทดลองโดยใช้ค่าโดยวัดคร่อม RL ค่านอก จะได้ค่าแรงดันตกคร่อม RL ตามรูปที่ 3.9 และได้ค่ากระแสค่านอกผ่าน RL ตามรูปที่ 3.10 ซึ่งจะได้ค่าใกล้เคียงตามที่ต้องการคือ แรงดันขนาด 5 โวลต์ 100 มิลลิแอมป์



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงกระแสค่านอกของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิดซิ่ง

3.8 ออกแบบลายวงจรโดยใช้โปรแกรมเซอร์กิตวิซาร์ด (circuit wizard)

ในหัวข้อนี้จะเป็นการออกแบบลายปรินต์โดยใช้โปรแกรมเซอร์กิตวิซาร์ด (Circuit Wizard) เพื่อที่จะนำอุปกรณ์ต่างๆ มาลงลายปรินต์เพื่อทำชิ้นงานวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิดซิ่ง ขั้นแรก จะเป็นการออกแบบลายวงจร โดย ซึ่งจะได้ออกมาโดยใช้อุปกรณ์ดังต่อไปนี้ ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ออปโตคัปเปลอร์ ตัวเก็บประจุ ตัวต้านทาน หม้อแปลงสวิดซิ่ง มาเขียนวงจรและขั้นตอนต่อมาจะเป็นการขยับเส้นทองแดงตามความเหมาะสมจะได้วงจรที่เสร็จสมบูรณ์ตามบทที่ 4 ในรูปที่ 4.1 เป็นรูปแบบของการวางอุปกรณ์ทางด้านบนของลายวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิดซิ่งที่

ออกแบบไว้ และในรูปที่ 4.2 เป็นเส้นลายวงจรที่ด้านล่างของแผ่นปริ้น ซึ่งจะมีความ กว้าง 52 เซ็นติเมตร และยาว 37 เซ็นติเมตร เมื่อได้ลายปริ้นที่ออกแบบเสร็จแล้วก็จะนำมาลงลายปริ้นจริงเพื่อวางอุปกรณ์จริงตามหัวข้อต่อไปใน 3.9

3.9 นำวงจรแหล่งจ่ายกำลังที่ออกแบบมาประกอบเป็นชิ้นงาน

ต่อมาจะกล่าวถึงขั้นตอนการนำอุปกรณ์ต่างๆมาลงบนแผ่นปริ้น ซึ่งได้ออกแบบไว้ดังที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.8 เมื่อทำการกัดลายปริ้นแล้วจะได้ดังบทที่ 4 ในรูปที่ 4.3 ทำการตรวจสอบดูเส้นลายปริ้นว่าถูกต้องหรือขาดหายไปหรือไม่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจร เมื่อเสร็จแล้วทำการลงอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนแผ่นปริ้นที่เตรียมไว้และบัดกรีอุปกรณ์ด้วยความระมัดระวัง เสร็จแล้วจะได้ดังบทที่ 4 ในรูปที่ 4.4 เป็นอันเสร็จสมบูรณ์

3.10 การทดสอบสมรรถนะของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง

จะเป็นการกล่าวถึงการทดสอบสมรรถนะของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง โดยจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบคือ

1. ผลการทดสอบวงจรย่อยของแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง โดยจะเป็นการทดสอบวงจรย่อยต่างๆประกอบไปด้วย ผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านเข้า ผลการทดสอบวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุล ผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านออก ผลการทดสอบวงจรควบคุมแรงดันและกระแส ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวไว้ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.2 เพื่อที่จะหาค่าที่ได้จากวงจรย่อยในส่วนต่างๆว่าได้ตรงตามค่าที่ปรับตั้งไว้

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงจะเป็นการหาค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์โดยสามารถหาได้จากการวัดและนำมาแทนค่าในสมการที่ (3.18) หาค่ากำลังสูญเสียได้จากสมการที่ (3.19) หาเปอร์เซ็นต์ Voltage Regulation ได้จากสมการที่ (3.20) และหาค่าเปอร์เซ็นต์รีปเปิ้ลแฟกเตอร์ได้จากสมการที่ (3.21) โดยรายละเอียดต่างๆจะกล่าวไว้ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.3

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3.18)$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss} \quad (3.19)$$

$$\text{Voltage Regulation} = \frac{V_{noload} - V_{fullload}}{V_{fullload}} \times 100 \quad (3.20)$$

$$\text{Ripple Factor (\%)} = \frac{\text{ripple_voltage(rms)}}{\text{DC_voltage}} \times 100\% \quad (3.21)$$

เมื่อ	η	คือ ค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า
	P_{out}	คือ กำลังไฟฟ้าขาออกของวงจร
	P_{in}	คือ กำลังไฟฟ้าขาเข้าของวงจร
	P_{Loss}	คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบของวงจร
	Load Regulation	คือ ค่าแรงดันคงที่ขณะทำงาน
	$V_{\text{no load}}$	คือ แรงดันขณะไม่มีโหลด
	$V_{\text{full load}}$	คือ แรงดันขณะจ่ายให้กับ โหลด

3.11 วิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ ซึ่งจะเป็นการกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่าปรับตั้งที่ต้องการ โดยจะวิเคราะห์ผลการทดสอบตั้งแต่ ผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านเข้า ผลการทดสอบวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พูด ผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านออก ผลการทดสอบวงจรควบคุมแรงดันและกระแส ซึ่งผลการวิเคราะห์นั้นจะกล่าวไว้ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.2 และวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ ซึ่งสามารถจ่ายกำลังงานได้ตรงตามค่าปรับตั้งที่ต้องการคือ แรงดัน 5 โวลต์ ที่กระแส 100 มิลลิแอมป์ ซึ่งจะกล่าวในบทที่ 4 หัวข้อ 4.3

3.12 สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองแล้ว ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดสอบของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ ซึ่ง ได้ผลตรงตามค่าปรับตั้งที่ต้องการ หรือมีความคลาดเคลื่อนเท่าไร โดยจะกล่าวไว้ในบทที่ 5 หัวข้อ 5.1

3.13 ปัญหา และข้อเสนอแนะ

ขั้นสุดท้ายในการดำเนินงานนี้จะเป็นการกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดสอบวงจรแหล่งจ่ายกำลัง ว่าตั้งแต่เริ่มดำเนินงานมานั้นเกิดข้อผิดพลาดหรือปัญหาอะไรบ้าง และสามารถที่จะนำมาปรับแก้ให้ตรงตามที่ผู้ต้องการ ได้อย่างไร เพื่อที่ผู้ใช้สามารถนำไปพัฒนาให้วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ซึ่งมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นต่อไปได้ โดยรายละเอียดปัญหาและข้อเสนอแนะนั้นจะกล่าวไว้ในบทที่ 5 หัวข้อ 5.1

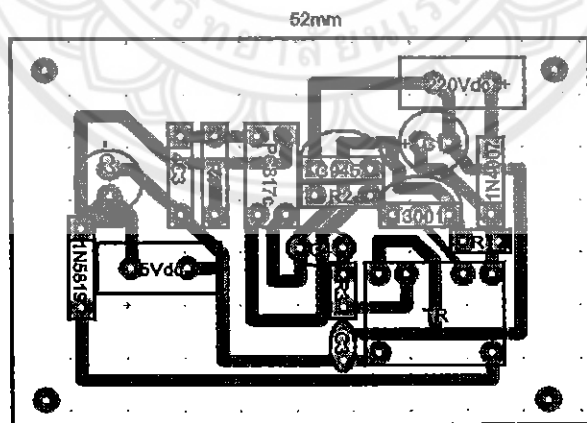
บทที่ 4

ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์

จากที่ได้ทำการอธิบายการดำเนินงานในโครงการงานโดยเริ่มตั้งแต่เสนอหัวข้อโครงการงาน ศึกษาหลักการการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง ออกแบบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแส ด้านเข้า ออกแบบวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พูลออกแบบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแส ด้านออก ออกแบบวงจรควบคุมแรงดันและกระแส ออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงโดยใช้โปรแกรมพีสไปร์ท (Pspice) ออกแบบลายวงจรโดยใช้โปรแกรมเซอร์กิตวิซาร์ด (Circuit wizard) นำวงจรที่ออกแบบมาประกอบเป็นชิ้นงาน ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดดังบทที่ 3 ส่วนในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงถึงจากการนำอุปกรณ์มาทดสอบว่าได้ค่าตรงตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มการทดลองดังนี้

4.1 ผลการออกแบบลายปรีนที่ได้จากโปรแกรมเซอร์กิตวิซาร์ดและนำมาลงอุปกรณ์ต่างๆ

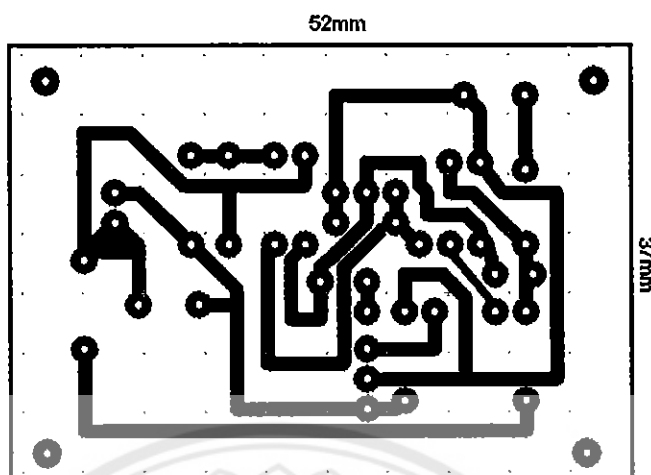
ในหัวข้อนี้จะเป็นการออกแบบลายปรีนโดยใช้โปรแกรมเซอร์กิตวิซาร์ด(Circuit Wizard) เพื่อที่จะนำอุปกรณ์ต่างๆมาลงลายปรีนเพื่อทำชิ้นงาน ซึ่งจะได้ออกมาตามรูปที่ 4.1 เป็นรูปแบบของการวางอุปกรณ์ทางด้านบนของลายวงจรที่ออกแบบไว้ และ 4.1จะเป็นรูปเส้นทองแดงของลายปรีนในวงจร ขนาดของแผ่นปรีนจะมีขนาด กว้าง 52 เซ็นติเมตร และยาว 37 เซ็นติเมตร



รูปที่ 4.1 ลายปรีน PCB ด้านบนที่ออกแบบ

จากรูปที่ 4.1 จะเป็นการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ใน โปรแกรมเซอร์กิตวิซาร์ด (Circuit wizard) เพราะในวงจรที่ออกแบบมานั้นยังไม่ได้ออกแบบการวางตำแหน่งอุปกรณ์ในชิ้นงาน จึงจำเป็นที่จะต้องดูความเหมาะสมในการจัดวางอุปกรณ์ไม่ให้ลายปรีนวงจรติดกันและอุปกรณ์ไม่ชิด

กันมากจนเกินไป ซึ่งอาจเกิดการลัดวงจรได้เมื่อได้ตำแหน่งอุปกรณ์ที่เหมาะสมแล้ว ก็ทำการเชื่อมเส้นลายปริ้นวงจรดังรูปที่ 4.2



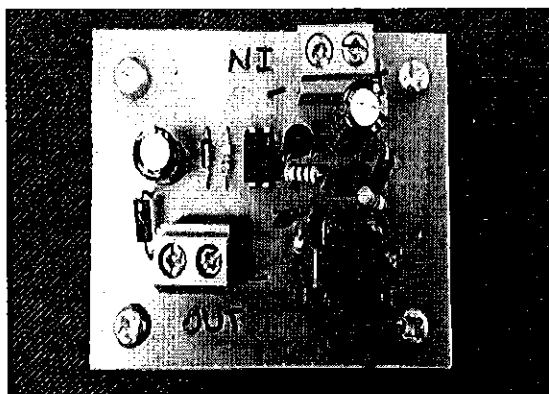
รูปที่ 4.2 ลายปริ้น PCB ด้านล่างที่ออกแบบ

จากรูปที่ 4.2 เป็นเส้นลายวงจรที่ด้านล่างของอุปกรณ์ที่ออกแบบ โดยโปรแกรมเซอร์กิตวิซาร์ด (Circuit wizard) มาจัดเส้นลายวงจรให้มีขนาดที่เหมาะสม ไม่ชิด หรือห่างจนเกินไปทำให้แผงวงจรอาจเกิดการลัดวงจรได้ เมื่อตรวจสอบดีแล้วว่าเส้นลายปริ้นวงจรสมบูรณ์ ขั้นต่อไปจะนำลายปริ้นวงจรมาทึดลายปริ้นลงแผ่นทองแดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผ่นลายทองแดงของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซิ่งที่กัดลายปริ้นแล้ว

จากรูปที่ 4.3 จะเป็นแผ่นทองแดงที่กัดเส้นลายปริ้นเสร็จแล้วให้นำแผ่นทองแดงมาตรวจสอบความถูกต้องว่ามีลายเส้นวงจรขาดกัน หรือติดกันหรือไม่ และเจาะรู ก่อนนำอุปกรณ์ไปลงในขั้นตอนต่อไปดังรูปที่ 4.4 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจร และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

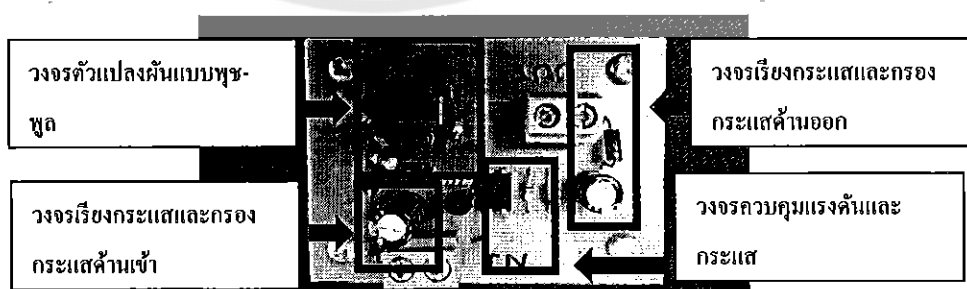


รูปที่ 4.4 แผ่นลายทองแดงของที่ตั้งอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์แล้ว

จากรูปที่ 4.4 เมื่อได้วงจรที่กัดลายปรีนแผ่นทองแดงจากรูปที่ 4.3 แล้วนำอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์มาประกอบลงในแผ่นปรีนที่เตรียมไว้ดังรูปที่ 4.1 พร้อมกับบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ด้วยความระมัดระวัง เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เสียหายและเช็จุดจุดที่บัดกรีไม่ให้ไปติดกับเส้นลายปรีนวงจรที่ไม่เกี่ยวข้อง

4.2 ผลการทดสอบวงจรย่อยของแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์

ในการทดสอบวงจรย่อยของแหล่งจ่ายสวิตซ์ จะเป็นการหาผลการทดสอบของวงจรย่อยแต่ละวงจรซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ทำให้สามารถแบ่งผลการทดสอบได้เป็น 4 วงจรย่อยได้แก่ผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านเข้า ผลการทดสอบวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พูล ผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านออก ผลการทดสอบวงจรควบคุมแรงดันและกระแส เมื่อนำวงจรย่อยของแหล่งจ่ายกำลังมาลงแผ่นปรีนตามที่กล่าวในหัวข้อที่ 4.1 จะได้วงจรย่อยของแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ดังภาพที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วงจรย่อยต่างๆในวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ โดยรวม

4.2.1 ผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านเข้า

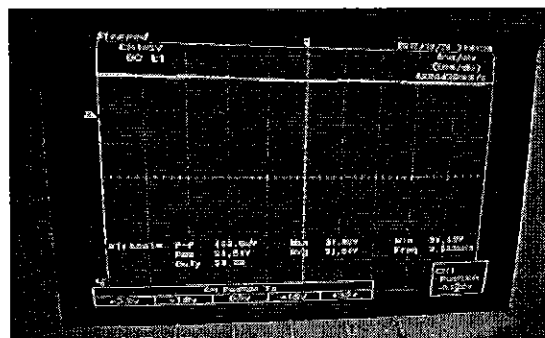
ในการทดสอบวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านเข้า จะดูผลที่ได้จากการวัดค่าพารามิเตอร์สัญญาณแรงดันด้านออกของวงจรนี้ ซึ่งองค์ประกอบรวมของวงจรเรียงกระแสและ

กรองกระแสต้านเข้ามี ขนาด 2.2 uF,แรงดัน450 V จำนวน 1 ตัวเพื่อกรองความถี่สูงของสัญญาณ ต่อมานำอุปกรณ์มาลงแผ่นปริ้น์อุปกรณ์ดังนี้ ไดโอดเบอร์ 1N4007 , กระแส 1 A , แรงดัน 1000 V จำนวน 1 ตัว และตัวเก็บประจุชนิด Electrolytic ตามที่อธิบายรายละเอียดในการติดตั้งอุปกรณ์ลงแผ่นปริ้น์ในหัวข้อ 4.1 เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ลงบนแผ่นปริ้น์แล้วจะได้วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสต้านเข้าดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 รูปวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสต้านเข้า

เมื่อป้อนสัญญาณแรงดันกระแสสลับที่ $V_{rms} = 220$ โวลต์ ความถี่ 50 Hz เข้าสู่วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสต้านเข้า จากนั้นวัดค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณแรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสต้านเข้าว่าเป็นไปตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.3 ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ด้านออกของวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสแล้วจะได้ค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณแรงดันจากออสซิลอโคปและเนื่องจากใช้สายวัดสัญญาณคุณภาพ 10 ทำให้ได้ค่าดังนี้ ค่าแรงดันขอดสูงสุด (V_{MAX}) มีค่าเท่ากับ 318 V ส่วนค่าแรงดันขอดต่ำสุด (V_{MIN}) มีค่าต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 314 V จะได้ค่าแรงดันของขอดถึงขอดในวงจร (V_{P-P}) มีค่าเท่ากับ 4 V แรงดันเฉลี่ย (V_{Avg}) มีค่าเท่ากับ 315.4 V ความถี่ที่ใช้ในการทำงาน (Freq.) จะมีค่า 33.3 kHz และค่าแรงดันใช้งาน (V_{rms}) ได้ค่าแรงดันเท่ากับ 315.4 V ดังรูปที่ 4.7 และค่าพารามิเตอร์ที่กล่าวมาจะได้ผลดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสต้านเข้า

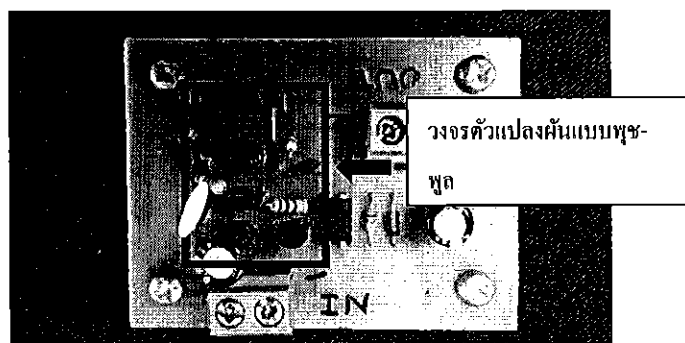
ตารางที่ 4.1 ผลทดสอบค่าพารามิเตอร์ของวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านเข้า

ชื่อ	สัญลักษณ์ตัวย่อ	สัญญาณที่ได้	หน่วย
แรงดันยอดถึงยอด	V_{p-p}	4.00	V
แรงดันใช้งาน	V_{rms}	315.40	V
แรงดันยอดสูงสุด	V_{MAX}	318.00	V
แรงดันยอดต่ำสุด	V_{MIN}	314.00	V
แรงดันเฉลี่ย	V_{Avg}	315.40	V
ความถี่	Freq	33.30	kHz

ในตารางที่ 4.1 จะพบว่าสัญญาณที่ป้อนให้ก่อนผ่านวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสจะเป็นสัญญาณแรงดันกระแสสลับ V_{rms} เท่ากับ 220 โวลต์ และความถี่ 50 Hz แต่เมื่อผ่านวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านเข้าแล้วจะเปลี่ยนเป็นแรงดันกระแสตรงจะได้ค่าแรงดันเท่ากับ 315.4 V และความถี่ 33.3 kHz

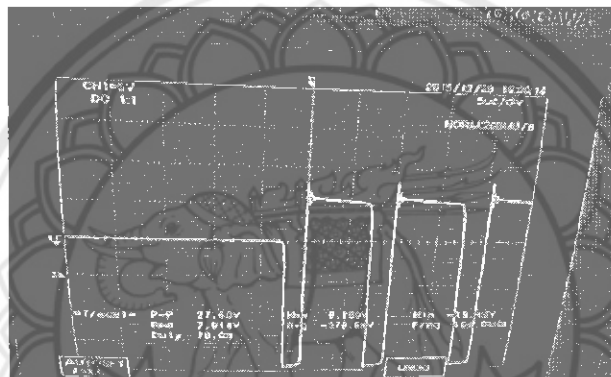
4.2.2 ผลการทดสอบวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุก

จากการทดสอบวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุก จะดูผลที่ได้จากการวัดค่าพารามิเตอร์สัญญาณแรงดันด้านออกของวงจรนี้ ซึ่งองค์ประกอบรวมของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุกมีอุปกรณ์ดังนี้ ตัวต้านทาน ขนาด 2.2 M Ω , 0.25 W จำนวน 1 ตัว ตัวเก็บประจุ ByPass ชนิด เซรามิก ขนาด 4.7 pF, แรงดัน 450 V จำนวน 1 ตัว ตัวเก็บประจุ ByPass ชนิด เซรามิกขนาด 2.2pF , แรงดัน 1 kV จำนวน 1 ตัว ทรานซิสเตอร์เบอร์ C945 จำนวน 1 ตัว ทรานซิสเตอร์เบอร์ 13001 จำนวน 1 ตัว หม้อแปลงสวิตซ์จำนวน 1 ตัว ตัวต้านทาน ขนาด 470 Ω , 0.25 W จำนวน 2 ตัว ต่อมานำอุปกรณ์มาลงแผ่นปริ้นตามทีอธิบายรายละเอียดในการติดตั้งอุปกรณ์ลงแผ่นปริ้นในหัวข้อ 4.1 เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ลงบนแผ่นปริ้นแล้วจะได้วงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุกดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 รูปวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุก

เมื่อป้อนสัญญาณแรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสดังที่กล่าวมาในหัวข้อ 4.2.1 เข้าสู่วงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุลของ จากนั้นวัดค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณแรงดันด้านออกของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุลว่าเป็นไปตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.4 ทำการวัดค่าที่ด้านออกของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุลแล้วจะได้ค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณแรงดันจากออสซิลโคสโคปและเนื่องจากใช้สายวัดสัญญาณคูณ 1 ทำให้ได้ค่าดังนี้ ค่าแรงดันยอดสูงสุด (V_{MAX}) มีค่าเท่ากับ 8.2 V ส่วนค่าแรงดันยอดต่ำสุด (V_{MIN}) มีค่าต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 19.40 V จะได้ค่าแรงดันของยอดถึงยอดในวงจร (V_{P-P}) มีค่าเท่ากับ 27.6 mV แรงดันเฉลี่ย (V_{Avg}) มีค่าเท่ากับ 378.6 mV ความถี่ที่ใช้ในการทำงาน (Freq.) จะมีค่า 100 kHz และค่าแรงดันใช้งาน (V_{rms}) ได้ค่าแรงดันเท่ากับ 7.91 V ดังรูปที่ 4.9 และค่าพารามิเตอร์ที่กล่าวมาในข้างต้นจะได้ค่าดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุล

ตารางที่ 4.2 ผลทดสอบค่าพารามิเตอร์ของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุล

ชื่อ	สัญลักษณ์ด้วยย่อ	สัญญาณที่ได้	หน่วย
แรงดันยอดถึงยอด	V_{P-P}	27.60	mV
แรงดันใช้งาน	V_{rms}	7.91	V
แรงดันยอดสูงสุด	V_{MAX}	8.20	V
แรงดันยอดต่ำสุด	V_{MIN}	-19.40	V
แรงดันเฉลี่ย	V_{Avg}	-378.60	mV
ความถี่	Freq	100.00	kHz

ในตารางที่ 4.2 จะพบว่าสัญญาณที่ป้อนให้ก่อนผ่านวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุล จะเป็นสัญญาณแรงดันกระแสตรงมีค่าเท่ากับสัญญาณแรงดันด้านออกตามที่กล่าวมาในหัวข้อ 4.2.1 แต่เมื่อผ่านวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุลแล้วจะเปลี่ยนเป็นแรงดันกระแสสลับ เนื่องจากเกิดการ

เหนี่ยวนำของขดลวดในหม้อแปลงซึ่งยังไม่ได้ผ่านการเรียงกระแส ได้ค่าแรงดัน เท่ากับ 7.91 V และความถี่ 100 kHz

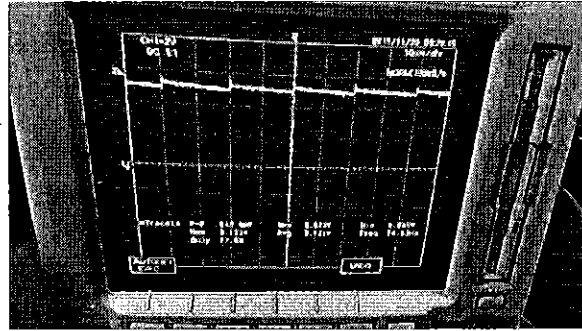
4.2.3 ผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสด้านออก

ในการทดสอบวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านออก จะดูผลที่ได้จากการวัดค่าพารามิเตอร์สัญญาณแรงดันด้านออกของวงจรนี้ ซึ่งองค์ประกอบรวมของวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านออกมีอุปกรณ์ดังนี้ ไดโอด เบอร์ 1N5819 , กระแส 1 A , แรงดัน 40 V จำนวน 1 ตัว ตัวเก็บประจุชนิด Electrolytic ขนาด 220 μF , แรงดัน 10 V จำนวน 1 ตัวเพื่อกรองความถี่ต่ำของสัญญาณ ต่อมานำอุปกรณ์มาลงแผ่นปริ้นตามทฤษฎีรายละเอียดในการติดตั้งอุปกรณ์ลงแผ่นปริ้นในหัวข้อ 4.1 เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ลงบนแผ่นปริ้นแล้วจะได้วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านเข้า ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 รูปวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านออก

เมื่อป้อนสัญญาณแรงดันด้านออกของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก -- พูลคั้งที่กล่าวมาในหัวข้อ 4.2.2 เข้าสู่วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านออก จากนั้นวัดค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณแรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านออก ว่าเป็นไปตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.5 ทำการวัดค่าที่ด้านออกของวงจรเรียงกระแสแรงและกรองกระแสด้านออกแล้วจะได้ค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณแรงดันจากออสซิลอสโคปและเนื่องจากใช้สายวัดสัญญาณคูณ 1 ทำให้ได้ค่าดังนี้ ค่าแรงดันยอดสูงสุด (V_{MAX}) มีค่าเท่ากับ 5.52 V ส่วนค่าแรงดันยอดต่ำสุด (V_{MIN}) มีค่าต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 4.8 V จะได้ค่าแรงดันของยอดถึงยอดในวงจร (V_{P-P}) มีค่าเท่ากับ 640 mV แรงดันเฉลี่ย (V_{AVG}) มีค่าเท่ากับ 5.121 V ความถี่ที่ใช้ในการทำงาน (Freq.) จะมีค่า 74.6 Hz และค่าแรงดันใช้งาน (V_{RMS}) ได้ค่าแรงดันเท่ากับ 5.122 V ดังรูปที่ 4.11 และค่าพารามิเตอร์ที่กล่าวมาในข้างต้นจะได้ค่าดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.11 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านออก

ตารางที่ 4.3 ผลทดสอบค่าพารามิเตอร์ของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุก

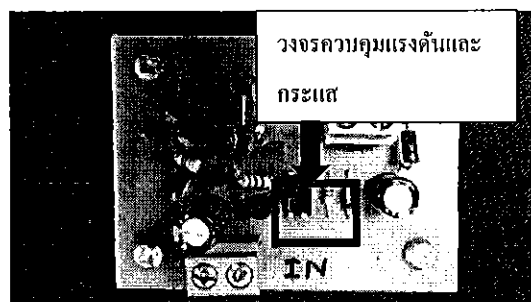
ชื่อ	สัญลักษณ์ด้วยย่อ	สัญญาณที่ได้	หน่วย
แรงดันยอดถึงยอด	V_{P-P}	640	mV
แรงดันใช้งาน	V_{rms}	5.122	V
แรงดันยอดสูงสุด	V_{MAX}	5.52	V
แรงดันยอดต่ำสุด	V_{MIN}	4.8	V
แรงดันเฉลี่ย	V_{Avg}	5.121	V
ความถี่	Freq	74.6	Hz

ในตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าสัญญาณแรงดันที่ป้อนให้ก่อนผ่านวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสจะเป็นสัญญาณแรงดันด้านออกของวงจรตัวแปลงผันแบบพุก-พุก ค่าดังกล่าวมาในหัวข้อ 4.2.2 แต่เมื่อผ่านวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านเข้าแล้วจะเปลี่ยนเป็นแรงดันกระแสตรงได้ ค่าแรงดันเท่ากับ 5.121 V และความถี่ 74.6 Hz

4.2.4 ผลการทดสอบวงจรควบคุมแรงดันและกระแส

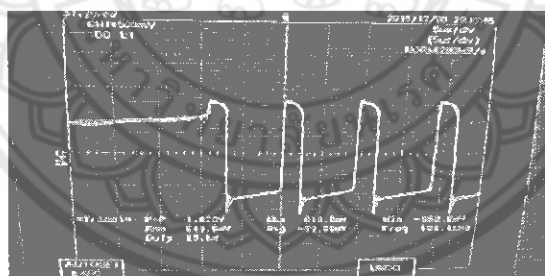
ในการทดสอบวงจรควบคุมแรงดันและกระแส จะดูผลที่ได้จากการวัดค่าสัญญาณแรงดันด้านออกของวงจรนี้ซึ่งองค์ประกอบรวมของวงจรควบคุมแรงดันและกระแส มีอุปกรณ์ดังนี้ซีเนอร์ ไดโอดเบอร์ 4C3 , 0.5 W จำนวน 1 ตัว ใช้ควบคุมแรงดันให้คงที่ และทำงานที่แรงดัน 5.1 V และเมื่อกระแสลดลงตัวต้านทานขนาด 470 Ω จะควบคุมกระแสไหลให้ไหลผ่านออกจากซีเนอร์ไดโอดเพื่อให้วงจรทำงานต่อ

ในส่วนของออปโตคัปเลอร์ pc817 จำนวน 1 ตัวจะใช้เป็นตัวปล่อยสัญญาณควบคุมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เมื่อกระแสตกโดยที่สลับกันทำงาน ต่อมานำอุปกรณ์มาลงแผ่นปริ้นตามที่อธิบายรายละเอียดในการติดตั้งอุปกรณ์ลงแผ่นปริ้นในหัวข้อ 4.1 เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ลงบนแผ่นปริ้นแล้วจะได้วงจรควบคุมแรงดันและกระแสดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 รูปวงจรควบคุมแรงดันและกระแส

เมื่อป้อนสัญญาณแรงดันด้านออกของวงจรควบคุมแรงดันและกระแสดังที่กล่าวมาในหัวข้อ 4.2.4 เข้าสู่วงจรควบคุมแรงดันและกระแสจากนั้นวัดค่าของสัญญาณแรงดันด้านออกของวงจรควบคุมแรงดันและกระแสว่าเป็นไปตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.6 ทำการวัดค่าที่ด้านออกของวงจรควบคุมแรงดันและกระแสแล้วจะได้ค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณแรงดันจากออสซิโลสโคปและเนื่องจากใช้สายวัดสัญญาณคูณ 1 ทำให้ได้ค่าดังนี้ ค่าแรงดันยอดสูงสุด (V_{MAX}) มีค่าเท่ากับ 840 mV ส่วนค่าแรงดันยอดต่ำสุด (V_{MIN}) มีค่าต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 980 mV จะได้ค่าแรงดันของยอดถึงยอดในวงจร (V_{P-P}) มีค่าเท่ากับ 1.82 V แรงดันเฉลี่ย (V_{Avg}) มีค่าเท่ากับ 39.06 V ความถี่ที่ใช้ในการทำงาน (Freq.) จะมีค่า 106.4 kHz และค่าแรงดันใช้งาน (V_{RMS}) ได้ค่าแรงดันเท่ากับ 5.12 V ดังรูปที่ 4.13 และค่าพารามิเตอร์ที่กล่าวมาในข้างต้นจะได้ค่าดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.13 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรควบคุมแรงดันและกระแส

ตารางที่ 4.4 ผลทดสอบค่าพารามิเตอร์ของวงจรควบคุมแรงดันและกระแส

ชื่อ	สัญลักษณ์ตัวย่อ	สัญญาณที่ได้	หน่วย
แรงดันยอดถึงยอด	V_{P-P}	1.82	V
แรงดันใช้งาน	V_{rms}	643.80	mV
แรงดันยอดสูงสุด	V_{MAX}	840.00	mV
แรงดันยอดต่ำสุด	V_{MIN}	-980.00	mV
แรงดันเฉลี่ย	V_{Avg}	-39.06	mV
ความถี่	Freq	106.40	kHz

ในตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าสัญญาณแรงดันที่ป้อนให้ก่อนผ่านวงจรควบคุมแรงดันและกระแสจะเป็นสัญญาณแรงดันค่านอกของวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้านนอกค่าดังกล่าวมาในหัวข้อ 4.2.3 แต่เมื่อแรงดันตกวงจรควบคุมแรงดันและกระแสจะทำงานซึ่งวัดค่าแรงดันขณะวงจรควบคุมแรงดันแลกระแสได้เท่ากับ 840 mV และความถี่ 106.4 kHz

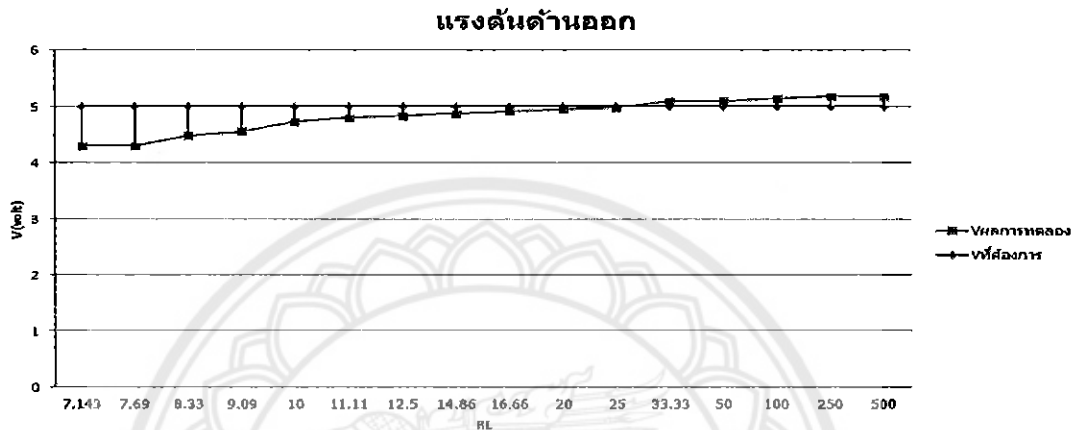
4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิทชิง

การทดลองนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิทชิงโดยวัดค่าของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า โดยมีการเปลี่ยนค่าความต้านทาน โหลดจำนวน 16 ค่า ดังตารางที่ 4.5 เพื่อหาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ได้จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบระหว่างค่าปรับตั้งที่ต้องการนำไปใช้กับผลที่ได้จากการทดลองของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าโดยมีการเปลี่ยนความต้านทานโหลด จำนวน 16 ค่า

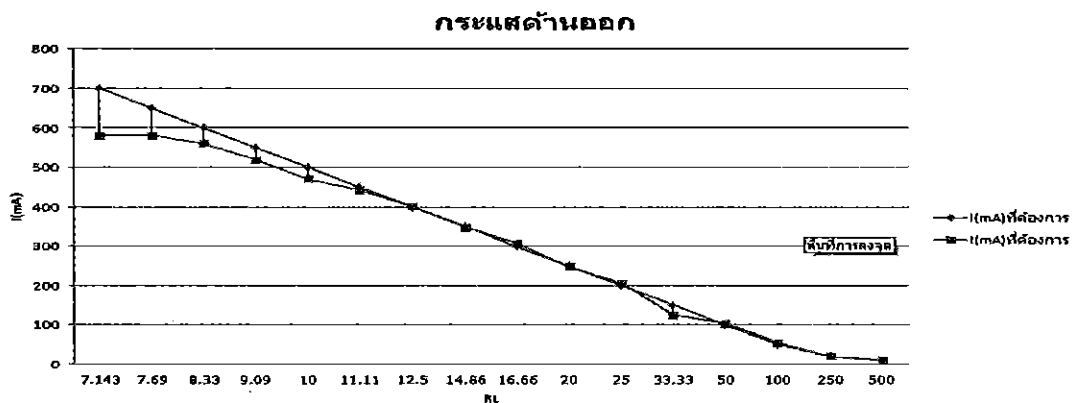
R โหลด (โอห์ม)	ค่าปรับตั้งที่ต้องการ			ค่าที่วัดได้จากผลการทดลอง		
	I(mA)	V(โวลต์)	P(W)	I(mA)	V(โวลต์)	P(W)
-	0	5	∞	0	5.24	∞
7.14	700	5	3.50	580.02	4.30	2.49
7.69	650	5	3.25	580.02	4.30	2.49
8.33	600	5	3.00	560.54	4.48	2.51
9.09	550	5	2.75	519.07	4.56	2.37
10.00	500	5	2.50	471.6	4.73	2.23
11.11	450	5	2.25	442.36	4.80	2.13
12.50	400	5	2.00	400.17	4.84	1.93
14.86	350	5	1.75	347.42	4.87	1.65
16.66	300	5	1.50	307.44	4.92	1.51
20.00	250	5	1.25	248.30	4.95	1.23
25.00	200	5	1.00	207.30	4.98	1.02
33.33	150	5	0.75	125.30	5.08	0.54
50.00	100	5	0.50	103.40	5.09	0.53
100.00	50	5	0.25	53.94	5.14	0.28
250.00	20	5	0.10	19.95	5.17	0.10
500.00	10	5	0.50	10.24	5.18	0.05

จากตารางที่ 4.5 แสดงถึงแรงดันด้านออก และกระแสด้านออกของค่าปรับตั้งที่ต้องการนำไปใช้และค่าที่วัดได้จากผลการทดลอง พบว่าค่าแรงดันด้านออกที่วัดได้จากการทดลองมีค่าไม่คงที่ และมีค่าเพิ่มขึ้นตามความต้านทานโหลดที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.14 ในขณะที่กระแสด้านออกจะมีค่าลดลงตามความต้านทานโหลดที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.15 ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าลดลงเมื่อความต้านทานโหลดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.14 กราฟแรงดันด้านออกระหว่างค่าปรับตั้งที่ต้องการกับค่าที่วัดได้จากผลการทดลอง

ในรูปที่ 4.14 จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกที่ได้จากวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ซึ่งนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าปรับตั้งที่ต้องการคืออยู่ในช่วงความต้านทาน โหลด 50 โอห์ม แรงดัน 5 โวลต์ ซึ่งค่าแรงดันที่วัดได้จากการทดลองช่วงความต้านทานโหลด 50 โอห์ม คือ 5.09 โวลต์ จะพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.8 เปอร์เซ็นต์ จะมีช่วงแรงดันลดลงในช่วงที่ค่าความต้านทานโหลดลดลง และช่วงแรงดันเพิ่มขึ้นในช่วงที่ค่าความต้านทาน โหลดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทดลอง อาจจะมีข้อผิดพลาด หรือ แรงดัน ไฟฟ้าสูญเสียในตัวอุปกรณ์ทำให้การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายกำลัง สวิตซ์ซึ่งนั้นมีค่าคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 4.15 กราฟกระแสด้านออกระหว่างค่าปรับตั้งที่ต้องการกับค่าที่วัดได้จากผลการทดลอง

ในรูปที่ 4.15 จะพบว่ากระแสไฟฟ้าด้านนอกที่ได้จากวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ซึ่งนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าปรับตั้งที่ต้องการคืออยู่ในช่วงความต้านทาน โหลด 50 โอห์ม กระแส 100 มิลลิแอมป์ ซึ่งค่ากระแสที่วัดได้จากผลการทดลองช่วงความต้านทาน โหลด 50 โอห์ม คือ 103.40 มิลลิแอมป์ จะพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.4 เปอร์เซ็นต์ จะมีช่วงกระแสลดลงในช่วงที่ค่าความต้านทาน โหลดเพิ่มขึ้นและมีช่วงกระแสเพิ่มขึ้นในช่วงที่ค่าความต้านทาน โหลดลดลง เนื่องจากผลการทดลองอาจจะมีข้อผิดพลาด หรือ เกิดความสูญเสียในตัวอุปกรณ์ทำให้การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ซึ่งนั้นมีค่าคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 4.16 กราฟกำลังไฟฟ้านอกระหว่างค่าปรับตั้งที่ต้องการกับค่าที่วัดได้จากผลการทดลอง

ในรูปที่ 4.16 จะพบว่ากำลังไฟฟ้านอกที่ได้จากวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ซึ่งนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าปรับตั้งที่ต้องการคืออยู่ในช่วงความต้านทาน โหลด 50 โอห์ม กำลัง ไฟฟ้า 0.50 วัตต์ ซึ่งค่ากำลัง ไฟฟ้าที่วัดได้จากผลการทดลองช่วงความต้านทาน โหลด 50 โอห์ม คือ 0.53 วัตต์ จะพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 6 เปอร์เซ็นต์ จะมีช่วงที่ กำลังไฟฟ้าลดลงในช่วงที่ค่าความต้านทาน โหลดเพิ่มขึ้นและมีช่วงที่ กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในช่วงที่ค่าความต้านทาน โหลดลดลง เนื่องจากผลการทดลองอาจจะมีข้อผิดพลาด หรือเกิดความสูญเสียในตัวอุปกรณ์ทำให้การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ซึ่งนั้นมีค่าคลาดเคลื่อนได้

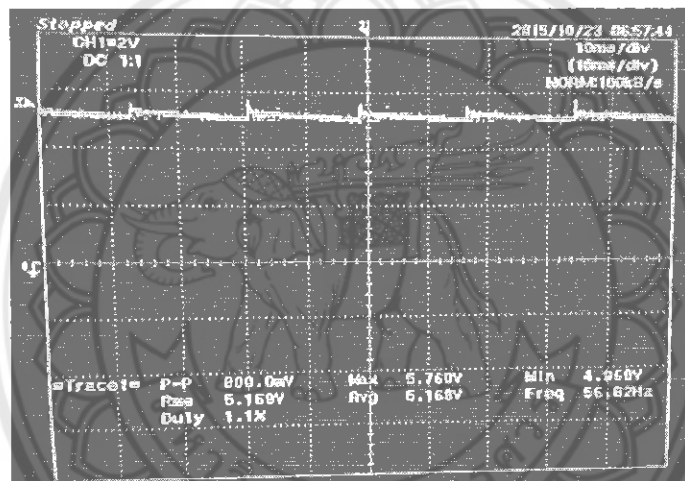
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองของวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ทั้งด้านเข้าและด้านออก

R โหลด (โอห์ม)	ด้านเข้า				ด้านออก			ประสิทธิภาพ η $(\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%)$	ค่ากำลังสูญเสีย $(P_{Loss})(w)$ $P_{Loss} = P_{In} - P_{out}$
	I (mA)	V (โวลต์)	PF	P_m (w)	I (mA)	V (โวลต์)	P_{out} (w)		
-	2.21	220	0.6	0.05	0	5.24	∞	-	-
7.14	20.94	220	0.6	2.76	580.01	4.21	2.494	90.36%	0.266
7.69	20.52	220	0.6	2.70	580.10	4.30	2.494	92.37%	0.206
8.33	19.96	220	0.6	2.63	560.54	4.48	2.511	95.47%	0.119
9.09	19.74	220	0.6	2.60	519.07	4.56	2.366	91%	0.234
10.00	19.57	220	0.6	2.58	471.60	4.73	2.230	86.43%	0.35
11.11	16.67	220	0.6	2.20	442.36	4.80	2.123	96.5%	0.077
12.50	16.24	220	0.6	2.14	400.17	4.84	1.936	90.46%	0.204
14.86	13.65	220	0.6	1.80	347.42	4.87	1.691	93.94%	0.109
16.66	13.24	220	0.6	1.74	307.44	4.92	1.512	86.89%	0.228
20.00	11.39	220	0.6	1.50	248.30	4.95	1.229	81.93%	0.271
25.00	9.88	220	0.6	1.30	207.30	4.98	1.032	79.38%	0.268
33.33	6.27	220	0.6	0.82	125.30	5.08	0.636	77.56%	0.184
50.00	5.46	220	0.6	0.58	103.40	5.09	0.526	90.68%	0.054
100.00	4.4	220	0.6	0.45	53.94	5.14	0.277	61.55%	0.173
25.00	3.53	220	0.6	0.30	19.95	5.17	0.103	34.33%	0.197
500.00	2.34	220	0.6	0.07	10.24	5.18	0.053	75.71%	0.017

ในตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า (η) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังขาออก (P_{out}) ต่อกำลังขาเข้า (P_{in}) ซึ่งจะต้องมีหน่วยเดียวกันดังนั้นจะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 สมการที่ (3.18) จะแสดงค่าไว้ในตารางที่ 4.6 ช่วงที่วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด จะอยู่ในช่วงที่ความต้านทานโหลดมีค่าเท่ากับ 50 โอห์ม (Ω) ซึ่งเป็นค่าที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดทั้งแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และ กำลังไฟฟ้า และช่วงที่วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดจะอยู่ในช่วงที่ความต้านทานโหลดมีค่าเท่ากับ 7.14 โอห์ม (Ω) เพราะกระแสสูง แต่แรงดันจะตกจนไม่สามารถนำวงจรไปใช้งานได้ สามารถหาค่ากำลังสูญเสียในระบบ (P_{Loss}) ได้จากบทที่ 3 สมการที่ (3.19) จะพบว่าวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยที่แรงดัน ไม่ตก จะอยู่ในช่วงที่ความต้านทานโหลดมีค่าเท่ากับ 50 โอห์ม (Ω) ซึ่งเป็นค่าที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดทั้งแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และ กำลังไฟฟ้า และช่วงที่

วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตช์ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำที่สุดและสูญเสียมากที่สุดจะอยู่ในช่วงที่ความต้านทานโหลดมีค่าเท่ากับ 10 โอห์ม (Ω) เพราะกระแสสูง แต่แรงดันจะตกจนไม่สามารถนำวงจรไปใช้งานได้ เมื่อวัดค่าสัญญาณโดยใช้ออสilloscope จะได้ดังรูปที่ 4.18

หาเปอร์เซ็นต์ Load Regulation ตามค่าปรับตั้งที่ต้องการคือแรงดัน 5 โวลต์ กระแส 100 มิลลิแอมป์ จากการทดลองจะได้แรงดันขณะไม่มีโหลดเท่ากับ 5.242 โวลต์และขณะที่มีโหลดเท่ากับ 5.098 โวลต์ โดยโหลดที่ใช้จะใช้ตัวต้านทานที่มีค่า 50 โอห์มเพราะกระแสจะได้ 103 มิลลิแอมป์ ซึ่งใกล้เคียงกับ 100 มิลลิแอมป์ ตามค่าปรับตั้งที่ต้องการหาได้จากบทที่ 3 สมการที่ (3.20) จะได้ค่าเท่ากับ 2.98% ดังนั้นแสดงว่าวงมมีเสถียรภาพในการคงค่าแรงดันด้านออกได้ดี แม้แรงดันด้านเข้าหรือ โหลดเปลี่ยนแปลงไป แต่แรงดันด้านออกยังคงที่



รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณด้านออกขณะต่อกับความต้านทาน โหลด 50 โอห์ม

จากรูปที่ 4.17 สัญญาณด้านออกที่ได้จากการวัดคร่อมตัวต้านทาน โหลดขนาด 50 โอห์มจะพบว่ายังคงมีสัญญาณ ไฟฟ้ากระเพื่อม (Ripple Factor) ซึ่งค่าแรงดัน ไฟฟ้ากระเพื่อม จะถูกบอกไว้ในรูปของเปอร์เซ็นต์ เรียกว่าริปลแฟกเตอร์ (Ripple Factor) หากค่าได้จากบทที่ 3 สมการที่ (3.20) จะได้ค่าริปลแฟกเตอร์เท่ากับ 4.468% ดังนั้นยังมีรูปคลื่นสัญญาณที่ยังคงมีแรงดันกระเพื่อมอยู่บ้างเล็กน้อย

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงสรุปผลจากการทดลอง ปัญหาข้อเสนอแนะแนวทางแก้ไข และแนวทางในการพัฒนาเพื่อนำโครงการนี้ไปปรับใช้ในการทำงานของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในโครงการนี้เป็นการพัฒนางจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ซึ่งมีการปรับตั้ง มีแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับ 5 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าด้านออกเท่ากับ 100 มิลลิแอมป์ โดยจ่ายให้กับโหลดที่ค่าความต้านทาน 50 โอห์ม จากผลการทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกที่ได้มีค่าเท่ากับ 5.09 โวลต์ มีความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับ 1.8 % และกระแสไฟฟ้าด้านออกมีค่าเท่ากับ 103.40 มิลลิแอมป์ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.40 % ให้กำลังไฟฟ้า 526.326 มิลลิวัตต์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้เท่ากับ 6.00 % และมีริฟเป็ลแฟกเตอร์เท่ากับ 4.45 % จากการทดลองที่มีการเปลี่ยนโหลดที่มีค่าความต้านทานจำนวน 16 ค่า ดังตารางที่ 4.5 พบว่าค่าความต้านทานโหลด มีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนกระแสไฟฟ้าจะมีค่าลดลงซึ่งค่าใกล้เคียงกับค่าปรับตั้งที่ต้องการ เมื่อหาค่าประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ซึ่งจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้เท่ากับ 90.68 % มีค่ากำลังสูญเสียภายในระบบเท่ากับ 0.054 วัตต์ ทำให้หาค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันคงที่เท่ากับ 2.98 % พบว่าในการทดลองทั้ง 16 ค่าวงจรมีเสถียรภาพในการคงค่าแรงดันด้านออกได้ดี แม้แรงดันด้านเข้าหรือโหลดเปลี่ยนแปลงไป ค่าที่มีเสถียรภาพดีที่สุดอยู่ในช่วงโหลดที่ค่าความต้านทาน 50 โอห์ม

5.2 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข

5.2.1 ปัญหาเรื่องแรงดันด้านออกมีค่าไม่คงที่

5.2.2 ปัญหาในด้านอุปกรณ์ในการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้านั้นมีขนาดเล็กและผลิตมาน้อยทำให้ค่าที่ได้นั้นไม่ค่อยตรงตามที่ต้องการ แนวทางในการแก้ไขทำการพันหม้อแปลงเองหรือเลือกใช้หม้อแปลงที่มีค่าใกล้เคียงที่สุด

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

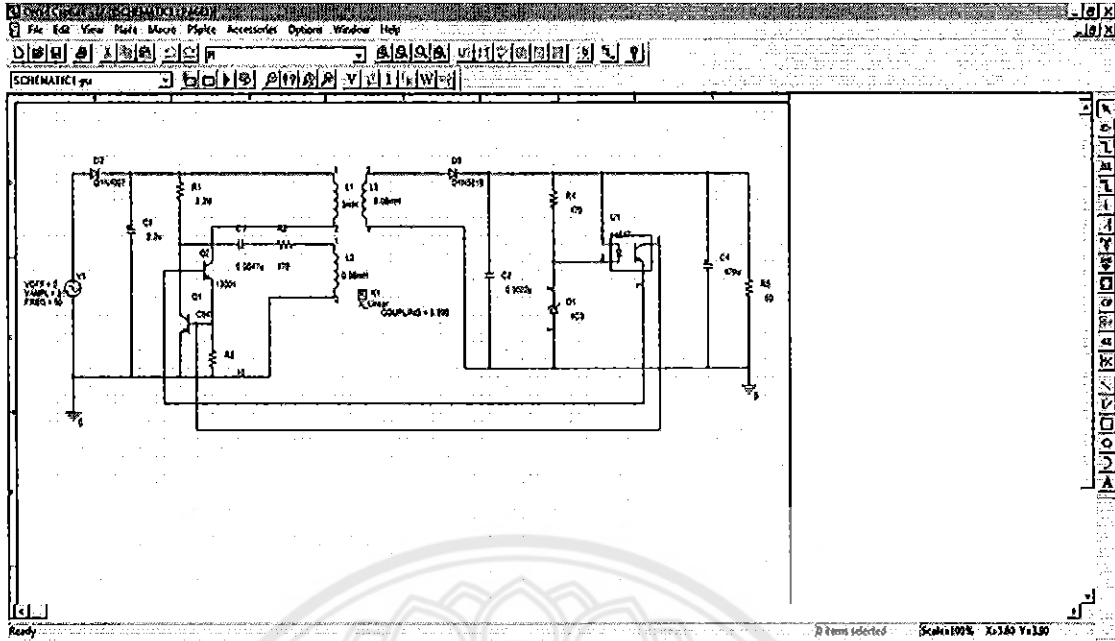
- 5.3.1 ต้องมีวงจรควบคุมแรงดันให้คงที่และมีเสถียรภาพมากขึ้น
- 5.3.2 เพิ่มขีดความสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้เพิ่มมากขึ้น
- 5.3.3 เพิ่มวงจรป้องกันกระแสไหลย้อนกลับเพื่อป้องกันอุปกรณ์เสียหายเมื่อมีการลัดวงจร



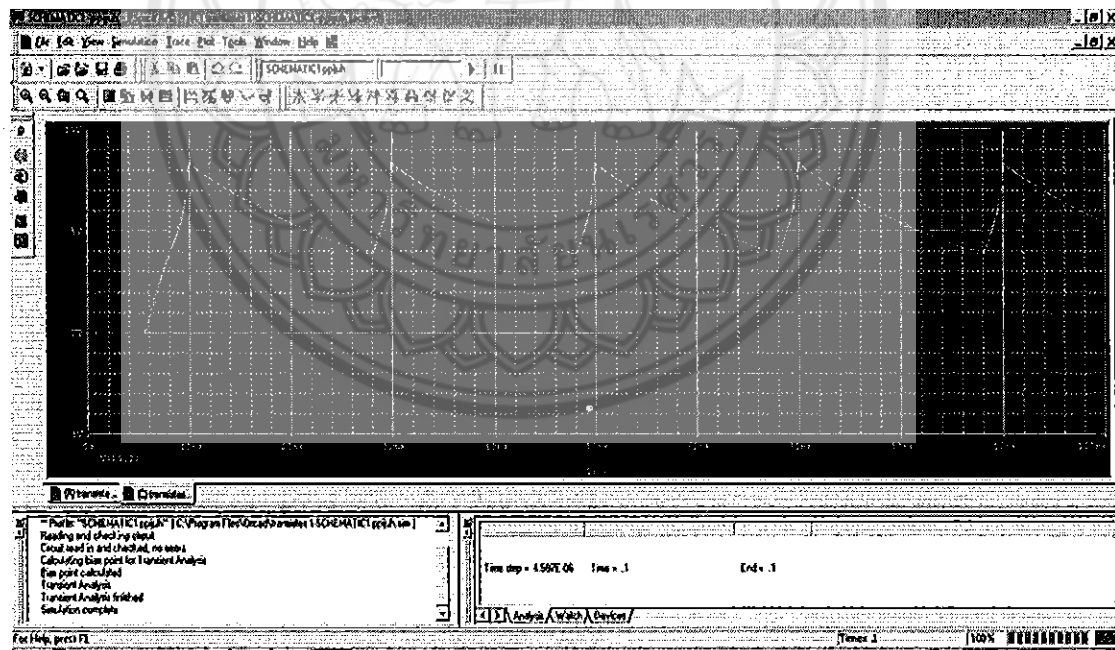
เอกสารอ้างอิง

- [1] หาดหนังสือประกอบการทำโครงการน วันที่ 2 พ.ค 58
หนังสือเทคนิคและการออกแบบ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย สุวัฒน์ คั่น.พิมพ์ครั้งที่ 1 กทม.
บริษัท เอนเทลไทย จำกัด .พ.ศ.2521
- [2] หาดหนังสือประกอบการใช้โปรแกรม Pspice วันที่ 5 ส.ค. 58
Pspice สำหรับวงจรแปลงผกผันกำลัง ผศ.ดร.อภิรัตน์ อูร์ โสภณ.พิมพ์ครั้งที่ 1 กทม. ดวง
กมลพิบลิชซึ่ง.2556
- [3] ค้นหาข้อมูลวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย วันที่ 8 ต.ค.58
https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/power_regulator/#TRANSFORMER_COUPLED
- [4] ค้นหาข้อมูลหลักการทำงานของวงจรพุ่ม-พุ่ม คอนเวอร์เตอร์วันที่ 10 ต.ค.58
https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching_regulator/
- [5] ค้นหาข้อมูลหลักการหม้อแปลงสวิตชิง วันที่ 3 พ.ย.58
<http://ssc-servicecom.blogspot.com/2014/02/switching-supply.html>

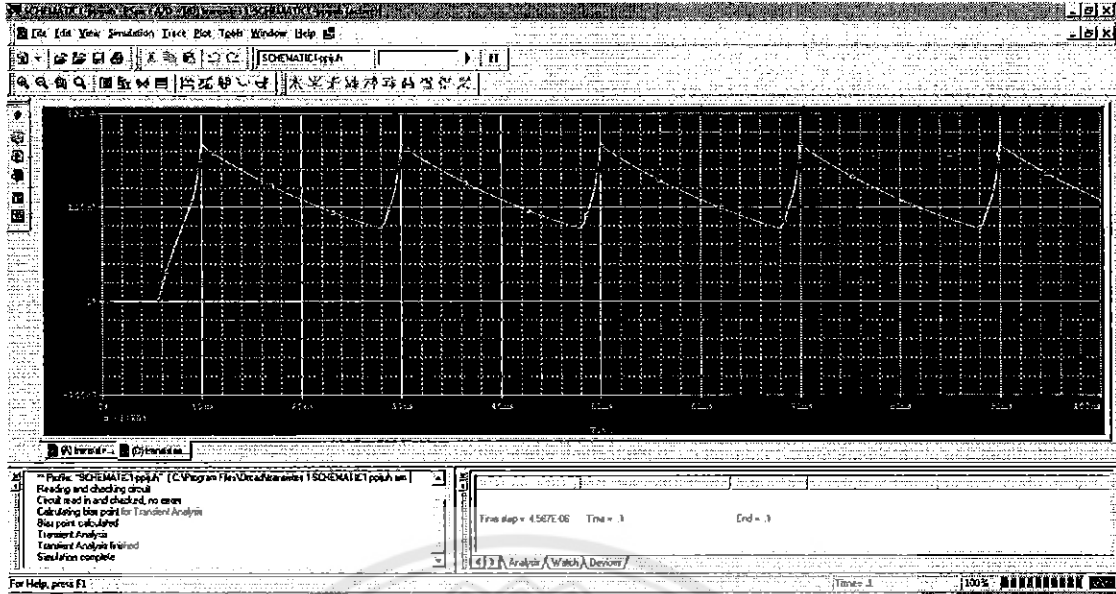




รูปวงจรเพาเวอร์ซัพพลายขนาดเล็ก



รูปกราฟ แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุต



รูปกราฟกระแสไฟฟ้าต้านเอาต์พุต

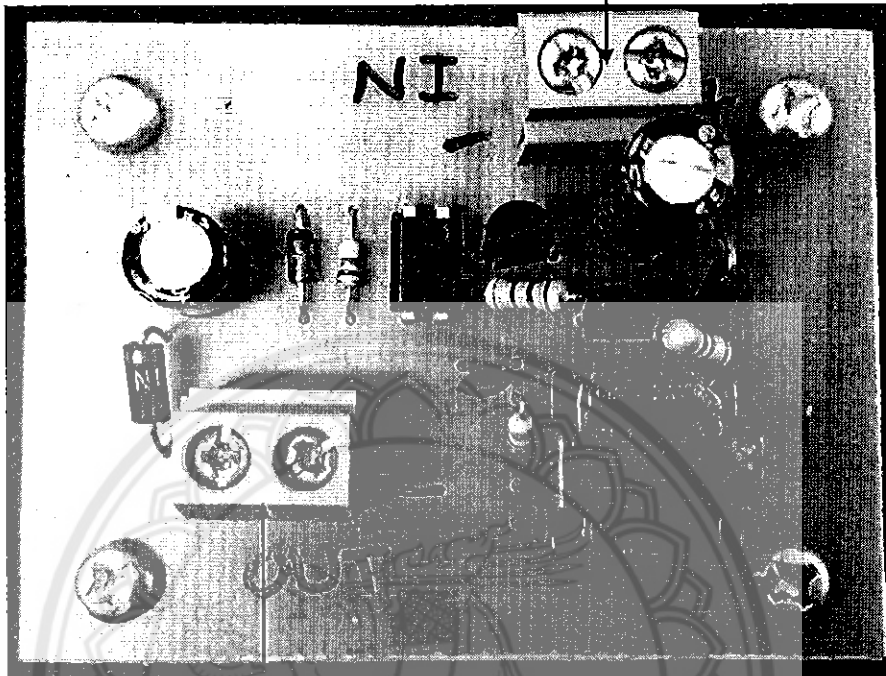




ภาคผนวก ข

วิธีการใช้งาน วงจรแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง

ต่อไฟ 220 Vac 50Hz



Vout 5Vac 100mA



ภาคผนวก ค
รายละเอียด ทายวงจรสำหรับค้ดปรินและลงอุปกรณ์โดยใช้โปรแกรม
Circuit Wizard ในการออกแบบ

ภาคผนวก ง

เอกสารข้อมูลอ้างอิงของอุปกรณ์ภายในวงจร



PC817 Series

High Density Mounting Type Photocoupler

- Lead forming type (I type) and taping reel type (P type) are also available. (PC817HPC817P)
- TÜV (VDEE84) approved type is also available as an option.

■ Features

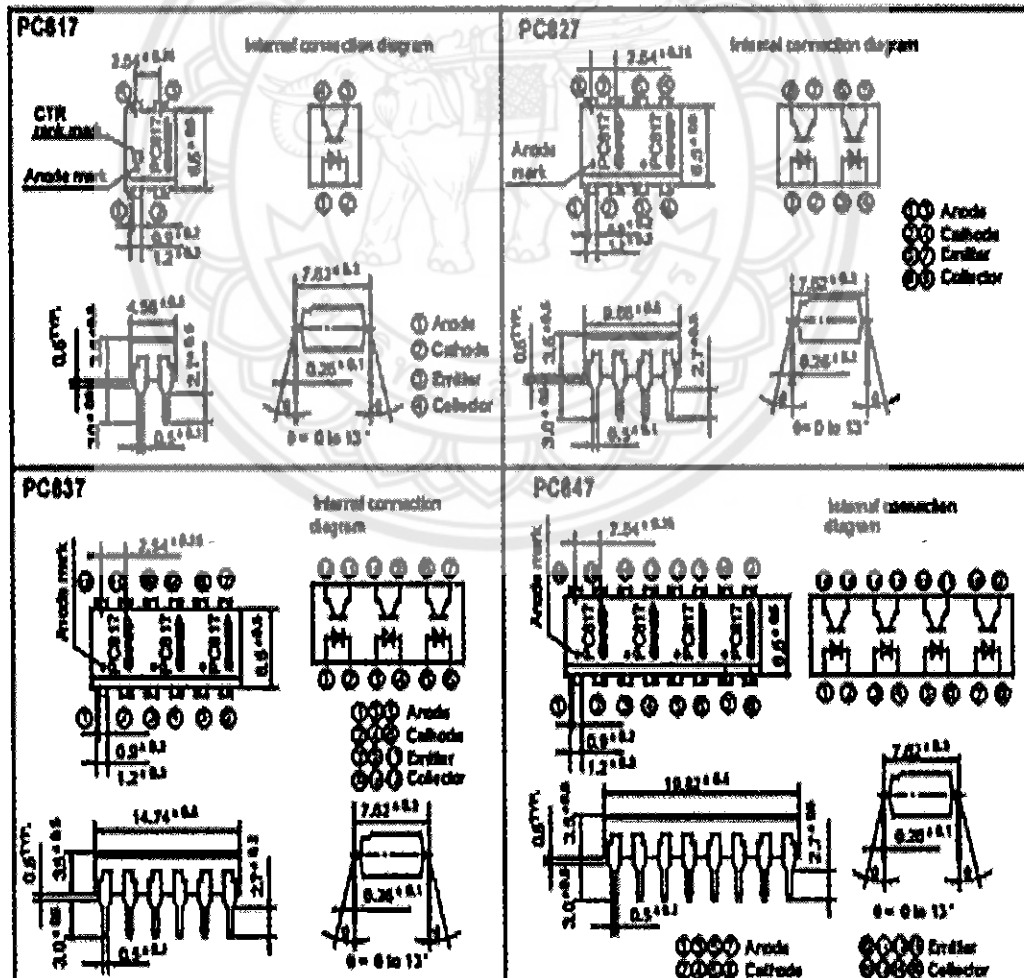
1. Current transfer ratio
(CTR: MIN. 50% at $I_f = 5\text{mA}$, $V_{CE} = 5\text{V}$)
2. High isolation voltage between input and output ($V_{iso} : 5000\text{V}_{rms}$)
3. Compact dual-in-line package
PC817 : 1-channel type
PC827 : 2-channel type
PC837 : 3-channel type
PC847 : 4-channel type
4. Recognized by UL, file No. E64380

■ Applications

1. Computer terminals
2. System appliances, measuring instruments
3. Registers, copiers, automatic vending machines
4. Electric home appliances, such as fan heaters, etc.
5. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



* In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP does not assume responsibility for any defects that occur in equipment using any of SHARP's devices, shown in catalog, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest version of the device specification sheets before using any SHARP's devices.

SHARP**PC817 Series****■ Absolute Maximum Ratings** (Ta = 25°C)

Parameter		Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	I_F	50	mA
	*1 Peak forward current	I_{FM}	1	A
	Reverse voltage	V_R	6	V
	Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	V_{CE0}	35	V
	Emitter-collector voltage	V_{EC0}	6	V
	Collector current	I_C	50	mA
	Collector power dissipation	P_C	150	mW
Total power dissipation		P_{tot}	200	mW
**Isolation voltage		V_{iso}	5000	V_{rms}
Operating temperature		T_{op}	-30 to +100	°C
Storage temperature		T_{stg}	-55 to +125	°C
*3 Soldering temperature		T_{sol}	260	°C

*1 Pulse width $\leq 100\mu s$, Duty ratio: 0.001

*2 40 to 60% RH, AC for 1 minute

*3 For 10 seconds

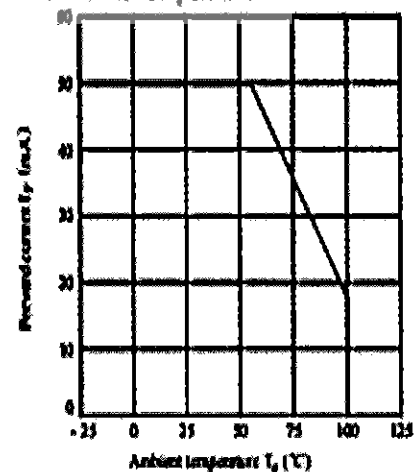
■ Electro-optical Characteristics

(Ta = 25°C)

Parameter		Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Input	Forward voltage	V_F	$I_F = 20mA$	-	1.2	1.4	V
	Peak forward voltage	V_{FM}	$I_{FM} = 0.5A$	-	-	1.0	V
	Reverse current	I_R	$V_R = 4V$	-	-	10	μA
	Terminal capacitance	C_T	$V = 0, f = 1kHz$	-	30	250	pF
Output	Collector dark current	I_{C0}	$V_{CE} = 20V$	-	-	10^{-10}	A
Transfer characteristics	*4 Current transfer ratio	CTR	$I_F = 5mA, V_{CE} = 5V$	50	-	600	%
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_F = 20mA, I_C = 1mA$	-	0.1	0.2	V
	Isolation resistance	R_{iso}	DC500V, 40 to 60% RH	5×10^{10}	10^{10}	-	Ω
	Floating capacitance	C_f	$V = 0, f = 1kHz$	-	0.6	1.0	pF
	Cut-off frequency	f_c	$V_{CE} = 5V, I_C = 2mA, R_L = 100\Omega, -3dB$	-	80	-	kHz
	Response time	Rise time	t_r	$V_{CE} = 2V, I_C = 2mA, R_L = 100\Omega$	-	4	18
Fall time		t_f	-		3	18	μs

*4 Classification table of current transfer ratio is shown below.

Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature



Model No.	Rank mark	CTR (%)
PC817A	A	80 to 160
PC817B	B	130 to 260
PC817C	C	200 to 400
PC817D	D	300 to 600
PC807AB	A or B	80 to 260
PC807BC	B or C	130 to 400
PC807CD	C or D	200 to 600
PC807AC	A, B or C	80 to 400
PC807BD	B, C or D	130 to 600
PC807AD	A, B, C or D	80 to 600
PC807	A, B, C, D or No mark	80 to 600

①: 1 or 2 or 3 or 4

Fig. 2 Collector Power Dissipation vs. Ambient Temperature

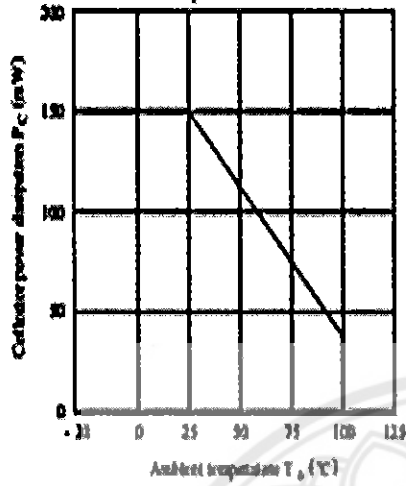


Fig. 3 Peak Forward Current vs. Duty Ratio

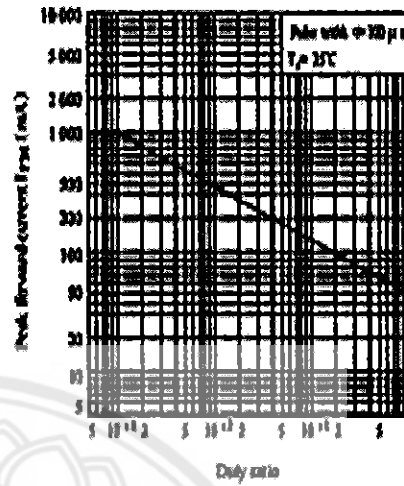


Fig. 4 Current Transfer Ratio vs. Forward Current

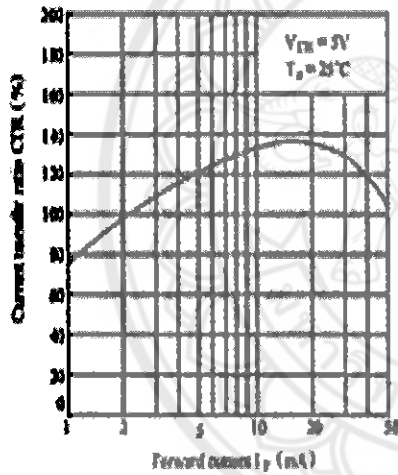


Fig. 5 Forward Current vs. Forward Voltage

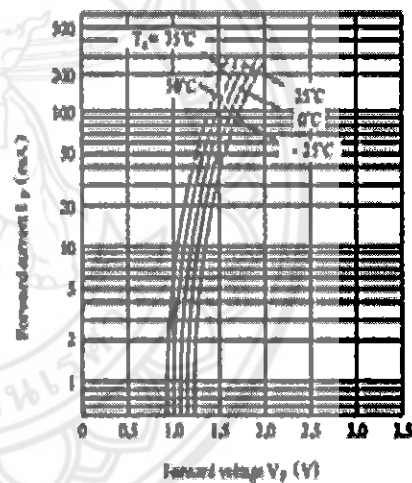


Fig. 6 Collector Current vs. Collector-emitter Voltage

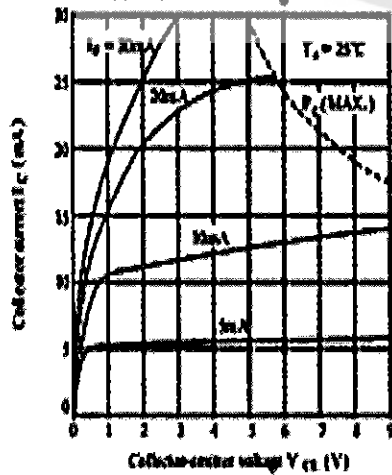


Fig. 7 Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

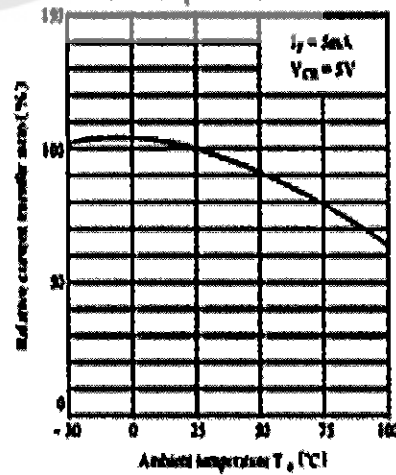


Fig. 8 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature

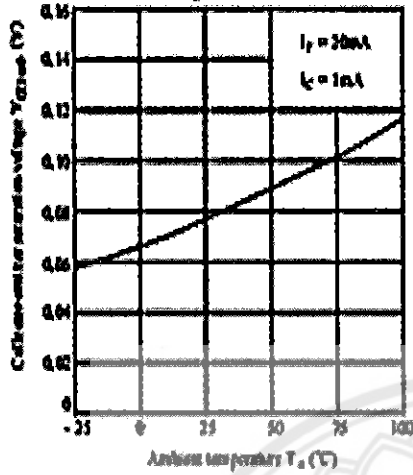


Fig. 9 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature

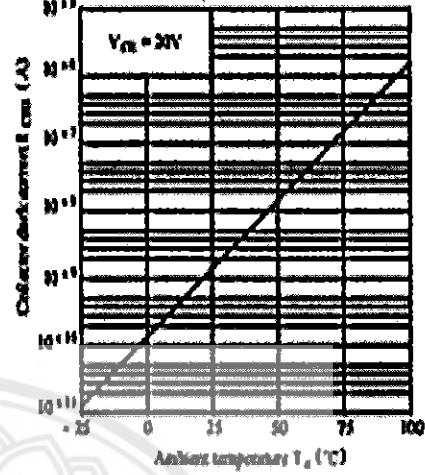


Fig.10 Response Time vs. Load Resistance

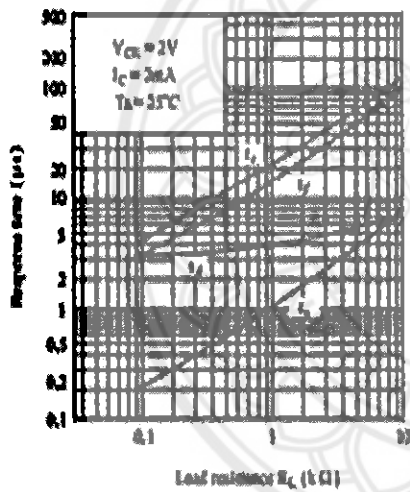
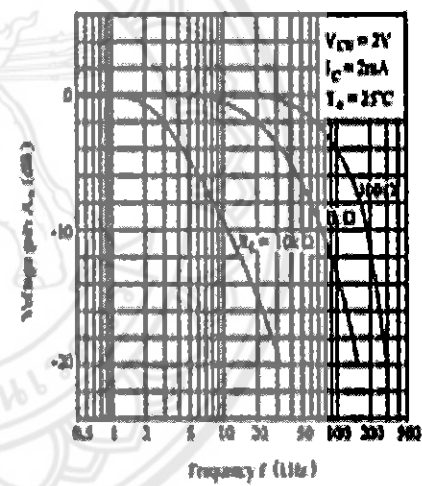
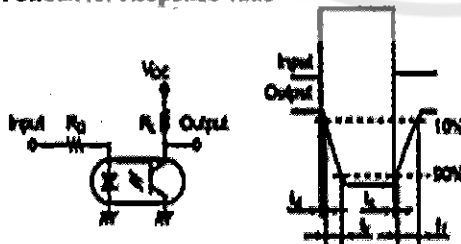


Fig.11 Frequency Response



Test Circuit for Response Time



Test Circuit for Frequency Response

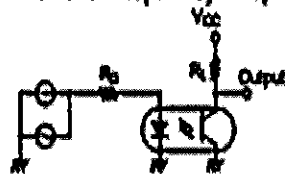
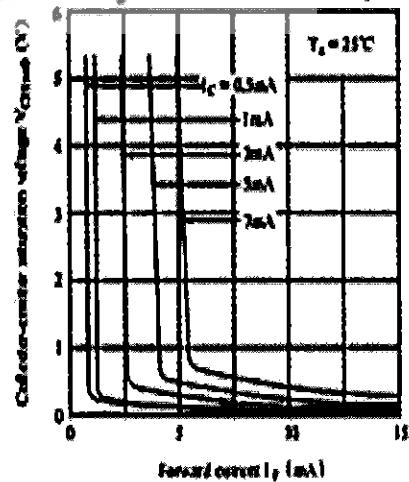


Fig.12 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Forward Current



● Please refer to the chapter "Precautions for Use"



1N4001 - 1N4007

1.8A RECTIFIER

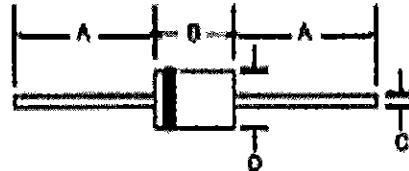
Please click here to visit our online spice models database.

Features

- Diffused Junction
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 30A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 3)

Mechanical Data

- Case: DO-41
- Case Material: Molding Plastic, UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Molding Sensitivity: Level 1 per J-STD-0100
- Yesterline Finish - Bright Tin, Plated Leads Soldersorbable per MIL-STD-203, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Mounting Position: Any
- Ordering Information: See Page 2
- Marking: Type Number
- Weight: 0.30 grams (approximate)



Dim	DO-41 Plastic	Min	Max
A	25.40	—	—
B	4.06	3.91	—
C	6.31	0.864	—
D	3.80	2.72	—

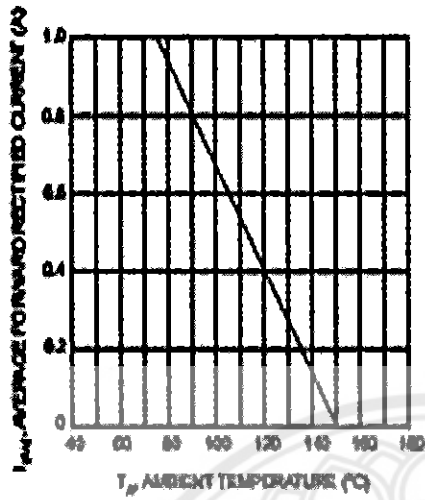
All Dimensions in mm

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

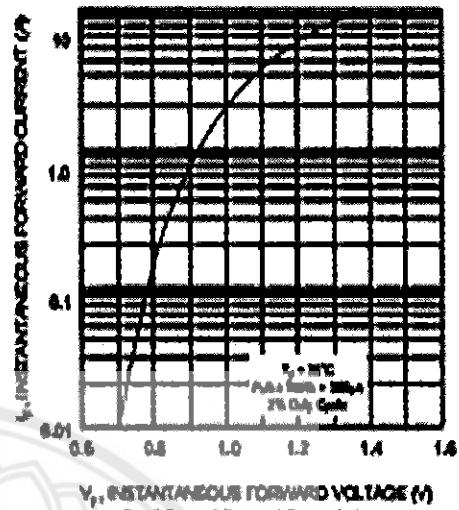
Single phase, half wave, SCR's, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Units
Peak Reverse Voltage	V _{RM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Working Peak Reverse Voltage	V _{WRM}	—	—	—	—	—	—	—	—
DC Blocking Voltage	V _{RM}	25	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Current (Note 1) @ T _A = 25°C	I _A	—	—	—	1.8	—	—	—	A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current (Note 2) @ T _A = 25°C	I _{FSM}	—	—	—	30	—	—	—	A
Forward Voltage @ I _F = 1.0A	V _{FM}	—	—	—	1.8	—	—	—	V
Peak Reverse Current @ T _A = 25°C	I _{RM}	—	—	—	5.0	—	—	—	µA
of Rated DC Blocking Voltage @ T _A = 100°C	I _{RM}	—	—	—	50	—	—	—	µA
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C _J	—	18	—	—	—	8	—	pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	θ _{JM}	—	—	—	100	—	—	—	K/W
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	T _V	—	—	—	110	—	—	—	°C
Operating and Storage Temperature Range	T _A T _{SM}	—	—	—	-55 to +125	—	—	—	°C

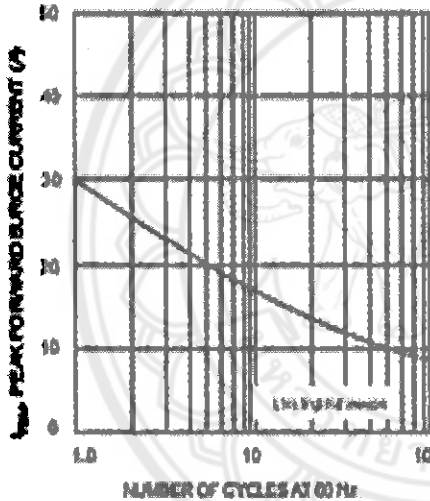
- Notes:
1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 6.35mm from the case.
 2. Measured at 1.0 kHz and applied reverse voltage of 1.0V DC.
 3. All Diodes Incorporated products. All applicable RoHS exemptions apply, see EU Direct 2002/95/EC Annex II, Part 2.



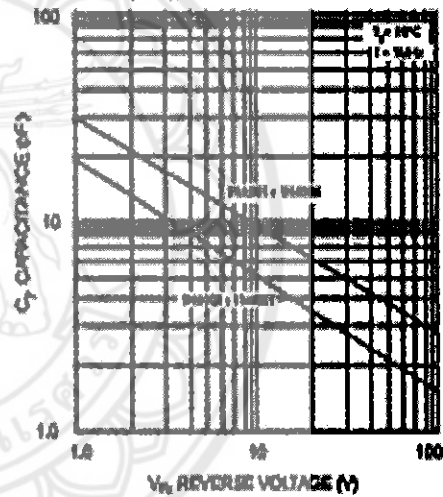
T_{amb} AMBIENT TEMPERATURE (°C)
Fig. 1 Forward Current-Carrying Curve



V_f INSTANTANEOUS FORWARD VOLTAGE (V)
Fig. 2 Typical Forward Characteristics



NUMBER OF CYCLES AT 60 Hz
Fig. 3 Max Non-Repetitive Peak Fast Surge Current



V_r REVERSE VOLTAGE (V)
Fig. 4 Typical Junction Capacitance

Ordering information (note 4)

Device	Packaging	Shipping
1N4001-B	DO-41 Plastic	1770/dk
1N4001-T	DO-41 Plastic	100/Tape & Reel, 13-inch
1N4002-B	DO-41 Plastic	1770/dk
1N4002-T	DO-41 Plastic	100/Tape & Reel, 13-inch
1N4003-B	DO-41 Plastic	1770/dk
1N4003-T	DO-41 Plastic	100/Tape & Reel, 13-inch
1N4004-B	DO-41 Plastic	1770/dk
1N4004-T	DO-41 Plastic	100/Tape & Reel, 13-inch
1N4005-B	DO-41 Plastic	1770/dk
1N4005-T	DO-41 Plastic	100/Tape & Reel, 13-inch
1N4006-B	DO-41 Plastic	1770/dk
1N4006-T	DO-41 Plastic	100/Tape & Reel, 13-inch
1N4007-B	DO-41 Plastic	1770/dk
1N4007-T	DO-41 Plastic	100/Tape & Reel, 13-inch

Notes: 4. For packaging details, visit our website at <http://www.diodes.com/resources/html/62661.pdf>.



IMPORTANT NOTICE

Diodes Incorporated and its subsidiaries reserve the right to make modifications, enhancements, improvements, corrections or other changes without further notice to any product herein. Diodes Incorporated does not assume any liability arising out of the application or use of any product described herein; neither does it convey any license under its patent rights, nor the rights of others. The user of products in such applications shall assume all risks of such use and will agree to hold Diodes Incorporated and all the companies whose products are represented on our website, harmless against all damages.

LIFE SUPPORT

Diodes Incorporated products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without the expressed written approval of the President of Diodes Incorporated.



DISCRETE SEMICONDUCTORS

DATA SHEET



1N5817; 1N5818; 1N5819
Schottky barrier diodes

Product specification
Supersedes data of April 1992

1996 May 03

Philips
Semiconductors



PHILIPS

Schottky barrier diodes**1N5817; 1N5818; 1N5819****FEATURES**

- Low switching losses
- Fast recovery time
- Guard ring protected
- Hermetically sealed leaded glass package.

APPLICATIONS

- Low power, switched-mode power supplies
- Rectifying
- Polarity protection.

DESCRIPTION

The 1N5817 to 1N5819 types are Schottky barrier diodes fabricated in planar technology, and encapsulated in SOD81 hermetically sealed glass packages incorporating InplexacTM technology.

(1) Inplexac is a trademark of Philips.

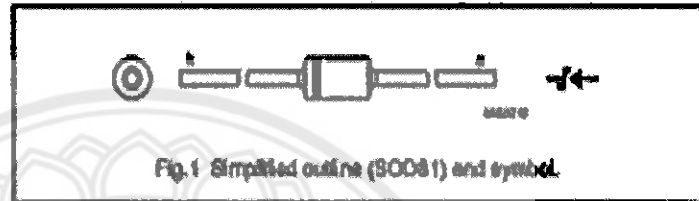


Fig. 1 Simplified outline (SOD81) and symbol.

Schottky barrier diodes

1N5817; 1N5818; 1N5819

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_R	continuous reverse voltage				
	1N5817		—	20	V
	1N5818		—	30	V
	1N5819		—	40	V
V_{RRM}	non-repetitive peak reverse voltage				
	1N5817		—	24	V
	1N5818		—	36	V
	1N5819		—	48	V
V_{PRM}	repetitive peak reverse voltage				
	1N5817		—	20	V
	1N5818		—	30	V
	1N5819		—	40	V
V_{RSM}	crest working reverse voltage				
	1N5817		—	20	V
	1N5818		—	30	V
	1N5819		—	40	V
$I_{(AV)}$	average forward current	$T_{amb} = 65\text{ }^\circ\text{C}$; $R_{\theta(j-c)} = 100\text{ K/W}$; note 1; $V_{app,dq} = 0.2\text{ V}$; note 2	—	1	A
$I_{(RM)}$	non-repetitive peak forward current	$I = 8.3\text{ mA}$ half sine wave; JEDEC method; $T_j = T_{jmax}$ prior to surge; $V_R = 0$	—	25	A
T_{stg}	storage temperature		-65	+175	$^\circ\text{C}$
T_j	junction temperature		—	125	$^\circ\text{C}$

Notes

1. Refer to SOD81 standard mounting conditions.
2. For Schottky barrier diodes thermal run-away has to be considered, as in some applications, the reverse power losses P_R are a significant part of the total power losses. Nomograms for determination of the reverse power losses P_R and $I_{(AV)}$ rating will be available on request.

Schottky barrier diodes

1N5817; 1N5818; 1N5819

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
V_f	forward voltage 1N5817	see Fig.2 $I_f = 0.1\text{ A}$	-	-	320	mV
		$I_f = 1\text{ A}$	-	-	450	mV
		$I_f = 3\text{ A}$	-	-	750	mV
V_f	forward voltage 1N5818	see Fig.2 $I_f = 0.1\text{ A}$	-	-	330	mV
		$I_f = 1\text{ A}$	-	-	550	mV
		$I_f = 3\text{ A}$	-	-	875	mV
V_f	forward voltage 1N5819	see Fig.2 $I_f = 0.1\text{ A}$	-	-	340	mV
		$I_f = 1\text{ A}$	-	-	600	mV
		$I_f = 3\text{ A}$	-	-	900	mV
I_R	reverse current	$V_R = V_{RRM}; \text{note 1}$	-	-	1	mA
		$V_R = V_{RRM}; T_j = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	-	10	mA
C_d	diode capacitance	$V_R = 4\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	-	40	-	pF
			-	50	-	pF
			-	50	-	pF

Note

1. Pulsed test; $t_f = 300\text{ }\mu\text{s}$; $\delta = 0.00$.

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th(j-c)}$	thermal resistance from junction to ambient	note 1	100	K/W

Note

1. Refer to SOD81 standard mounting conditions.

Schottky barrier diodes

1N5817; 1N5818; 1N5819

GRAPHICAL DATA

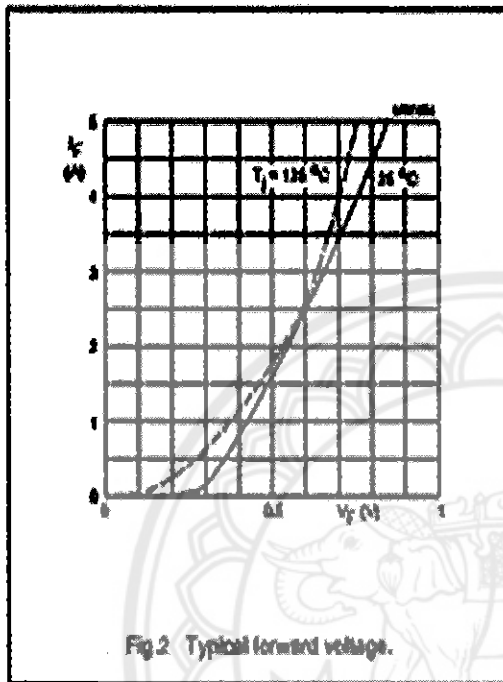


Fig.2 Typical forward voltage.

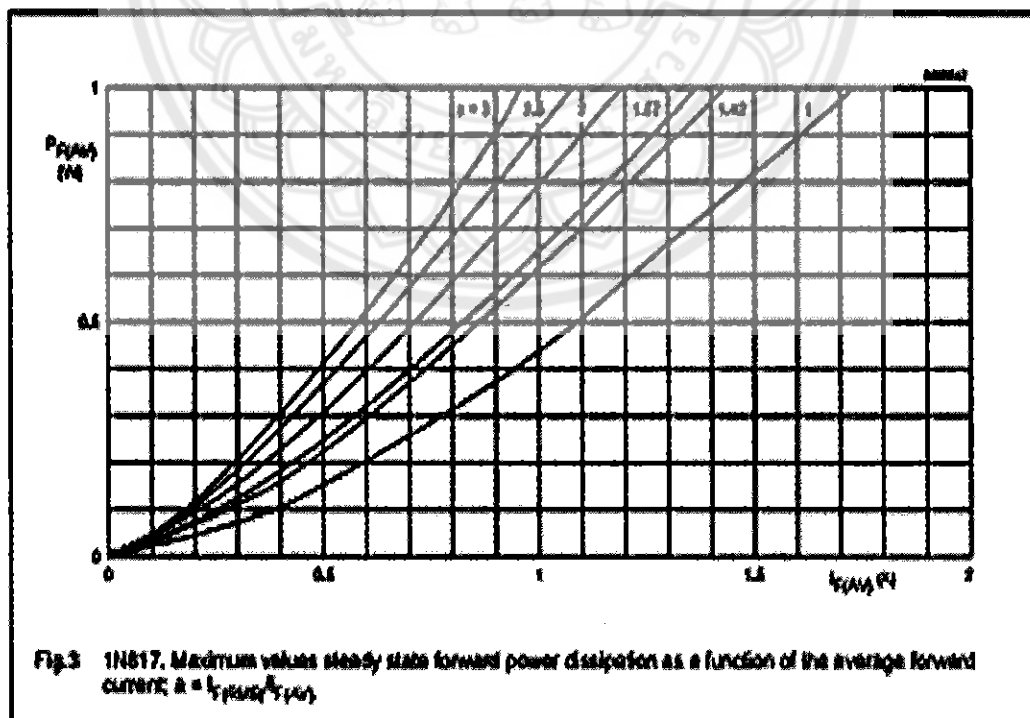


Fig.3 1N5817. Maximum values steady state forward power dissipation as a function of the average forward current $R = I_{F(AV)}^2 R_{j-c}$

Schottky barrier diodes

1N5817; 1N5818; 1N5819

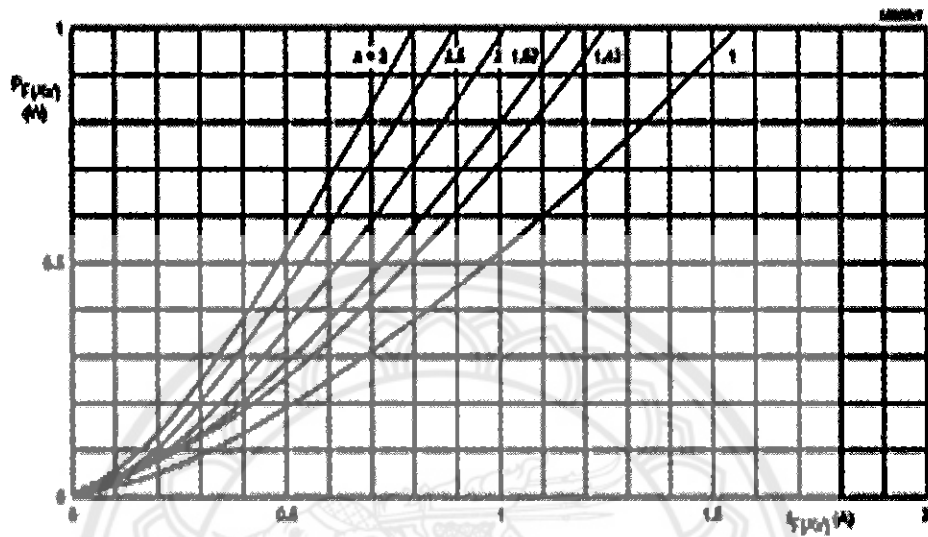


Fig.4 1N5818. Maximum values steady state forward power dissipation as a function of the average forward current; $a = I_{F(peak)} / I_{F(av)}$

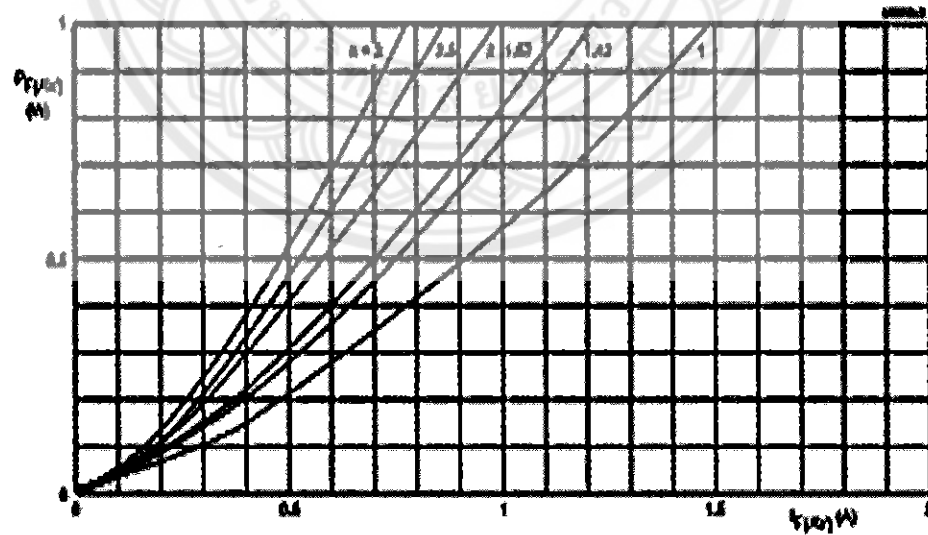


Fig.5 1N5819. Maximum values steady state forward power dissipation as a function of the average forward current; $a = I_{F(peak)} / I_{F(av)}$

Schottky barrier diodes

1N5817; 1N5818; 1N5819

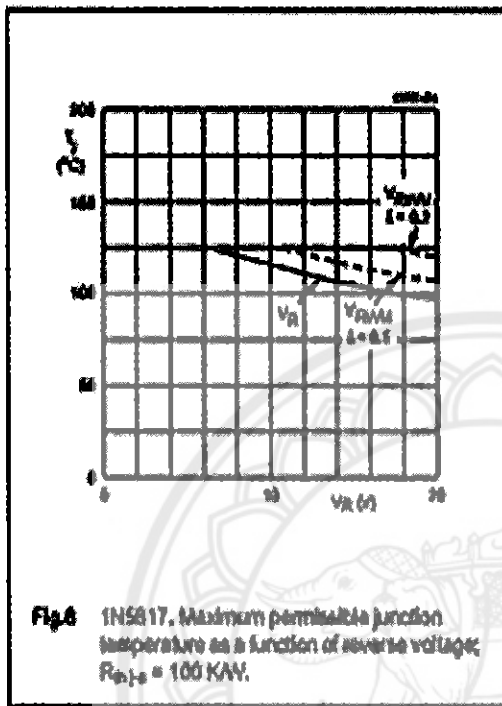


Fig.6 1N5817. Maximum permissible junction temperature as a function of reverse voltage; $R_{\theta j-a} = 100 \text{ K/W}$.

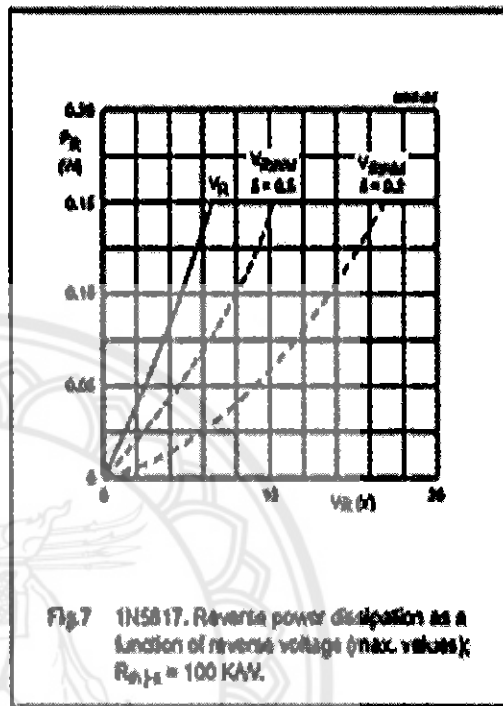


Fig.7 1N5817. Reverse power dissipation as a function of reverse voltage (max. values); $R_{\theta j-a} = 100 \text{ K/W}$.

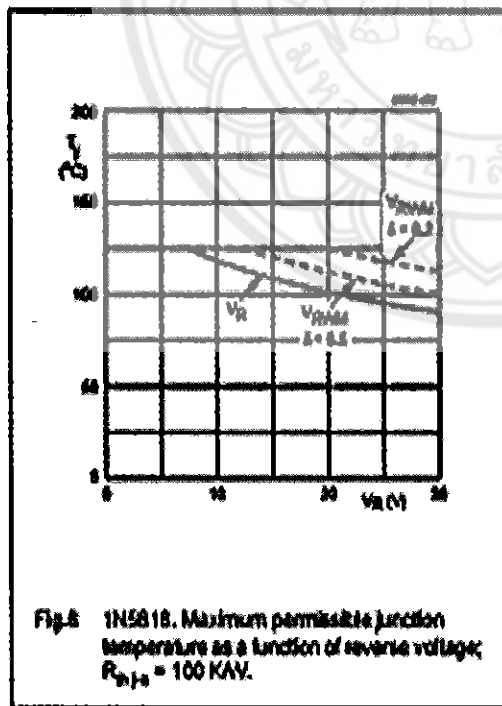


Fig.8 1N5818. Maximum permissible junction temperature as a function of reverse voltage; $R_{\theta j-a} = 100 \text{ K/W}$.

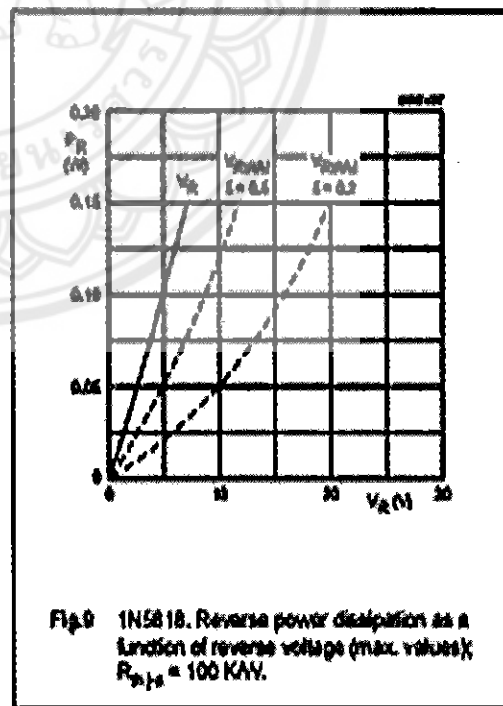
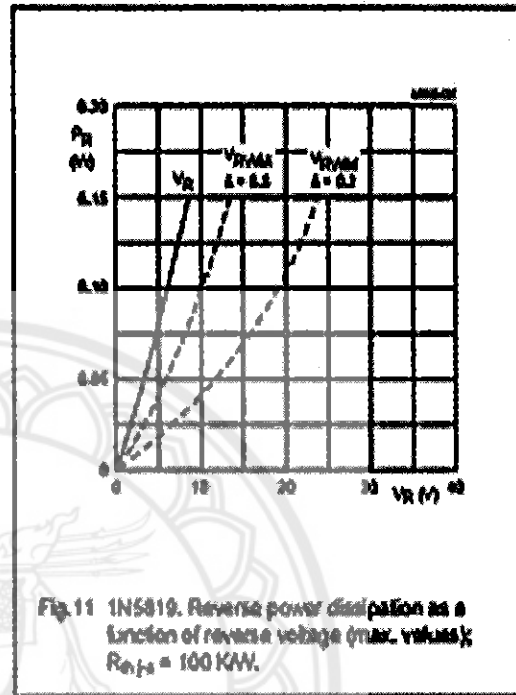
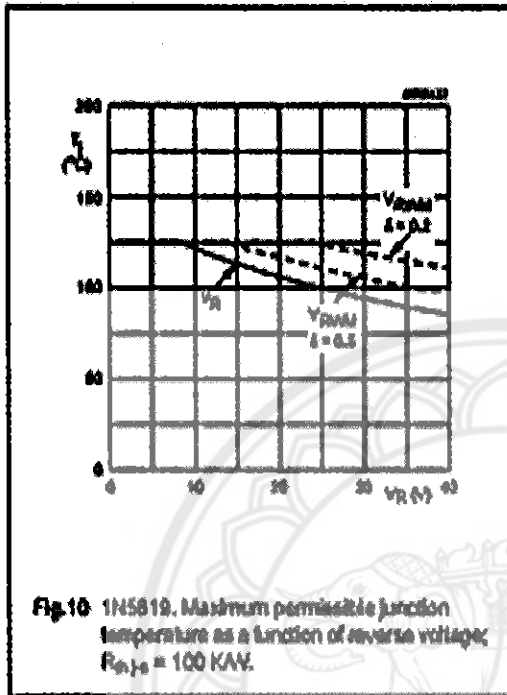


Fig.9 1N5818. Reverse power dissipation as a function of reverse voltage (max. values); $R_{\theta j-a} = 100 \text{ K/W}$.

Schottky barrier diodes

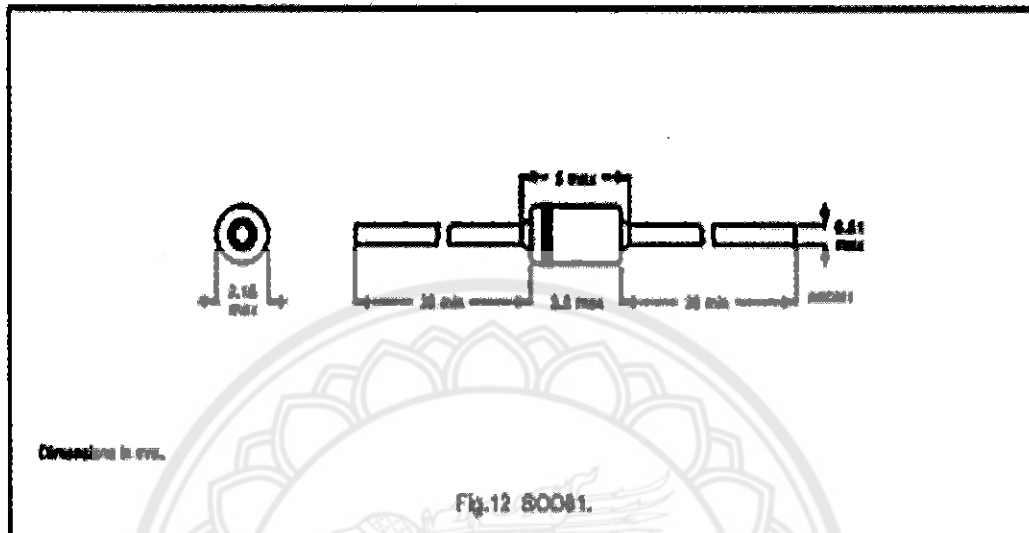
1N5817; 1N5818; 1N5819



Schottky barrier diodes

1N5817; 1N5818; 1N5819

PACKAGE OUTLINE



DEFINITIONS

Data sheet status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

This datasheet has been download from:

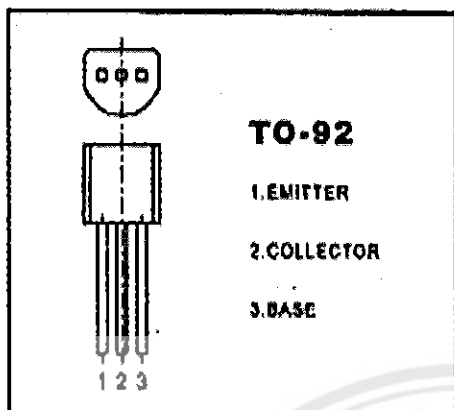
www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



TO-92 Plastic-Encapsulate Transistors

C945 TRANSISTOR(NPN)



FEATURES

- Power dissipation: $P_{cu} = 0.4W$ ($T_{amb}=25^{\circ}C$)
- Collector current: $I_{cm} = 0.15A$
- Collector-emitter voltage: $V_{ce(sat)} = 60V$
- Operating and storage junction temperature range: $T_j, T_{stg} = -55^{\circ}C$ to $+160^{\circ}C$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($T_{amb}=25^{\circ}C$ unless otherwise specified)

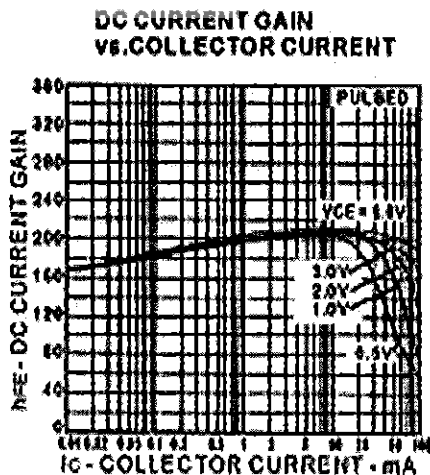
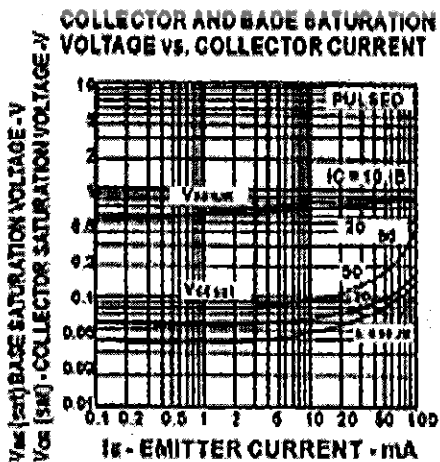
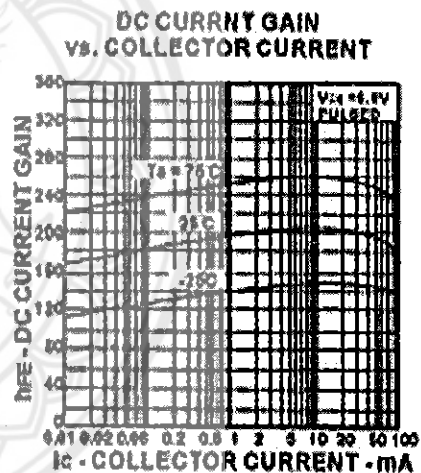
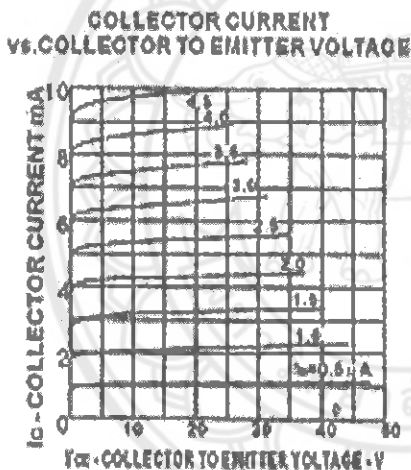
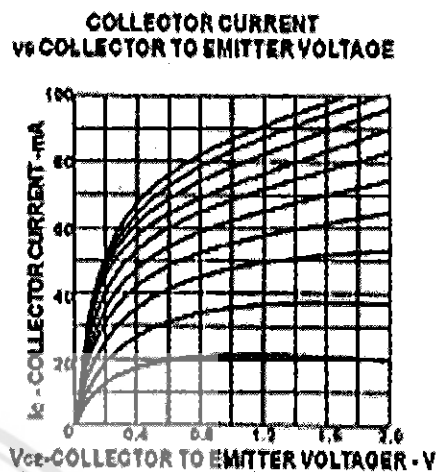
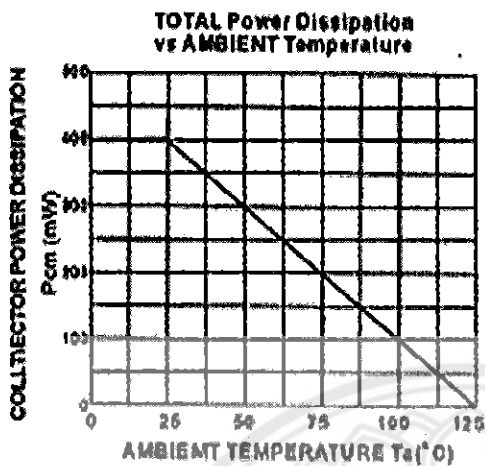
Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max
Collector-base breakdown voltage	$V_{(BR)CBO}$	$I_C = 1000 \mu A, I_E = 0$	60		V
Collector-emitter breakdown voltage	$V_{(BR)CEO}$	$I_C = 0.1 mA, I_E = 0$	60		V
Emitter-base breakdown voltage	$V_{(BR)EB0}$	$I_E = 100 \mu A, I_C = 0$	5		V
Collector cut-off current	I_{CBO}	$V_{CE} = 60V, I_E = 0$		0.1	μA
Collector cut-off current	I_{CES}	$V_{CE} = 65V, R_e = 10 M\Omega$		0.1	μA
Emitter cut-off current	I_{EBO}	$V_{EB} = 5V, I_C = 0$		0.1	μA
DC current gain	$h_{FE(1)}$	$V_{CE} = 8V, I_C = 1 mA$	70	700	
	$h_{FE(2)}$	$V_{CE} = 8V, I_C = 0.1 mA$	40		
Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 100 mA, I_E = 10 mA$		0.3	V
Base-emitter saturation voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C = 100 mA, I_E = 10 mA$		1	V
Base-emitter voltage	V_{BE}	$I_E = 310 mA$		1.4	V
Transition frequency	f_T	$V_{CE} = 8V, I_C = 10 mA$ $f = 30 MHz$	150		MHz

CLASSIFICATION OF $h_{FE(1)}$

Rank	O	Y	GR	BL
Range	70-140	120-240	200-400	350-700

Typical Characteristics

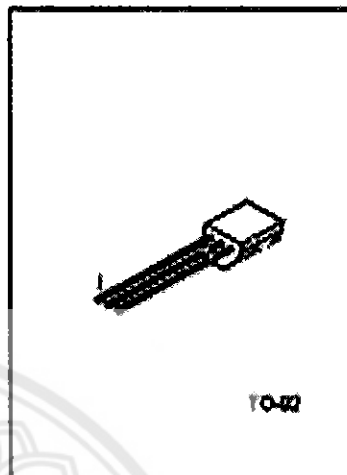
C945



UTC MJE13001 NPN EPITAXIAL SILICON TRANSISTOR

FEATURES

- * Collector-Base Voltage: $V_{(BR)CBO}=600V$
- * Collector Current: $I_C=0.2A$



1: BASE 2: COLLECTOR 3: EMITTER

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

PARAMETER	SYMBOL	RATING	UNIT
Collector-base voltage	V_{CBO}	600	V
Collector-emitter voltage	V_{CEO}	400	V
Emitter-base voltage	V_{EBO}	7	V
Collector current	I_C	200	mA
Collector power dissipation	P_C	750	mW
Junction Temperature	T_j	150	$^{\circ}C$
Storage Temperature	T_{STG}	-55 ~ +150	$^{\circ}C$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_j=25^{\circ}C$)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Collector-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)CBO}$	$I_C=100\mu A, I_E=0$	600			V
Collector-Emitter Breakdown Voltage	$V_{(BR)CEO}$	$I_C=1mA, I_E=0$	400			V
Emitter-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)EBO}$	$I_E=100\mu A, I_C=0$	7			V
Collector Cut-off Current	I_{CBO}	$V_{CE}=600V, I_E=0$			100	μA
Collector Cut-off Current	I_{CEO}	$V_{CE}=400V, I_E=0$			200	μA
Emitter Cut-off Current	I_{EBO}	$V_{EB}=7V, I_C=0$			100	μA
DC current gain	$h_{FE(1)}$	$V_{CE}=20V, I_C=20mA$	10		70	
	$h_{FE(2)}$	$V_{CE}=10V, I_C=0.25mA$	5			
Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C=20mA, I_E=10mA$			0.5	V
Base-emitter saturation voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C=20mA, I_E=10mA$			1.2	V
Base-emitter Voltage	V_{BE}	$I_E=100\mu A$			1.1	V
Transition Frequency	f_T	$V_{CE}=20V, I_C=20mA, f=1MHz$	5			MHz
Fall Time	t_f	$I_C=50mA, I_B=I_C/5mA$			0.3	μs
Storage Time	t_s	$V_{CE}=6V$			1.5	μs

UTC UNISONIC TECHNOLOGIES CO. LTD

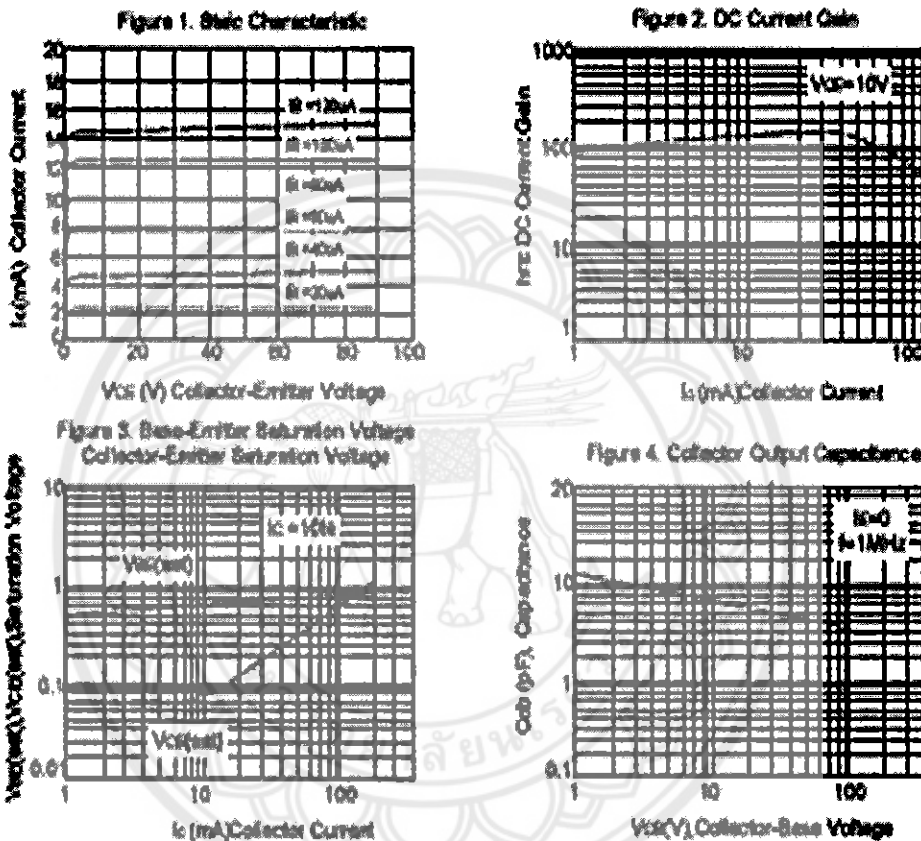
1
GM4001-02&A

UTC MJE13001 NPN EPITAXIAL SILICON TRANSISTOR

CLASSIFICATION OF hFE

RANK	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
RANGE	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70

TYPICAL CHARACTERISTICS



UTC assumes no responsibility for equipment failures that result from using products at values that exceed, even momentarily, rated values (such as maximum ratings, operating condition ranges, or other parameters) listed in products specifications of any and all UTC products described or contained herein. UTC products are not designed for use in life support appliances, devices or systems where malfunction of these products can be reasonably expected to result in personal injury. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner. The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice.



Zener Diodes

0.5W Zener Diodes/DO-35 Package

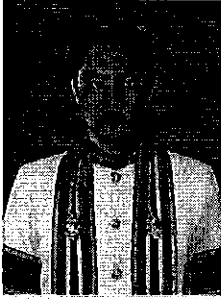
Type	Grade	Zener Voltage		Test Condition	Dynamic Resistance		Reverse Current	
		V _Z (V)			r _d (Ω)		I _R (μ A)	
		Min	Max		Max	Test Condition	Max	Test Condition
2	A1	1.6	1.8	S	100	S	25	0.5
	A2	1.7	1.9					
	A3	1.8	2.0					
	B1	1.9	2.1					
	B2	2.0	2.2					
	B3	2.1	2.3					
	O1	2.2	2.4					
	O2	2.3	2.5					
	O3	2.4	2.6					
3	A1	2.5	2.7	S	100	S	5	0.5
	A2	2.6	2.8					
	A3	2.7	2.9					
	B1	2.8	3.0					
	B2	2.9	3.1					
	B3	3.0	3.2					
	O1	3.1	3.3					
	O2	3.2	3.4					
	O3	3.3	3.5					
4	A1	3.4	3.6	S	100	S	5	1.0
	A2	3.5	3.7					
	A3	3.6	3.8					
	B1	3.7	3.9					
	B2	3.8	4.0					
	B3	3.9	4.1					
	O1	4.0	4.2					
	O2	4.1	4.3					
	O3	4.2	4.4					
5	A1	4.3	4.5	S	100	S	5	1.5
	A2	4.4	4.6					
	A3	4.5	4.7					
	B1	4.6	4.8					
	B2	4.7	4.9					
	B3	4.8	5.0					
	O1	4.9	5.1					
	O2	5.0	5.2					
	O3	5.1	5.3					
6	A1	5.2	5.5	S	40	S	5	2.0
	A2	5.3	5.6					
	A3	5.4	5.7					
	B1	5.5	5.8					
	B2	5.6	5.9					
	B3	5.7	6.0					
	O1	5.8	6.1					
	O2	6.0	6.3					
	O3	6.1	6.4					

Excel Semiconductor

www.excel-semi.com
FaxBckt +86-512-6760917

Rev. 3a, 1-Jun-2004

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายนันทพันธุ์ จันทรวิฑูร
ภูมิลำเนา 192/348 ม.4 ต.แม่เหี้ยะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนันทบุรีวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 8
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: dark_mint@hotmail.com



ชื่อ นายภูมิน พงษากุล
ภูมิลำเนา 28/1 ม.3 ต.ถ้ำลอด อ.ป่าเมฆ จ.แม่ฮ่องสอน
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเมธีวุฒิชัย
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 8
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: mint_3525@hotmail.com