

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่

BATTERY CHARGER



ปฏิญานี้ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

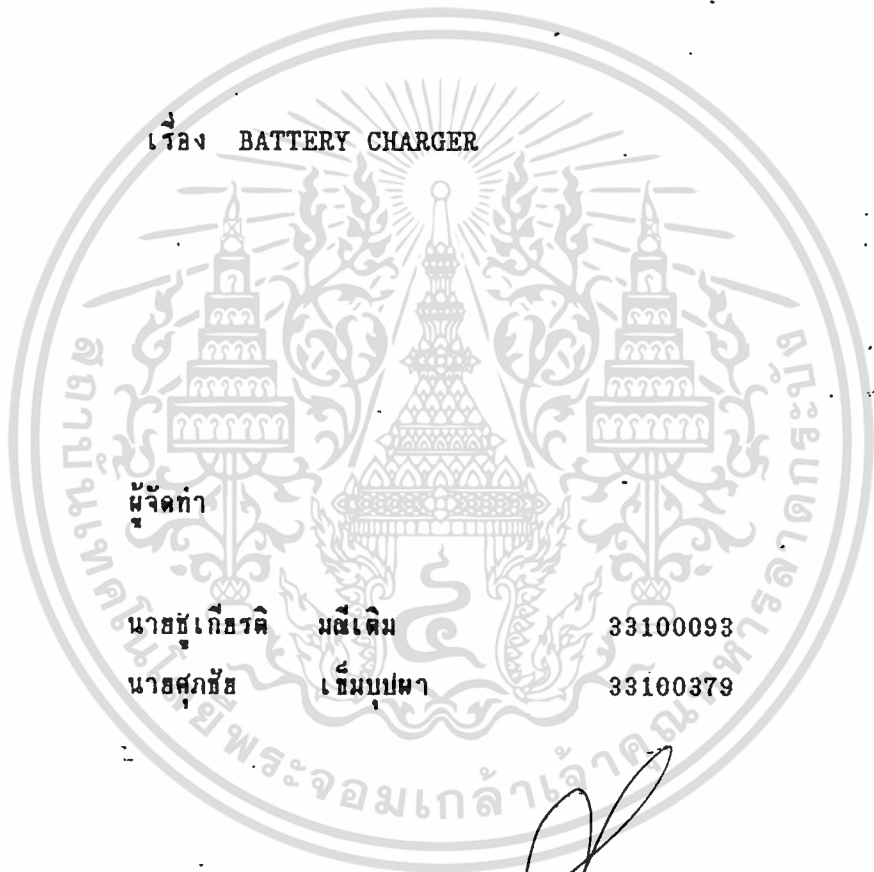
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033163

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เรื่อง BATTERY CHARGER

ผู้จัดทำ

นายชุกเกียรติ

มณีเต็ม

33100093

นายศุภชัย

เข็มบุปผา

33100379

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องชาร์จแบตเตอรี่

Battery Charger

โดย นายชฎเกียรติ มณีเต็ม 33100093

นายศุภชัย ธีรมบุปผา 33100379

นักศึกษาภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์

บทคัดย่อ

การชาร์จแบตเตอรี่โดยวิธีควบคุมเฟส ทำโดยการควบคุมกระแสที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ ด้วยการควบคุมมมทริกของไทรสเตอร์ ซึ่งในวงจรควบคุมจะใช้ Current Transformer เป็นตัวตรวจจับกระแส และทำการแปลงเป็นแรงดัน ซึ่งกระแสที่ใช้ชาร์จจะมีลักษณะเป็นพัลส์ ซึ่งเรานำเอาสัญญาณที่ได้นี้มาหาค่าเฉลี่ย DC และนำไปเทียบกับค่ากระแสที่ตั้งไว้ แล้วนำไปควบคุมมมทริกของไทรสเตอร์ ซึ่งจะเน้นทางด้านการสูญเสียพลังงานน้อย เพราะในวงจรจะมีเพียงการสูญเสียจากไทรสเตอร์เท่านั้น

ABSTRACT

This project is battery charger that use phase control to concept. In phase control circuit use to current transformer to detect current and converse voltage. The charging current is similar pulse that receive signal DC RMS to compare with setting current then to trig SCR. The main concept battery charging is to reduce power loss because this system loss almost loss in SCR.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนำ

ในปัจจุบันแบตเตอรี่ได้ถูกใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยานยนต์มีการใช้งานมากที่สุด แบตเตอรี่ที่ใช้มีหลายชนิดด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จไฟใหม่ได้ ทั้งนี้เพราะประหยัดและสามารถใช้งานได้นานเนื่องจากสามารถชาร์จไฟใหม่ได้เมื่อไฟหมด ดังนั้นเครื่องชาร์จแบตเตอรี่จึงมีความจำเป็นในการใช้งานแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ในปัจจุบันมีข้อเสียสำคัญอยู่ประการหนึ่งคือ มีการสูญเสียพลังงานในเครื่องชาร์จสูง ดังนั้นกลุ่มผู้จัดทำจึงได้ออกแบบเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ขึ้นมา โดยมีจุดประสงค์สำคัญคือเพื่อลดการสูญเสียพลังงานในตัวเครื่องชาร์จ วิทยานิพนธ์นี้จะสำเร็จลงไม่ได้ ถ้าไม่ได้รับความอนุเคราะห์จาก อาจารย์สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ ดังนั้นกลุ่มผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การทำงานของอุปกรณ์ในเครื่องชาร์จแบตเตอรี่	5
2.1 แบตเตอรี่ Lead acid	5
2.1.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่ Lead acid	5
2.1.2 ประเภทของแบตเตอรี่	5
2.1.3 ปฏิกริยาเคมี	6
2.1.4 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่	6
2.1.5 Rating Voltage	7
2.1.6 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่	8
2.2 SCR และ ไดโอด	8
2.2.1 รูปคลื่นกำลังของไดโอดที่เกิดขึ้นจริง	10
2.2.2 กราฟเขียนต์	10
2.2.3 วงจรสมมูลการถ่ายโอนความร้อน	11
2.2.4 กราฟสำหรับการออกแบบ	13
2.2.5 โครงสร้างและการทำงานขั้นต้นของไทรสเตอร์	16
2.2.6 คุณสมบัติในการ turn on ของไทรสเตอร์	20
2.2.7 คุณสมบัติการ turn off ของไทรสเตอร์	23
2.3 Op Amp	20
2.3.1 instrument amp	29
2.3.2 วงจรขยายกลับเฟส	31
2.3.3 วงจร SUMMING	32
2.3.4 วงจร Comparater	33
2.3.5 คุณสมบัติของออปแอมป์	34
บทที่ 3 ผลการทดลอง	35
3.1 วงจร power supply	37
3.2 วงจรสร้างสัญญาณ ramp	38
3.3 วงจรสร้าง pulse ความถี่สูง	41

เรื่อง	หน้า
3.4 Pulse transformer and trigger	42
3.5 Current transformer and Voltage adjustment	44
3.6 unidirectional dipole	46
3.7 การทำงานของดีจิตอลโวลต์มิเตอร์	47
บทที่ 4 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์	50
ภาคผนวก	53
กิตติกรรมประกาศ	56
หนังสืออ้างอิง	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 วงจรแสดง limit กระแสของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่	1
1.2 แสดงรูปพื้นฐานของการชาร์จแบตเตอรี่	2
1.3 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบใช้ R ปรับแรงดันในการชาร์จ	3
1.4 วงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่ใช้ SCR ความคุมการชาร์จ	4
2.1 แสดงความต้านทานของแบตเตอรี่ในขณะชาร์จ	8
2.2 โครงสร้างของไดโอดกำลัง	9
2.3 สัญลักษณ์และกราฟ V-I ของไดโอดกำลัง	9
2.4 รูปแสดงคลื่นแรงดันและกระแสของไดโอดกำลังในขณะเริ่มและหยุดนำกระแส	10
2.5 วงจรสมมูลการถ่ายเทความร้อน	12
2.6 ลักษณะรูปร่างของอุณหภูมิรอยต่อที่เป็นคาบตามกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้น	13
2.7 ก กราฟแสดงกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ duty cycle และกระแสเฉลี่ยแตกต่างกัน	14
ข กราฟแสดงค่าสูงสุดของอุณหภูมิของตัวถังที่สามารถเกิดขึ้นได้ที่ duty cycle และกระแสเฉลี่ยแตกต่างกัน	14
2.8 รูปขยายหน้าผิวสัมผัสของตัวถังและแผ่นระบายความร้อน	16
2.9 ลักษณะภายนอกและสัญลักษณ์ของไทรสเตอร์	17
2.10 วงจรไทรสเตอร์	17
2.11 ลักษณะของคลื่น $E_u$	18
2.12 วงจรฟิลิฟลอปสวิตช์	19
2.13 เบรคโอเวอร์โวลต์เตจ	21
2.14 กราฟโวลต์เตจและกระแสที่ขาอาโนด	21
2.15 พื้นที่ปลอดภัยของขาเกต	24
2.16 มุมทริกของเกตพัลส์	25
2.17 วงจร half wave rectifier	26
2.18 ลักษณะของกระแส $i_u$ กรณี $\alpha > 0$	27
2.19 ลักษณะของกระแส $i_u$ กรณี $\alpha = 0$	28

รูปที่	หน้า
2.20 ลักษณะของกระแส $i_u$ กรณี $\alpha = \pi$	28
2.21 วงจร instrument amp	29
2.22 วงจร instrument amp ที่สามารถใช้งานได้จริง	30
2.23 วงจรขยายกลับเฟส	31
2.24 วงจรผลบวกแรงดัน	32
2.25 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	33
3.1 วงจรหลักของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่	35
3.2 ก block diagram ของวงจร control	35
3.2 ข วงจร charge battery	36
3.3 วงจร power supply	37
3.4 บล็อกการทำงานของวงจรสร้าง ramp	38
3.5 วงจรสร้างสัญญาณ ramp	39
3.5 ก อินพุตเข้า LM 311 เพื่อสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม	40
3.5 ข สัญญาณ ramp	40
3.6 บล็อกการทำงานของวงจรสร้าง pulse ความถี่สูง	41
3.7 รูปแสดงวงจรสร้าง pulse ความถี่สูง	42
3.8 block การทำงานของ pulse transformer and trigger	42
3.9 รูปแสดงวงจรของ pulse transformer and trigger	43
3.10 บล็อกแสดงการทำงานของ Current transformer and adjustment	44
3.11 รูปแสดงวงจรการทำงานของ Current transformer and coltage adjustment	44
3.11 ก สัญญาณที่ออกจาก Current transformer	45
3.11 ข สัญญาณที่ออกจาก Halfwave rectifier	45
3.12 แสดงวงจร Unidirectional dipole	47
3.13 แสดงวงจร digital volt meter	49
4.1 วงจรหลักของโปรแกรม	50
4.1 ก แสดงมุมทริก เมื่อโหลดเป็นความต้านทาน	51
ภาคผนวก 1 วงจร instrument amp	53
ภาคผนวก 2 วงจร instrument amp ที่ใช้งานได้จริง	54

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของ SCR ทัวไปกับ SCR ความถี่สูง	22



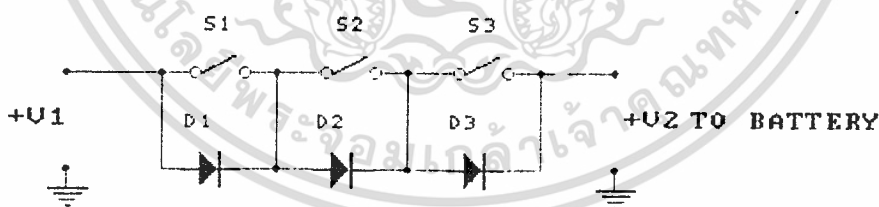
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสำคัญมากชิ้นหนึ่ง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แบตเตอรี่ทุติยภูมิ และแบตเตอรี่ปฐมภูมิ แบตเตอรี่ปฐมภูมิเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วทิ้งได้เลย ไม่สามารถนำกลับมา charge ใหม่ได้อีก ซึ่งตัวอย่างของแบตเตอรี่ประเภทนี้ได้แก่ ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ทุติยภูมิเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วสามารถนำไป PS charge เพื่อนำมาใช้ใหม่ได้เช่น แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบตเตอรี่นิแคด ซึ่งแบตเตอรี่ประเภทนี้เมื่อนำมาใช้เกือบหมดแล้ว จะสามารถนำมา charge ใหม่ได้ ดังนั้นเครื่อง charge battery จึงเป็นเครื่องมือที่ขาดไม่ได้ของแบตเตอรี่ประเภทนี้ โดยเครื่อง charge battery โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1 เครื่อง charge battery แบบ voltage คงที่ หลักการทำงานของเครื่องชาร์จแบบนี้คือ จะชาร์จแบตเตอรี่ด้วยค่าแรงดันที่คงที่ตลอดเวลา ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้งานร่วมกับ UPS จะชาร์จแบตเตอรี่จนโวลต์เตจขึ้นมาถึงระดับเดียวกับโวลต์เตจที่เข้าชาร์จ ซึ่งจะมีปัญหาในตอนแรกที่เข้าชาร์จใหม่ๆ คือ ถ้ากระแสที่เข้าชาร์จจะมีค่ามากอาจทำให้แผ่นขั้วธาตุของแบตเตอรี่ทะลุได้ซึ่งอาจใช้ไดโอดเป็นตัว dreg หรือให้โวลต์เตจที่เข้าชาร์จมีค่าน้อยๆ ในตอนแรกแล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังรูป



รูปที่ 1.1 วงจรแสดงการ limit กระแสของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่

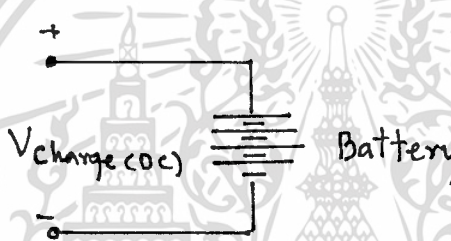
โดยอาจมีตัวเซ็นเซอร์คอยตรวจจับกระแสที่ใช้ชาร์จ แล้วส่งสัญญาณไปเปิด ปิดหน้า contact เพื่อควบคุมปริมาณกระแสที่ใช้ชาร์จจนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้จัดทำสงวนลิขสิทธิ์และขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลทั้งหมดแล้วแต่ผู้จัดทำ

2 เครื่อง charge battery แบบกระแสคงที่ที่ใช้ในแบตเตอรี่ที่จ่ายพลังงานหมดแล้ว แล้วนำมา

ชาร์จใหม่ หรือในแบตเตอรี่ที่อยู่ในโรงงานผลิตแบตเตอรี่เพื่อป้องกัน Over current ขณะชาร์จและรักษาสภาพของแบตเตอรี่ให้ยาวนานขึ้น ถ้ามองทางด้านไฟฟ้าคือ มองแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวหนึ่งในขณะเริ่มแรกของการชาร์จโวลต์เตจคร่อมแบตเตอรี่มีน้อยและค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ซึ่งจะแปรผันตรงกับขณะโวลต์เตจของแบตเตอรี่ ซึ่งถ้าเราป้อนไฟกระแสตรงเข้าไปโดยตรง โดยขณะเริ่มแรกโวลต์เตจของแบตเตอรี่มีค่าน้อยและค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะมีค่าน้อยด้วย ถ้าโวลต์เตจที่ใช้ชาร์จมีค่าคงที่จะทำให้กระแสที่ไหลเข้าชาร์จแบตเตอรี่มีค่ามาก ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่มีค่าน้อยลงหรือไม่ก็อาจทำให้ขั้วของแบตเตอรี่ทะเล ทำให้แบตเตอรี่ใช้งานไม่ได้ ดังนั้นในการชาร์จแบตเตอรี่พวกนี้จำเป็นต้องใช้เครื่องชาร์จกระแสคงที่

สำหรับในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการชาร์จแบตเตอรี่โดยทั่วไป ในการชาร์จแบตเตอรี่ส่วนใหญ่แล้วจะมีหลักการที่เหมือนกันคือ ป้อนกระแสหรือโวลต์เตจเข้าไปชาร์จแบตเตอรี่ดังรูป



รูปที่ 1.2 แสดงรูปพื้นฐานของการชาร์จ

ซึ่งจากวงจรนี้จะเห็นว่าสามารถจ่ายพลังงานให้แบตเตอรี่ได้จริง ถ้า  $V_{charge}$  มากกว่า  $V_{battery}$  แต่ไม่สามารถควบคุมกระแสชาร์จได้ ถ้า  $V_{charge}$  มีค่ามากกว่า  $V_{battery}$  มากซึ่งอาจทำให้กระแสที่เข้าชาร์จมีค่ามากเกินไป ทำให้แบตเตอรี่เสียหายดังที่กล่าวข้างต้น ซึ่งวิธีการต่อมาคือ

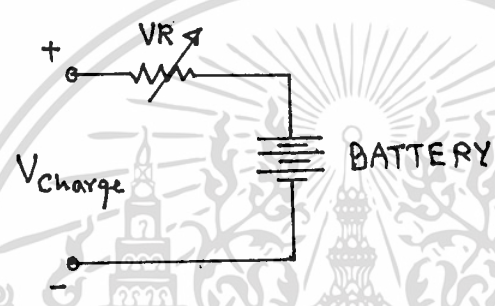
การนำ  $R$  มา Series กับแบตเตอรี่ที่ชาร์จ เพื่อช่วยลดกระแสที่ชาร์จแบตเตอรี่และสามารถปรับกระแสที่เข้าชาร์จแบตเตอรี่ได้ด้วย ซึ่งจะเห็นว่าการสูญเสียพลังงานในการชาร์จแบตเตอรี่เป็นจำนวนมากมากกว่าพลังงานที่เข้าชาร์จแบตเตอรี่มาก เพราะค่า  $R$  ที่นำมา Series กับแบตเตอรี่นี้มีค่าความต้านทานมากกว่าค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มาก จากค่าพลังงานสูญเสียโดยกระแสที่ไหลเข้าชาร์จแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับกระแสที่ไหลเข้าสู่  $R$  ซึ่งใน Battery Lead Acid ขนาด 50 Ah (battery ขนาด 50 Ah หมายความว่า แบตเตอรี่มีค่าจแอมแปร์-ชั่วโมง = 50 มีรายละเอียดดังภาคผนวก) จะใช้เวลาชาร์จประมาณ 8 ชั่วโมงด้วยค่ากระแสชาร์จประมาณ 6 A จากนั้นเรามาคำนวณพลังงานสูญเสียซึ่งในที่นี้จะคิดพลังงานสูญเสียจาก  $R$  ที่เข้าต่อ Series กับแบตเตอรี่อย่างเดียวกันนี้ออกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เพราะ  $R$  ที่เป็นความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มีค่าน้อยมาก ซึ่งถ้า  $R$  ที่นำมาต่อเข้ากับ Series กับไม่ว่าการสูญเสียทุกสิ่ง อีกหนึ่งข้อที่มีให้ดูแปลเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ แบตเตอรี่มีค่า 0.1 โอห์ม จะสูญเสียกำลังงาน  $I^2 R$

พลังงานที่สูญเสียจาก R ที่นำไปต่อ Series กับแบตเตอรี่จะเท่ากับ

$$= 6 \times 6 \times 0.1 \times 8 \quad \text{Unit}$$

$$= 28.8 \quad \text{Unit}$$

ซึ่งในการชาร์จแบตเตอรี่ 1 ตัว จะต้องมีพลังงานสูญเสียประมาณ 28.8 Unit ในการชาร์จ แบตเตอรี่แบบนี้ในปัจจุบันก็ยังมีใช้อยู่ในวงจรต่างๆ ซึ่งพยายามลดขนาดของค่าความต้านทานของ R ที่เข้า ต่อ Series กับแบตเตอรี่ โดยการออกแบบให้มี โวลต์ชาร์จ ที่มากกว่าแบตเตอรี่เล็กน้อย ดังนั้นจะสามารถลดขนาดค่า R ลงมาได้มาก แต่ก็ยังมีการสูญเสียอยู่ โดยทั่วไปแล้วค่า R ที่ใช้จะต้องทน Watt ได้ สูงๆ มาก จากการคำนวณการทน Watt ของ R ที่ใช้ในวงจรนี้จะได้



รูปที่ 1.3 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบใช้ R ปรับแรงดันในการชาร์จ

$$P_{loss} = I^2 R$$

$$= 36 \times 0.1$$

$$= 3.6 \text{ W}$$

โดยทั่วไปแบตเตอรี่ชนิด Lead acid นี้ จะสามารถใช้ให้ชาร์จแบตเตอรี่ได้สูงคือ 20 A ดังนั้น การคำนวณค่า power loss จะเป็น

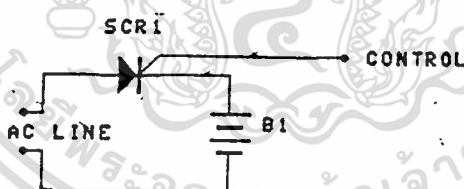
$$P_{loss} = 400 \times 0.1$$

$$= 40 \text{ W}$$

ค่า R ที่ใช้ต้องทน Watt ถึง 50 W ซึ่งต้องคิดแผ่นระบายความร้อน และถ้าเป็น R ที่ปรับค่าได้ Watt สูงก็ยังไม่ค่อยจะมีใช้และมีราคาแพง และหม้อแปลงที่จ่ายกระแสได้ถึง 20 แอมป์ นี้ ก็จะมีขนาดใหญ่มากทำให้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่มีขนาดใหญ่มาก ซึ่งอาจทำได้โดยใช้ Power transistor เป็นตัว ควบคุมกระแสเป็นอนุกรมที่ส่งผ่านไปสำหรับ การใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่ควรเอาไปใช้เพราะมีต้นทุนการ ค่า ตั้งสวิตซ์ความถี่สูง และนำไปเข้าหม้อแปลงแกนทอรอยด์ ซึ่งหม้อแปลงแกนทอรอยด์นี้ใช้งานใน ไม่ว่าการถี่ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแก๊งเนื้อหาหม้อแปลงถึงถึงน้ำของเอกสารทุกครั้งที่มีสารนำไปใช้ ยานความถี่สูง ซึ่งจะข่วยลดขนาดของหม้อแปลง ซึ่งถ้าเทียบกับหม้อแปลงธรรมดาในขนาดที่เท่ากับแล้ว

หม้อแปลงแกนทอรอยด์จะมีขนาดกระแสเยอะกว่ามาก ซึ่งขึ้นกับความถี่ที่ใช้งาน ถ้าใช้ความถี่สูงมาก แกนทอรอยด์อาจอึดตัวได้ ซึ่งในงานที่ทำนี้จะใช้ขาร์จกระแสมีขนาด  $0 - 8 \text{ A}$  ซึ่งในขนาดนี้จะสามารถให้หม้อแปลงธรรมดาที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก ซึ่งในวงจรที่จะกล่าวถึงนี้เป็นวงจรที่ได้ทำขึ้นเพื่อการประหยัดพลังงานของ power loss และควบคุมกระแสเข้าขาร์จแบตเตอรี่ให้อยู่ใน Range ที่เหมาะสม ซึ่งในตอนแรกจะทำการขาร์จแบตเตอรี่โดยไม่ต้องใช้หม้อแปลง แต่จะ Drop กระแสจาก  $220 \text{ V}_{\text{ac}}$  มาเป็นประมาณ  $20 \text{ V}_{\text{ac}}$  ค่อนข้างยากในทางปฏิบัติ เพราะมุกทริกจะไม่นิ่งพอ ถ้ามุกทริกมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจะทำให้ระดับโวลต์เตจที่เข้าขาร์จมีค่า  $V_{\text{avg}}$  มาก ซึ่งทำให้ไม่สามารถควบคุมกระแสขาร์จได้ ทำให้แบตเตอรี่เป็นอันตรายได้ดังกล่าว ซึ่งในวงจรที่ออกแบบนี้จะใช้หลักการดังนี้

✱ ใช้หม้อแปลงลดระดับแรงดันจาก  $220 \text{ V}_{\text{ac}}$  เป็น  $30 \text{ V}_{\text{ac}}$  แล้วนำไปเข้า SCR เพื่อปรับระดับโวลต์เตจ ที่เข้าขาร์จโดยใช้ Current transformer เป็นตัวตรวจจัมกระแสและป้อนกลับเพื่อควบคุมเฟสของ SCR ซึ่งในการขาร์จแบตเตอรี่จะต้องใช้กระแสเข้าขาร์จที่เหมาะสม ซึ่งในตอนแรกโวลต์เตจคร่อมแบตเตอรี่จะมีค่าน้อย หรืออาจแทบไม่มีเลย โวลต์เตจที่เข้าขาร์จจะปรับค่าน้อยๆ และต่อมาเมื่อโวลต์เตจคร่อมแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้น และค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะมีค่าสูงขึ้นถ้าขาร์จด้วยโวลต์เตจคงที่ จะสังเกตเห็นว่าค่ากระแสที่เข้าขาร์จแบตเตอรี่จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แต่ในการขาร์จนี้จะมีค่ามุก  $\alpha$  ลดลงเรื่อยๆ ทำให้กระแสที่เข้าขาร์จมีค่าค่อนข้างคงที่หรือจะลดลงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งในวงจรนี้จะมีค่า Power loss จากหม้อแปลง SCR และความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เท่านั้น



รูปที่ 1.4 วงจรขาร์จแบตเตอรี่ที่ใช้ SCR ควบคุมการขาร์จ

สำหรับวงจรควบคุมนั้น จะใช้หลักการโดยสร้าง Ramp ที่ Sineronize กับไฟบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### การทำงานของอุปกรณ์ในเครื่องชาร์จแบตเตอรี่

#### 2.1 แบตเตอรี่ Lead acid

แบตเตอรี่มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ ชนิดที่ไม่สามารถชาร์จไฟเข้าสะสมเป็นพลังงานเคมี และชนิดที่สามารถชาร์จไฟเข้าสะสมเป็นพลังงานเคมีใหม่ได้ ซึ่งเรียกว่า เซลล์แบบปฐมภูมิและเซลล์แบบทุติยภูมิตามลำดับ

##### 2.1.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่ Lead acid

เซลล์ของแบตเตอรี่ประกอบด้วย แผ่นธาตุบวก แผ่นธาตุลบและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เซลล์เหล่านี้อาจมีการปิดแผ่นสนิท หรือมีช่องให้สารระเหยได้ ชนิดปิดสนิทอาจใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นวันแข็งหรือของเหลวก็ได้ แต่ชนิดที่เซลล์มีช่องให้ระเหยได้จะใช้สารอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นของเหลว แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบจะวางอยู่คู่กันในเซลล์ แบตเตอรี่ลูกหนึ่งอาจมีแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบวางขนานกันอยู่หลายคู่ ซึ่งจะมีผลทำให้การจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบเหล่านี้จะถูกป้องกันไม่ให้สัมผัสกันได้เลย แต่อ่อนสามารถวิ่งผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไปยังอีกแผ่นหนึ่งได้ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ความต่างศักย์ทางไฟฟ้าระหว่างแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบนี้จะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ตามชนิดของสารที่ใช้ทำแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบและชนิดของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แต่ปริมาณของกระแสที่ได้จากแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ ระยะห่างระหว่างแผ่น และความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์

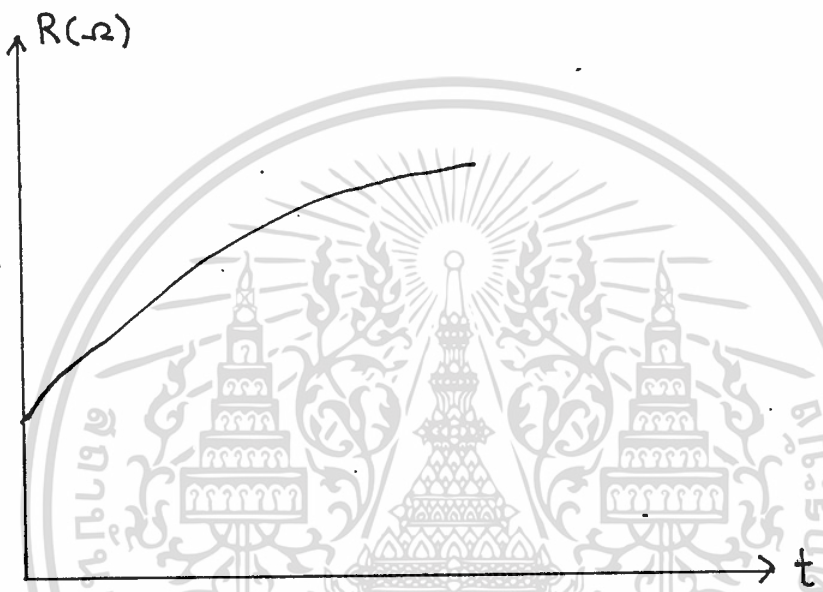
ความจุของแบตเตอรี่มักวัดเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง วิธีวัดความจุได้กำหนดมาตรฐานโดยกำหนดเวลาคงที่ และวัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาในช่วงเวลาดังกล่าว โดยมากมักกำหนดเวลานาน 8 ชั่วโมงและมีการระบุด้วยว่าค่าความจุที่วัดได้นี้วัดที่กำหนดเวลาเท่าใด ทั้งนี้ถ้ากำหนดที่เวลาต่างกันจะได้ค่าความจุต่างกัน เช่น แบตเตอรี่ลูกหนึ่งจ่ายกระแสไฟฟ้า 20 แอมแปร์ ในเวลา 8 ชั่วโมง จะมีความจุ 160 แอมแปร์-ชั่วโมง ในเวลา 8 ชั่วโมง แต่ถ้าแบตเตอรี่ลูกนี้จ่ายกระแสไฟฟ้า 40 แอมแปร์ จะวัดความจุได้น้อยกว่า 160 แอมแปร์-ชั่วโมง ในทางตรงกันข้ามถ้าให้แบตเตอรี่ลูกนี้จ่ายกระแสไฟฟ้าต่ำกว่า 20 แอมแปร์ จะวัดความจุมากกว่า 160 แอมแปร์-ชั่วโมง

##### 2.1.2 ประเภทของแบตเตอรี่

วัสดุที่นำมาใช้ทำแผ่นธาตุบวก มีหลายชนิด เช่น ตะกั่ว แคดเมียม แมกนีเซียมและสังกะสี ซึ่งเป็นสารที่ปล่อยอิเล็กตรอนได้ง่าย ส่วนแผ่นธาตุลบอาจทำด้วยตะกั่วไดออกไซด์ นิกเกิล พรอทและเงิน ซึ่งจะรับอิเล็กตรอนได้ง่าย เนื่องจากคุณสมบัติที่ได้จากการใช้วัสดุต่างชนิดกันนั้นจึงแบ่งแบตเตอรี่ออกเป็น 2 ประเภท คือ

### 2.1.6 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ชาร์จ จะมีคุณสมบัติเหมือนกับตัวต้านทานตัวหนึ่ง เมื่อทำการชาร์จไปเรื่อยๆ ความต้านภายในของแบตเตอรี่ จะมีค่าเพิ่มตามเวลาที่ชาร์จ ซึ่งค่ากระแสที่ชาร์จจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ มีลักษณะคล้าย taper ซึ่งค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นตามโวลต์เตจของแบตเตอรี่ โดยปกติแบตเตอรี่จะมีโวลต์เตจเฉลี่ยประมาณ 2.3 - 2.4 V/cell เราไม่ควรใช้แบตเตอรี่จนหมดจริงๆ เพราะจะทำให้ชาร์จไม่เข้าโดยโวลต์เตจที่เหลือควรเกิน 1.9 V/cell



รูปที่ 2.1 แสดงความต้านทานของแบตเตอรี่ในขณะที่ชาร์จ

### 2.2 SCR และไดโอด

SCR เป็นส่วนประกอบสำคัญในวงจรที่จะจ่ายกระแสเข้าสู่แบตเตอรี่ โดย SCR ตัวนี้จะถูกควบคุมโดยสัญญาณที่ได้จากวงจรควบคุม ซึ่งจะเป็นตัวปรับกระแสที่ชาร์จเข้าสู่หม้อแบตเตอรี่ให้มีค่าคงที่ตลอดเวลา power diode มีโครงสร้างแสดงดังรูป 2.2 ซึ่งประกอบด้วย สารกึ่งตัวนำ n ที่ถูกโด๊ปมากเป็นพิเศษ เรียกว่า  $n^+$  เป็นส่วนชั้นเสตจ ถัดขึ้นมาคือสารกึ่งตัวนำชนิด n เช่นกัน แต่ถูกโด๊ปในปริมาณที่น้อยกว่า เรียกว่า  $n^-$  ซึ่งสารชั้นนี้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงอัตราทนแรงดันพังทลาย ชั้นบนสุดคือ สารกึ่งตัวนำชนิด p ซึ่งถูกโด๊ปมากเป็นพิเศษ เรียกว่า  $p^+$  สารกึ่งตัวนำในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง จะถูกโด๊ปต่างไปจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำทั่วๆ ไป ก็เพื่อให้อุปกรณ์เหล่านี้ มีอัตราทนกำลังที่สูงขึ้นไปนั่นเอง ในรูป 2.3 แสดงกราฟของ V-I ของ power diode จากกราฟจะเห็นว่าคล้ายกับกราฟ V-I

และสัญลักษณ์ก็เหมือนกันดังรูป โดยปกติแล้วไดโอดจะสูญเสียกำลังในขณะนำกระแสมากกว่า เนื่องจากขณะที่ไดโอดหยุดนำกระแสก็จะมีแค่เพียงกระแสรั่วซึ่งจะมีค่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$P_{loss} = V_{on} I_f$$

แต่จริงๆ แล้วขณะที่ไดโอดนำกระแสจะมีต้นตกคร่อมมากกว่า 1 โวลต์ แน่ ทั้งนี้เป็นเพราะความต้านทานของไดโอดขณะนำกระแส ดังนั้นแรงต้นตกคร่อมจึงมีค่าดังนี้

$$V_{on} = V_f + I_f R_{on}$$

### 2.2.1 รูปคลื่นกำลังของไดโอดที่เกิดขึ้นจริง

ไดโอดกำลังจะมีช่วงเวลาการสวิตช์ที่แน่นอน ซึ่งจะเปลี่ยนจากสภาวะการหยุดนำกระแส (reverse bias) มาสู่สภาวะการนำกระแส (forward bias) และจากสภาวะนำกระแสสู่สภาวะหยุดนำกระแสเช่นกัน ซึ่งผู้ใช้งานจำเป็นต้องศึกษาเพื่อประโยชน์ในการออกแบบวงจร แต่โดยปกติทั้งช่วงเวลาและรูปร่างคลื่นดังกล่าว เป็นผลมาจากคุณสมบัติของตัวกำลังและวงจรที่ต่ออยู่ด้วย

คุณสมบัติการสวิตช์ของไดโอดหาได้โดยการป้อนกระแสให้ไดโอด ซึ่งกระแสเหล่านี้จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสในช่วงเวลาหนึ่ง (di/dt) ดังรูปที่ 2.4 แล้วจึงวัดคุณสมบัติอื่นออกมา เหตุที่ต้องทำเช่นนี้เป็นเพราะว่า ในการใช้งานไดโอดกำลังมักใช้ในวงจรควบคุมที่มีโหลด เป็นอุปกรณ์ที่สะสมพลังงานได้ประเภทขดลวด เช่น มอเตอร์ นอกจากนี้ในรูปยังแสดงรายละเอียดของรูปคลื่นแรงดันและกระแสของไดโอดกำลัง ทั้งสภาวะที่กำลังนำกระแสและหยุดนำกระแส ซึ่งมีส่วนที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ คือ แรงดันโอเวอร์ชูต ในระหว่างการนำกระแสและช่วงที่กระแสเป็นลบในระหว่างการหยุดนำกระแส

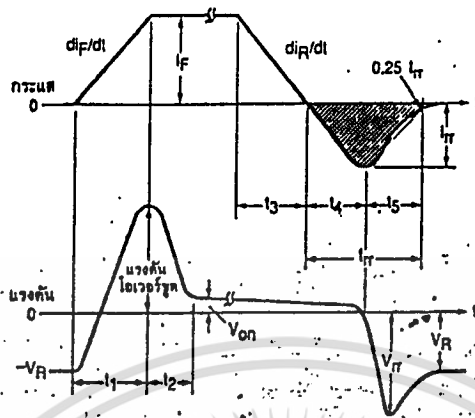
### 2.2.2 ทรานเซียนต์

ทรานเซียนต์ เกิดจากไดโอดกำลังจะแยกได้ออกเป็นทรานเซียนต์ที่เกิดขึ้นเมื่อเริ่มนำกระแส และทรานเซียนต์ที่เกิดขึ้นเมื่อหยุดนำกระแสดังต่อไปนี้

- ทรานเซียนต์เมื่อเริ่มนำกระแสก็คือ แรงดันโอเวอร์ชูตที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา  $t_1$  และ  $t_2$  นั้นเอง ซึ่งเกิดจากปัจจัย 2 อย่างคือ ประจุที่สะสมบริเวณรอยต่อคลื่นก่อนที่ไดโอดจะนำกระแส และผลรวมของแรงดันภายในที่เกิดจากค่าความต้านทาน และค่าความเหนี่ยวนำภายในไดโอดกับกระแสที่ป้อนเข้าไป จนทำให้โอเวอร์ชูตขึ้นและมีค่ามากเพียงพอที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่ วงจรที่ต่ออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ทางเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยปรกติแล้ว  $t_1$  จะมีค่าไม่ต่ำกว่า  $10^{-7}$  วินาที และ  $t_2$  จะมีค่าประมาณ  $10^{-6}$  วินาที

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4

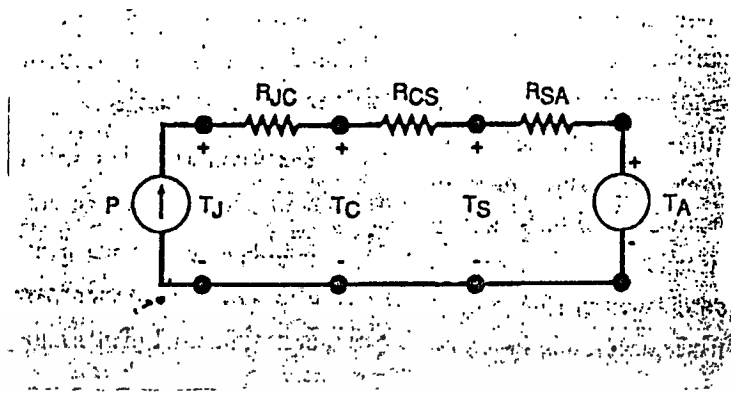
รูปแสดงคลื่นแรงดันและกระแสของไดโอดกำลัง ในขณะที่เริ่มนำและหยุดนำกระแส:

ทรานเซียนต์ในขณะที่หยุดนำกระแสจะเกิดขึ้นในช่วงเวลา  $t_3 + t_4 + t_5$  ทรานเซียนต์ที่เกิดขึ้น เป็นทรานเซียนต์ด้านกระแสทำให้เกิดกระแสไหลย้อนกลับในช่วงเวลา  $t_4 + t_5$  และกระแสเองจะทำให้เกิดแรงดันโอเวอร์ชอตทางด้านลบขึ้น ตามรูป 2.4 ซึ่งกระแสลบนี้ต้องดึงพลังงานมาจากโหลดหรืออุปกรณ์ที่กักเก็บพลังงานในวงจร เช่น ขดลวด จนกระทั่งกระแสมีค่าเป็น 0 ที่  $t_5$  ทรานเซียนต์นี้จะมีผลทำให้อุปกรณ์ในวงจรทำงานผิดพลาด

### 2.2.3 วงจรสมมูลการถ่ายโอนความร้อน

ตามธรรมชาติการถ่ายโอนความร้อนจะมี 3 ทางคือ การนำ การพาและการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อผลต่างของอุณหภูมิ 2 แห่งเกิดขึ้น โดยจะถ่ายเทพลังงานความร้อนจากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่แหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ ดังนั้นจึงสามารถเปรียบเทียบกับทางวงจรไฟฟ้าได้ง่าย ทั้งนี้จะให้สูตรการถ่ายเทความร้อนเปรียบเสมือนกระแสไฟฟ้า ผลต่างทางอุณหภูมิทั้ง 2 แห่งเปรียบเสมือนแรงดันตกคร่อมและค่าความต้านทานความร้อนซึ่งมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียสต่อวัตต์ เปรียบเสมือนตัวต้านทานทางไฟฟ้า สำหรับการติดตั้งทรานซิสเตอร์เข้ากับ ตัวระบายความร้อนจะทำให้เกิดความต้านทานความร้อนที่ต้องพิจารณาด้วยกัน 3 ส่วนคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลการถ่ายเทความร้อน

ส่วนแรกเป็นความต้านทานความร้อนระหว่างรอยต่อของตัวถังของไทรสเตอร์ ( $R_{Jc}$ ) ส่วนที่ 2 คือ ความต้านทานความร้อนระหว่างตัวถังกับตัวระบายความร้อน ( $R_{Cs}$ ) และสุดท้ายจะเป็นความต้านทานความร้อนระหว่างตัวระบายความร้อนกับอากาศโดยรอบ ( $R_{Sa}$ ) ซึ่งสามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 2.5

จากรูป  $T_J, T_C, T_S$  และ  $T_A$  คือ อุณหภูมิที่รอยต่อ ตัวถัง ตัวระบายความร้อน และอากาศโดยรอบตามลำดับ ส่วน P คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน ซึ่งเท่ากับ กำลังงานเฉลี่ยสูญเสียที่บริเวณรอยต่อ สามารถคำนวณได้จาก การเฉลี่ยของกราฟที่ได้จากผลคูณของกราฟกระแสและแรงดันตกคร่อมไทรสเตอร์ที่เวลาต่างๆ จากวงจรสามารถเขียนสมการการถ่ายเทความร้อนได้ดังสมการ

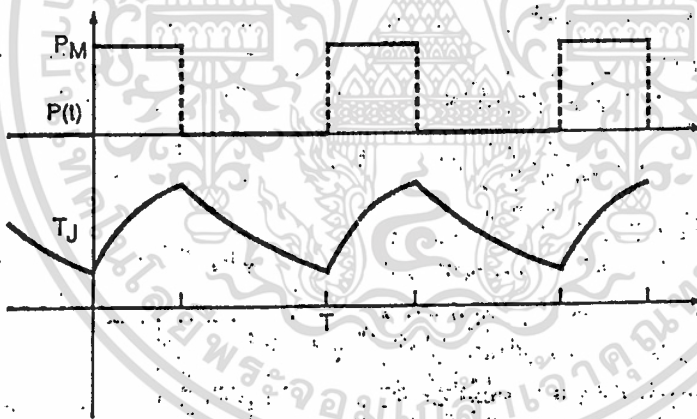
$$T_J = T_A + P(R_{Jc} + R_{Cs} + R_{Sa})$$

จากสมการค่า  $R_{Jc}$  จะถูกกำหนดมาตายตัวในคู่มือไม่สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงค่าได้ เพราะขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของไทรสเตอร์ เช่น ขนาดของรอยต่อ การติดตั้งภายใน ตลอดจนวัสดุและรูปร่างของตัวถัง ค่า  $T_A$  เป็นอุณหภูมิของอากาศโดยรอบ ซึ่งค่อนข้างจะคงที่ ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มค่า P ให้สูงขึ้น โดยที่  $T_J$  ยังคงที่ ก็จะทำให้โดยการลดค่าของ  $R_{Cs}$  และ  $R_{Sa}$  ลง การเพิ่มขึ้นของค่า P จะทำให้ไทรสเตอร์ใช้งานที่กระแสสูงขึ้นค่า  $R_{Cs}$  และค่า  $R_{Sa}$  จะขึ้นอยู่กับ การติดตั้งไทรสเตอร์เข้ากับตัวระบายความร้อน โดยสามารถควบคุมและเปลี่ยนแปลงค่าได้บ้าง ซึ่งถ้าเป็นทางอุดมคติแล้ว ค่าทั้ง 2 จะเป็น 0 นั่นคือ อุณหภูมิที่ตัวถังจะเท่ากับอากาศโดยรอบยังผลให้เกิดค่ากำลังสูญเสียเฉลี่ยน้อยที่สุด แต่ในทางปฏิบัติก็สามารถทำให้ค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้เท่านั้น ส่วนใหญ่ค่าของอุณหภูมิของรอยต่อที่ไทรสเตอร์ทนได้มีค่าประมาณ 125 องศาเซลเซียส แต่สำหรับผู้ออกแบบส่วนใหญ่จะจำกัดไว้

เพียง 110 องศาเซลเซียส เพราะทั้งนี้ผลของอุณหภูมิที่รอยต่อสูงจะส่งผลในทางไม่ดีกับตัวแปรอีกหลายตัวแปรของไทรสเตอร์ นั่นคือ กระแสรั่วไหล เสถียรภาพทางความร้อน เป็นต้น

### 2.2.4 กราฟสำหรับการออกแบบ

ในทางปฏิบัติ กระแสจะไหลผ่านไทรสเตอร์เป็นคาบ ทำให้พลังงานที่เกิดขึ้นเป็นคาบด้วย และประกอบด้วยความสามารถในการเก็บความร้อนที่รอยต่อมีค่าน้อย จึงทำให้อุณหภูมิที่รอยต่อมีค่าไม่คงที่ และจะเปลี่ยนแปลงไปตามกำลังงานการสูญเสีย ดังตัวอย่างในรูป 2.6 จะเห็นว่าในช่วงเวลาที่เกิดการสูญเสียอุณหภูมิที่รอยต่อกลับมีค่าลดลง ค่าสูงสุดของอุณหภูมิที่รอยต่อที่เกิดขึ้น ถึงแม้จะเกิดชั่วขณะแต่ก็ขึ้นเป็นคาบ ซึ่งก็จะต้องถูกกำหนดไว้ไม่เกินค่า  $T_{Jmax}$  ของไทรสเตอร์ การออกแบบที่ดีตั้งและการระบายความร้อนที่ดี เพื่อลดค่า  $R_{cs}$  และ  $R_{ju}$  ให้น้อยกว่าค่าที่คิดจะทำให้ให้อุณหภูมิของรอยต่อสูงเกินกว่าค่าของ  $T_{Jmax}$  ได้



รูปที่ 2.6

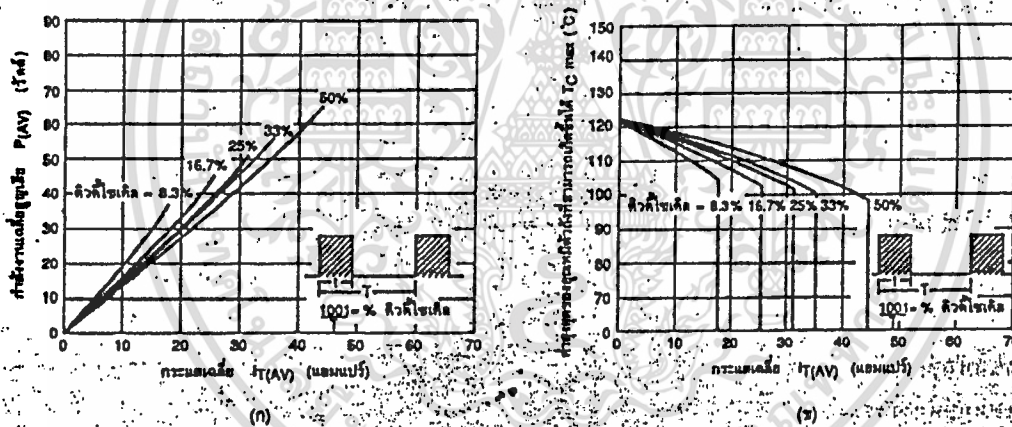
ลักษณะรูปร่างของอุณหภูมิรอยต่อที่เป็นคาบตามกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้น

ดังนั้นผู้ออกแบบที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงจึงจำเป็นต้องทราบผลรวมของค่าจำกัด  $R_{cs}$  และ  $R_{ju}$  นี้ และเพื่อความสะดวกในการคำนวณค่าเหล่านี้ ผู้ผลิตจึงได้ให้กราฟ  $T_{Jmax}$  และ  $P_{avg}$  ที่  $I_{t(av)}$  และ duty cycle ต่างๆ มาให้ดังรูปที่ 2.6 ทั้งนี้เพราะจากวงจรดังรูป 2.6

ถ้าเขียนสมการในรูปความสัมพันธ์ของ  $T_c$  และ  $T_m$  ได้ดังสมการ

$$T_c = T_m + P(R_{c_m} + R_{m_m})$$

จะเห็นว่าถ้าต้องการทราบผลรวมของพิกัด  $R_{c_m}$  และ  $R_{m_m}$  จะต้องทราบข้อมูลอีกแค่ 3 ตัว คือ  $T_m$ ,  $P$  และพิกัดของ  $T_{c_{max}}$  ที่ไทรสเตอร์ทนได้ ซึ่งถ้าใช้สมการตัวแรกจะต้องทราบค่า  $T_{c_{max}}$  และ  $R_{c_m}$  ด้วย โดยค่า  $R_{c_m}$  จะเป็นค่าที่หาได้ลำบากมาก เพราะจะเปลี่ยนแปลงตามค่า duty cycle และช่วงเวลาการเกิดกำลังงานสูญเสีย ซึ่งในคู่มือจะไม่ได้กำหนดมาให้โดยตรง สำหรับค่าทั้ง 3 ตัวนั้น หาได้ไม่ยากนัก เริ่มจากค่า  $T_m$  จะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ซึ่งสามารถกำหนดได้คือ ประมาณ 40 องศาเซลเซียส ส่วนค่า  $P$  และ  $T_{c_{max}}$  นี้จะหาได้จากกราฟตัวอย่างในรูปที่



รูปที่ 2.7

ก กราฟแสดงกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ duty cycle และกระแสเฉลี่ยแตกต่างกัน

ข กราฟแสดงค่าสูงสุดของอุณหภูมิตัวถังที่สามารถให้เกิดขึ้นได้ที่ duty cycle และกระแสเฉลี่ยแตกต่างกัน

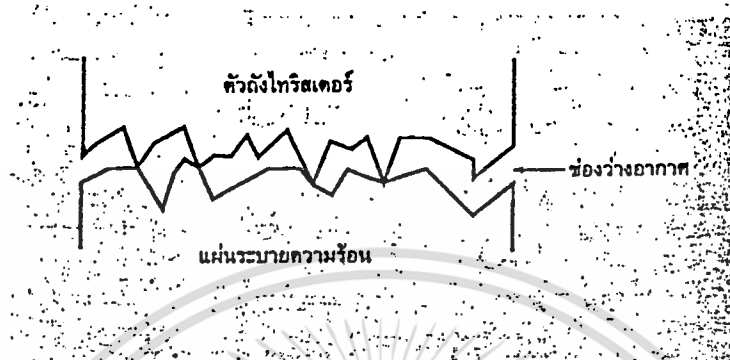
2.7 โดยตรง ค่าทั้ง 2 จะขึ้นอยู่กับกระแสเฉลี่ย ค่าสูงสุดของกระแสและ duty cycle ซึ่งทั้งหมดคือข้อมูลของกระแสใช้งานนั่นเอง ตัวอย่างในรูป 2.7 (ข) ที่ค่า  $T_{c_{max}} = 110$  องศาเซลเซียส ไทรสเตอร์ไม่ว่ากรณีใดๆ พังสน อีกทั้งห้ามมิให้ตัดกระแสและต้องอ้างอิงถึง  $T_{c_{max}}$  ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไทรสเตอร์จะสามารถรับกระแสเฉลี่ยได้ 20 แอมแปร์ ที่ duty cycle 25 % แต่ถ้ามีการระบายความร้อนที่

คิดว่าจะลดอุณหภูมิที่ตัวถังถูกจำกัดไว้ไม่เกิน  $T_{c,max} = 102$  องศาเซลเซียส จะสามารถรับกระแสเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 30 แอมแปร์ และที่  $T_{c,max} = 110$  องศาเซลเซียส เหมือนกันแต่มีค่า duty cycle = 50 % จะมีการปรับค่า from factor ของกระแสเฉลี่ยให้ดีขึ้น ซึ่งจะลดค่าสูงสุดของอุณหภูมิรอยต่อลง ทำให้สามารถรับค่าเฉลี่ยได้มากขึ้น 27.5 แอมแปร์ นอกจากนี้จะเห็นว่ากราฟทุกเส้นจะมีจุดเริ่มต้นที่กระแสเฉลี่ยเป็น 0 ที่จุดเดียวกันคือ ประมาณ 125 องศาเซลเซียส ซึ่งเท่ากับค่า  $T_{d,max}$  สำหรับเส้นกราฟในแนวตั้งจะถูกกำหนดด้วยค่า  $I_{T(c,max)}$  ของไทรสเตอร์ โดยเป็นการจำกัดไม่ให้ใช้งานเกินเส้นเหล่านี้ ทั้งนี้เพื่อต้องการป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบของไทรสเตอร์ ที่จัดเป็นประเภทความต้านทาน เช่น ขั้วต่อและสายตัวนำต่างๆ ส่วนกราฟในรูป ก คือ ค่ากำลังงานเฉลี่ยสูญเสีย จะรวมเอาค่าสูญเสียที่เกิดจากกระแสรั่วไหลและที่เกิดเข้าไว้ด้วย แต่ไม่รวมค่าสูญเสียที่เกิดจากการสวิตช์ซึ่ง ดังนั้นกราฟทั้ง 2 รูป จะถูกจำกัดให้ใช้งานได้ในช่วงความถี่ประมาณ 50 - 400 เฮิรตเท่านั้น โดยไม่สามารถจะนำไปใช้ในความถี่ที่สูงกว่านี้ได้ เพราะผลเนื่องจากการสวิตช์ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จะเห็นว่ากราฟทั้ง 2 ได้ผลมาจากการทดสอบด้วยกระแสที่เป็นรูปสี่เหลี่ยม แต่ในการใช้งานไทรสเตอร์บางครั้งอาจเป็นกระแสรูปไซน์ ดังนั้นในคู่มือจึงให้กราฟกระแสรูปไซน์มาด้วย โดยจะเปลี่ยนค่า duty cycle เป็นช่วงมุมในการนำกระแสแทน ซึ่งจะได้กราฟในลักษณะคล้ายคลึงกัน

$R_{c,u}$

ในที่นี้เราคงจะไม่สามารถกล่าวถึงการออกแบบที่มีความเที่ยงตรงสูงมากได้ เพราะการกระทำเช่นนั้น จำเป็นต้องมีข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางความร้อนของแผ่นระบายความร้อน ซึ่งคงจะหาได้ยาก ดังนั้นเราจะกล่าวแต่เพียงสิ่งที่ผลต่อค่า  $R_{c,u}$  และ  $R_{c,d}$  ในทางที่จะทำให้ค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่านั้น เพื่อให้สามารถตัดสินใจ และเลือกแผ่นระบายความร้อนได้อย่างถูกต้อง การติดตั้งไทรสเตอร์เข้ากับแผ่นระบายความร้อนสำคัญมาก เพราะต้องติดตั้งในตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการระบายความร้อนได้ดีที่สุดแล้ว ยังต้องคำนึงถึงค่า  $R_{c,u}$  จะต้องมีค่าน้อยที่สุดด้วย ผลของผิวหน้าสัมผัสที่ไม่เรียบและขนานกันของตัวไทรสเตอร์กับพื้นที่ติดตั้งบนแผ่นระบายความร้อนจะทำให้เกิดความแตกต่างทางอุณหภูมิ ระหว่างผิวหน้าสัมผัสทั้ง 2 นั่นคือ เกิดค่า  $R_{c,u}$  ซึ่งถ้ามีการขยายผิวหน้าสัมผัสให้ใหญ่ขึ้นจะเห็นช่องว่างของอากาศ ดังรูป 2.8 อากาศเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดีจึงมีค่าความต้านทานความร้อนสูง คือประมาณ 1200 องศาเซลเซียส/วัตต์/นิ้ว การลดค่า  $R_{c,u}$  ให้น้อยลงโดยการหาสารที่นำความร้อนได้ดี ไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม และอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปมาใส่ลงไปในห้องอากาศ โดยสารที่นิยมใช้คือ ซิลิโคน มีความต้านทานความร้อนต่ำประมาณ 60 องศาเซลเซียส/วัตต์/นิ้ว และการลด  $R_{c,d}$  ได้ดีคือ ต่อตัวถังเข้ากับแผ่นระบายความร้อนโดยตรงเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



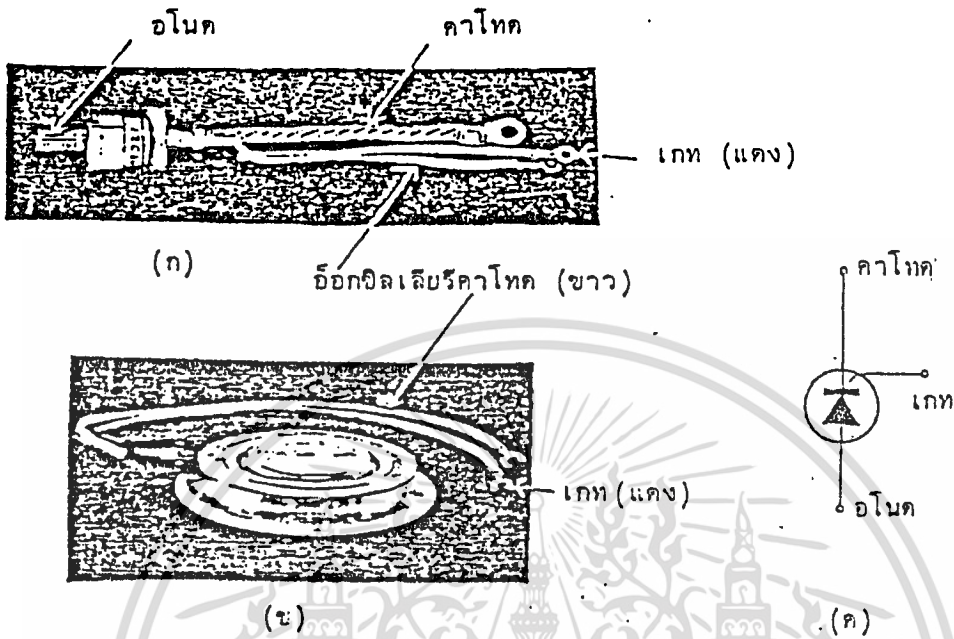
รูปที่ 2.8  
รูปขยายหน้าผิวสัมผัสตัวถังและแผ่นระบายความร้อน

$R_{\Sigma}$   
ตามปกติ ถ้าการระบายความร้อนมีการติดตั้งแผ่นระบายความร้อน ใ้ให้แก่ทรานส์ฟอร์มเมอร์ เพียงอย่างเดียว ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากกำลังงานเฉลี่ยสูญเสียที่รอยต่อจะถูกถ่ายเทผ่านตัวถังไปยังแผ่นระบายความร้อนและผ่านออกมาสู่อากาศโดยรอบตามลำดับ โดยวิธีการนำความร้อนเป็นส่วนใหญ่ จะมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการพาและการแผ่รังสีความร้อน โดยการถ่ายเทนี้ จะเกิดขึ้นระหว่างแผ่นระบายความร้อนกับอากาศโดยรอบเท่านั้น ซึ่งถ้าไม่ใช้วิธีการอย่างอื่นช่วย ค่า  $R_{\Sigma}$  จะขึ้นอยู่กับแผ่นระบายความร้อนเพียงอย่างเดียว ซึ่งแผ่นระบายความร้อนส่วนใหญ่ทำจากอลูมิเนียม เพราะนำความร้อนได้ดี มีน้ำหนักเบา ราคาถูก ซึ่งจะทาคัดรับให้แผ่นระบายความร้อนด้วย เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวทำให้การระบายความร้อนไปสู่อากาศภายนอกได้ดีขึ้น

2.2.5 โครงสร้างและการทำงานขั้นต้นของทรานส์ฟอร์มเมอร์

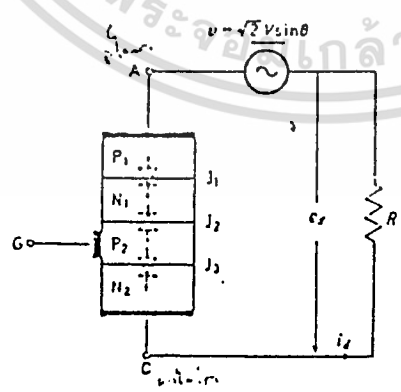
รูป 2.9 ก คือลักษณะที่มองจากภายนอกของทรานส์ฟอร์มเมอร์ขนาดกระแสปานกลาง ขณะที่รูป ข เป็นกรณีกระแสแรงๆ และรูป ค คือ สัญลักษณ์ที่ใช้เขียนแทนทรานส์ฟอร์มเมอร์ ส่วนประกอบสำคัญคือ อาโนดและคาโทด และเกดซึ่งเกิดจาก  $P_1N_1P_2N_2$  จำนวนทั้งหมด 4 ชั้น 3 รอยต่อของ  $J_1J_2J_3$  ดังแสดงในรูป 2.11 ในกรณีของไดโอดที่ทั่วไปเมื่อป้อนโวลต์เตจในทิศทาง forward ไดโอดจะนำกระแส และเมื่อป้อนในทิศทาง reverse ไดโอดจะหยุดนำกระแสการทำงานจะคล้ายกับสวิตช์เปิดปิด แต่ในกรณีของทรานส์ฟอร์มเมอร์นั้น แม้จะคร่อมโวลต์เตจในทิศทาง forward ก็ตาม ทรานส์ฟอร์มเมอร์ก็จะไม่นำกระแสจนกว่าจะมีการ

ป้อนสัญญาณเกิดเข้าไปพร้อมๆ กัน นั่นคือ กรณที่ป้อน AC โวลต์เตจ  $V = 2V\sin\phi$  ให้แก่วงจรในรูป 2.11



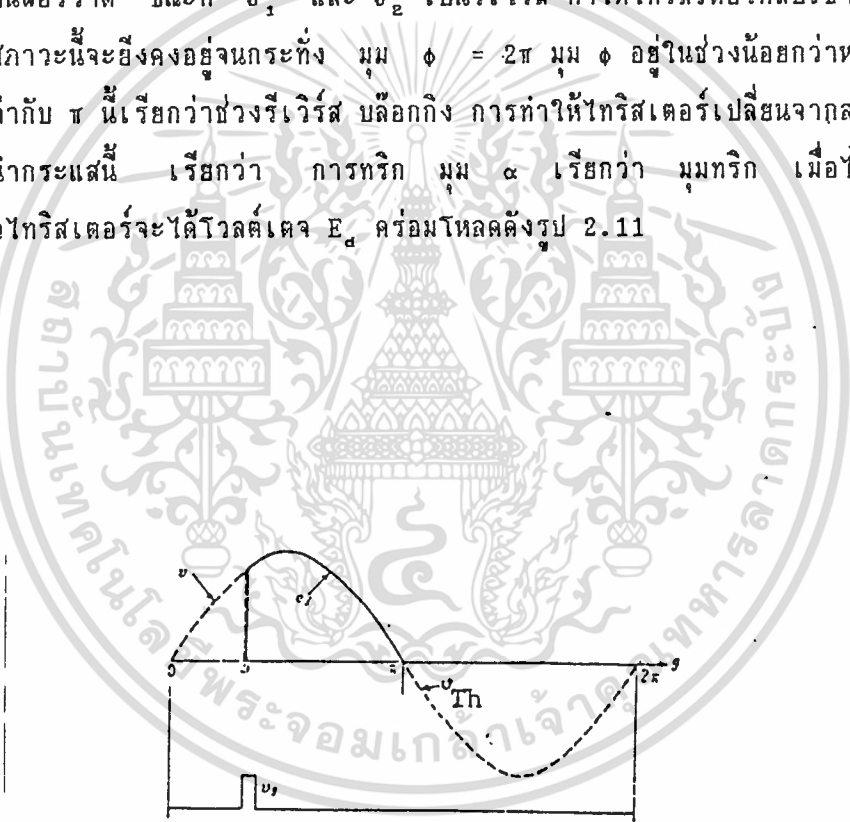
รูปที่ 2.9

ลักษณะภายนอกและสัญลักษณ์ของไทรซิสเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.10 วงจรไทรซิสเตอร์ อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้มีโวลต์เตจคร่อมในทิศทาง forward ในช่วงมุม  $\phi$  มากกว่า 0 ก็ตาม ก็ยังไม่มีกระแสไหลจนกว่า  $\alpha$  มุม  $\phi$  ในช่วงมุม  $\phi$  น้อยกว่าหรือเท่ากับ  $\alpha$  แต่มากกว่าหรือเท่ากับ 0 นี้เรียกว่า forward blocking โวลต์เตจส่วนใหญ่ในช่วงนี้จะปรากฏคร่อม  $J_c$  และปรากฏช่องว่างเปล่าขึ้นที่รอยต่อ  $J_c$  นี้ เมื่อป้อนสัญญาณเกิดด้วยกระแสขนาดหลายสิบลิลลิแอมป์ขึ้นไป ไทริสเตอร์จะอยู่ในสภาวะนอกระแส เมื่อไทริสเตอร์เข้าสู่สภาวะนี้ครั้งหนึ่งและตราบไคที่กระแสในทิศทางฟอร์วาร์ด มีขนาดมากกว่าค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่ากระแสโวลติง โดยปรกติจะมีค่าประมาณ 20 มิลลิแอมป์แล้ว สภาวะการนำกระแสของไทริสเตอร์จะยังคงดำเนินต่อไป ในกรณีที่โวลตความต้านทานในรูป 2.11 เป็นความต้านทานล้วนๆ สภาวะนี้จะยังคงอยู่จนกระทั่งมุม  $\phi = \pi$  นี้เมื่อเริ่มมีรีเวอร์สโวลต์เตจปรากฏคร่อมไทริสเตอร์ รอยต่อ  $J_c$  จะเริ่มมีสภาวะเป็นฟอร์วาร์ด ขณะที่  $J_1$  และ  $J_2$  เป็นรีเวิร์ส ทำให้ไทริสเตอร์กลับเข้าสู่สภาวะหยุดนำกระแส และสภาวะนี้จะยังคงอยู่จนกระทั่ง มุม  $\phi = 2\pi$  มุม  $\phi$  อยู่ในช่วงน้อยกว่าหรือเท่า  $2\pi$  แต่มากกว่าหรือเท่ากับ  $\pi$  นี้เรียกว่าช่วงรีเวิร์ส ปลือกกิ่ง การทำให้ไทริสเตอร์เปลี่ยนจากสภาวะที่ไม่นำกระแสเป็นสภาวะนำกระแสนี้ เรียกว่า การทริก มุม  $\alpha$  เรียกว่า มุมทริก เมื่อไม่คำนึงถึงโวลต์เตจตกคร่อมตัวไทริสเตอร์จะได้โวลต์เตจ  $E_d$  คร่อมโวลตดังรูป 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะของคลื่น  $E_d$

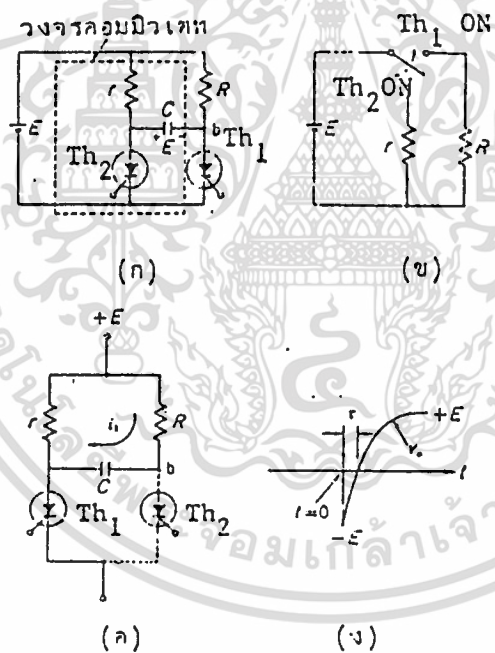
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ  $E_d$  ล้วนสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อปรับมุม  $\alpha$  ก็สามารถปรับโวลต์เตจเฉลี่ย  $E_d$  ได้

$$E_{d(x)} = 1/2\pi \int_0^{2\pi} e_d d\phi = 1/2\pi \int_0^{\pi} V d\phi = 2\sqrt{2}V/2\pi \times (1+\cos\alpha)/2$$

รูป 2.11 เฉพาะส่วนที่แสดงด้วยเส้นประ คือลักษณะของโวลต์เตจ  $V_{un}$  ที่ปรากฏคร่อม ไทริสเตอร์ ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าสำหรับตัวไทริสเตอร์เองนั้น ขาเกตมีความสามารถเฉพาะควบคุมให้นำกระแสเท่านั้น แต่ไม่สามารถให้หยุดกระแสได้ ดังนั้นวิธีการที่ทำให้ไทริสเตอร์หยุดนำกระแสต้องใช้วิธีใดวิธีหนึ่งจาก 2 วิธีดังต่อไปนี้

1. ทำให้กระแสอาโนดมีค่าต่ำกว่ากระแสโวลติง
2. ป้อนรีเวิร์สโวลต์เตจคร่อมระหว่างอาโนดกับคาโทด

สำหรับวงจรในรูป 2.11 เนื่องจากชั้นพลาสมาเป็น AC reverse voltage จึงปรากฏคร่อม ไทริสเตอร์ในช่วง  $\phi$  มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ  $\pi$  โดยธรรมชาติของชั้นพลาสมา แต่สำหรับกรณีที่ชั้นพลาสมาเป็น DC หรือแม้แต่ AC ก็ตาม เมื่อต้องการให้ไทริสเตอร์หยุดนำกระแสที่มุมใดมุมหนึ่งแล้ว จะต้องอาศัย 2 วิธีข้างต้น



รูปที่ 2.12 วงจรพลิกฟลอปสวิตช์

วงจรในรูป 2.12 ก ในขณะที่  $Th_1$  กำลังนำกระแสอยู่นั้นโวลต์เตจ  $E$  ของชั้นพลาสมาจะปรากฏคร่อมตัวต้านทาน  $R$  ของโหลดและขณะนั้น  $C$  จะมีลักษณะชิว้างแสดงและมีโวลต์เตจประจุไว้ที่ค่า  $E$  ในสภาวะเช่นนี้ ถ้าให้  $Th_2$  นำกระแสที่เวลา  $t = 0$  จะมีโวลต์เตจ  $E$  จาก  $C$  ตกคร่อม  $Th_1$  ในทันที ทำให้  $Th_1$  หยุดนำกระแส และจะกลับสู่สภาวะ off สมมติในเวลาช่วงสั้นๆ นี้มีการถ่ายประจุออกจาก  $C$  น้อยมากถือว่าเป็น 0 จากวงจรในรูปเมื่อคำนวณหาค่า  $I_1$  และ  $V_b$  จะได้ดังนี้

$$i_1 = (2E/r) e^{-t/RC}$$

$$V_b = E - Ri_1 = E(1 - 2e^{-t/RC})$$

ช่วงเวลา  $t_1$  ซึ่งมีรีเวิร์สโวลต์เตจคร่อม  $Th_1$  สามารถคำนวณค่าได้โดยให้  $V_b$  ในสมการข้างต้นที่เวลา  $t = t_1$  มีค่าเป็น 0 ซึ่งจะมีค่าดังนี้

$$t_1 = -RC \ln(1/2) = 0.693RC$$

การที่ไทรสเตอร์ยังคงนำกระแสต่อไปเรื่อยๆ หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง  $E/r$  และกระแส holding  $I_h$  ดังนี้

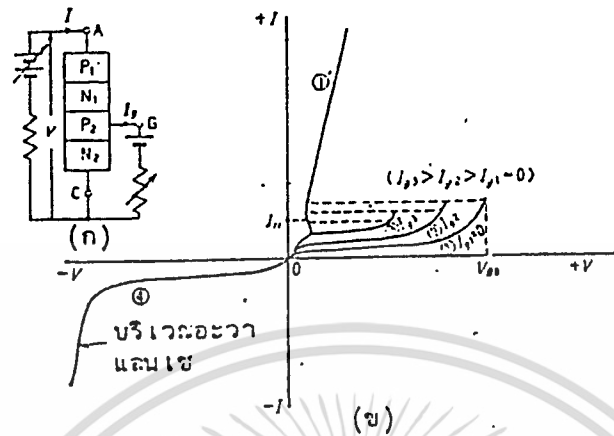
ถ้า  $I_h$  น้อยกว่า  $E/r$  :  $Th_2$  จะยังคงนำกระแสต่อไปเรื่อยๆ และในการสวิตช์  $Th_2$  ให้หยุดนำกระแสและมีการสูญเสีย  $E^2/r$  เกิดขึ้น

ถ้า  $I_h$  มากกว่า  $E/r$  :  $Th_2$  จะหยุดนำกระแส  
ในที่นี้เรียก  $C$  ว่า คอมมิวเตตติ้งคอนเดนเซอร์ และวงจรที่ล้อมรอบด้วยเส้นประนี้เรียกว่า วงจรคอมมิวเตจ

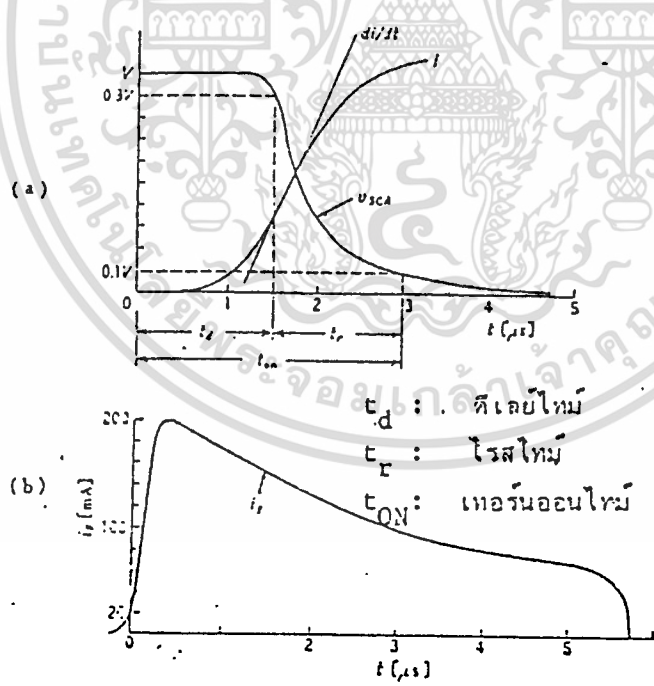
### 2.2.6 คุณสมบัติในการ turn on ของไทรสเตอร์

เมื่อเปิดวงจรเกิดในรูป 2.13 ออกและค่อยๆ เพิ่มโวลต์เตจ  $V$  ที่เอาโนดจาก 0 ให้มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ในสภาวะฟอร์วาร์ด บล็อกกิ้งแล้ว จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เตจ  $V$  และกระแส  $I$  ในทิศทางฟอร์วาร์ดในลักษณะของส่วนจางเส้นโค้งที่แสดงด้วย ในรูป ๒ จากรูปจะเห็นได้ว่า  $I$  จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของ  $V$  ไปเรื่อยๆ และเมื่อถึงตำแหน่ง  $V = V_{bo}$  กระแสจะมีค่าสูงขึ้นทันทีทันใด ทั้งนี้เนื่องจากเกิดอวาลานซ์ เบรคดาวน์ ที่รอยต่อ  $J_2$  ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าเบรคโอเวอร์ และเรียก  $V_{bo}$  ว่า เบรคโอเวอร์โวลต์เตจ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ พีคอินเวิร์สโวลต์เตจ (piv ของไทรสเตอร์โดยประมาณ) เมื่อไทรสเตอร์เกิดการเบรคโอเวอร์แล้ว จะนำกระแสพร้อมค่าโวลต์เตจคร่อมระหว่างคาโทดและเอาโนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 เบรคโอเวอร์โวลต์เตจ



รูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือที่รณรงค์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 มีค่าลดลงอย่างทันทีทันใด และคุณสมบัติจะเปลี่ยนไปในลักษณะที่แสดงด้วยเส้นหนึ่ง นอกจากนี้มีกระแส

เกณฑ์ค่าคงที่  $I$  บ่อนให้ไทรสเตอร์นั้นเมื่อทำการทดลองในลักษณะเดียวกันกับที่กล่าวมาแล้วจะได้คุณสมบัติของ  $V$  และ  $I$  ซึ่งแสดงด้วยเคิร์ฟ 2 และ 3 ในลักษณะที่เบรคโอเวอร์โวลต์เตจลดลงแม้ไทรสเตอร์จะมีการเบรคโอเวอร์เกิดขึ้นก็ตาม ก็ไม่ได้หมายความว่าไทรสเตอร์ถูกทำลายอย่างถาวร แต่ถึงกระนั้นก็ตามโดยทั่วไปจะให้ไทรสเตอร์ทำงานในระดับโวลต์เตจที่ต่ำกว่า  $V_{BO}$  เสมอ บางครั้งเมื่ออุณหภูมิที่ผิวของรอยต่อของไทรสเตอร์มีค่าสูงขึ้น  $V_{BO}$  จะมีค่าลดลงและทำให้ไทรสเตอร์นำกระแสได้เองในบางจังหวะที่ไม่ต้องการให้ทำงาน

### ช่วงเวลา turn on

ในขณะที่ไทรสเตอร์อยู่ในสภาวะของฟอร์วาค บล็อกกิง เมื่อป้อนสัญญาณทริกเพื่อให้ไทรสเตอร์นำกระแสขึ้นฟอร์วาคโวลต์เตจที่คร่อมไทรสเตอร์จะไม่สามารถลดค่าลงเหลือ  $1.5 \text{ V}$  ได้ในทันที แต่ต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งโดยมีคุณสมบัติของการลดลงดังรูป 2.14 ช่วงเวลา turn on นั้นนับตั้งแต่เวลาที่ป้อนสัญญาณทริก จนถึงตำแหน่งที่อานโวลต์เตจมีค่าลดลงเหลือเพียง  $10 \%$

### คุณสมบัติ di/dt

เมื่อทริกให้ไทรสเตอร์นำกระแส กระแสในช่วงเริ่มแรกจะไหลผ่านเนื้อที่หน้าตัดของไทรสเตอร์เฉพาะบริเวณที่มีขั้วเกิดต่ออยู่เท่านั้น ในลักษณะที่เป็นจุด จากนั้นกระแสจะไหลกระจายออกจนเต็มเนื้อที่ดังกล่าว ดังนั้นถ้ากระแสมีขนาดที่เพิ่มขึ้นรวดเร็วเกินไปแล้วจะทำให้เกิดการชำรุดเสียหายในช่วงบริเวณเนื้อที่หน้าตัดที่อยู่ใกล้เกิด อันเนื่องมาจากความร้อนที่มีปริมาณสูงเกินกำหนด นอกจากนี้แล้วเวลาที่อานโวลต์เตจ ยังมีระดับที่ไม่ต่ำพอ นั้นเมื่อ  $I$  มีค่ามากแล้วการสูญเสีย  $\int V_{th} di dt$  ที่เกิดขึ้นในตัวไทรสเตอร์จะมีค่ามากด้วย การสูญเสียในขณะ turn on นี้เรียกว่า switching loss ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจำกัดค่า di/dt ให้มีค่าช่วงแสดงดังในตาราง

	ไทรสเตอร์ทั่วไป	ไทรสเตอร์ใช้กับความถี่สูง
$t_{off} \quad [\mu s]$	10 ~ 20	3
$dv/dt \quad [V/\mu s]$	25 ~ 50	100 ~ 200
$di/dt \quad [A/\mu s]$	10 ~ 50	100 ~ 200

ตาราง 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของ SCR ทั่วไปกับ SCR ความถี่สูง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการทำให้ชั่วเกิดมีลักษณะวงแหวนแทนลักษณะที่เป็นจุดเพื่อให้กระแสไหลกระจายเต็มเนื้อที่หน้าตัดในเวลาที่เราสั้น

### 2.2.7 คุณสมบัติการ turn off ของไทรซิสเตอร์

เมื่อป้อนรีเวิร์สโวลต์เตจ  $-E_r$  ดังรูป 2.14 เพื่อให้ไทรซิสเตอร์ซึ่งอยู่ในสภาวะนำกระแสกลับสู่สภาวะ off นั้น โวลต์เตจที่ป้อนจะมีค่าเป็นฟอร์วาร์ดสำหรับรอยต่อ  $J_2$  และเป็นรีเวิร์สสำหรับรอยต่อ  $J_1$  และ  $J_0$  ในทันทีที่ป้อนรีเวิร์สโวลต์เตจจะมีกระแสไหลในทิศทางรีเวิร์สพร้อมกับการเกิดบริเวณว่างเปล่าขึ้นที่บริเวณรอยต่อ  $J_1$  และ  $J_0$  การแผ่กระจายของบริเวณว่างเปล่าและอิเล็กตรอนในขณะนี้มีลักษณะดังรูป 2.14 ข ช่วงเวลา  $t_{rr}$  ซึ่งนับจากตำแหน่งที่เริ่มป้อนรีเวิร์สโวลต์เตจจนถึงตำแหน่งที่ไทรซิสเตอร์เริ่มเข้าสู่สภาวะ off นี้เรียกว่า reverse voltage recovery time ปรกติจะมีค่าหลายสิบล้าน  $\mu s$  ในขณะที่ไทรซิสเตอร์มีสภาวะการทำงานในช่วง  $t_{rr}$  นี้ถ้าป้อนฟอร์วาร์ดโวลต์เตจ ไทรซิสเตอร์จะสามารถนำกระแสได้แม้จะยังไม่ได้อ่อนสัญญาณเกตก็ตาม ทั้งนี้เพราะฟอร์วาร์ดโวลต์เตจที่ป้อนครั้งหลังนี้จะป้อนฟอร์วาร์ดโวลต์เตจสำหรับรอยต่อ  $J_1$  และ  $J_0$  และเนื่องจาก  $J_2$  ยังอยู่ในสภาวะที่ทั้งโฮลและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เข้าออกอย่างไม่เป็นระเบียบ จึงไม่สามารถที่จะกั้นโวลต์เตจในทิศทางฟอร์วาร์ดนี้ได้ ทั้งนี้แม้ฟอร์วาร์ดโวลต์เตจจะมีค่าคร่อมไทรซิสเตอร์ก็ตาม เพื่อไม่ให้ไทรซิสเตอร์นำกระแสในขณะที่ยังไม่ได้ป้อนสัญญาณเกต จะต้องให้โฮลและอิเล็กตรอนที่มีอยู่ที่  $J_2$  ข้างของรอยต่อ  $J_2$  มีการรวมตัวกันอีกครั้ง เพื่อให้โฮลที่มีอยู่ในชั้นของ  $N_1$  และอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในชั้นของ  $P_2$  หหมดไป และมีสภาวะดังแสดงในรูป 2.14 ข ซึ่งช่วงเวลาที่ใช้นจนถึงขณะนี้เรียกว่า turn off time สำหรับไทรซิสเตอร์ต่างๆ ไป จะมีค่าประมาณ 10 - 20  $\mu s$  ถ้าให้เอาโนดโวลต์เตจ  $V$  มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังเส้นเคิร์ฟ 1 ในรูป 2.14 ก ในกรณีช่วงเวลาที่ใช้นกระทั่งตำแหน่ง  $V = 0$  มีค่ามากกว่า  $t_{rr}$  แล้ว ไทรซิสเตอร์ก็จะสามารถกลับเข้าสู่สภาวะ off ได้อย่างสมบูรณ์ แต่ในกรณีดังเส้นเคิร์ฟ 2 ในรูป 2.14 ก จะเข้าสู่สภาวะ off ไม่ได้

#### คุณสมบัติของ $dv/dt$

กำหนดโวลต์เตจร่วมสภาวะ off เป็น  $V$  การเปลี่ยนแปลงของโวลต์เตจ  $dv/dt$  เมื่อมีค่ามากจนเกินไปแล้วจะมีกระแสไหลชาร์จ  $C$  ซึ่งฟอร์มตัวขึ้นบริเวณว่างเปล่าที่ผิวรอยต่อ ทำให้  $V_{B_0}$  มีค่าต่ำลงจนเกิดการเบรคโอเวอร์ และเป็นสาเหตุทำให้เกิดการทรานส์ที่ผิดพลาดขึ้น

#### ข้อควรคำนึงของวงจรเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 1. วงจรโวลต์เตจและกระแสที่ใช้ทริกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น แม้ไทรซิสเตอร์จะมีค่าพิกัดเหมือนกันก็ตาม อนึ่งถึงโวลต์เตจและกระแสที่ใช้ในการทริก อาจมีค่าที่แตกต่างกันก็ได้ นอกจากนี้แม้ในกรณีที่ไทรซิสเตอร์ที่เหมือนกัน เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปอาจทำให้

ไทรสเตอร์ดังกล่าวมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปด้วย และการทริกให้ไทรสเตอร์ทำงานนั้นบางครั้งอาจทำได้และบางครั้งอาจทำไม่ได้ ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นกรณีใดก็ตาม จำเป็นที่ต้องป้อนโวลต์เตจและกระแส ในลักษณะที่สามารถทริกให้ไทรสเตอร์ทำงานได้ โวลต์เตจและกระแสดังกล่าวนี้มีชื่อเรียกตามลำดับว่า โวลต์เตจสูงสุดที่ใช้ทริก และกระแสสูงสุดที่ใช้ทริก สำหรับขาเกตนั้นเมื่อเทียบกับขั้วแอนโอดและคาโทดแล้วจะมีขนาดเล็กกว่ากันมาก เพื่อไม่ให้เกิดการเสียหายที่ขาเกตจึงต้องมีการกำกับโวลต์เตจและกระแสให้มีค่าต่ำกว่ากำหนดเสมอ โวลต์เตจและกระแสนี้มีชื่อเรียกว่า โวลต์เตจสูงสุดที่ทริกได้ และกระแสสูงสุดที่ทริกได้ นั่นคือ ในการทริกที่ขาเกตนั้นจะต้องป้อนโวลต์เตจและกระแสให้มีค่าที่มากกว่าโวลต์เตจและกระแสที่ใช้ทริกได้

2. ความกว้างของกระแสเกต

ขนาดความกว้างของสัญญาณพัลส์ อย่างน้อยต้องมีขนาดสูงกว่าช่วงเวลา turn on ของไทรสเตอร์ขึ้นไป นอกจากนั้นแล้วช่วงที่ต้องการให้ไทรสเตอร์นำกระแสเกตในขณะนั้นต้องมีค่าคงที่

3. การซิงค์สัญญาณเกต

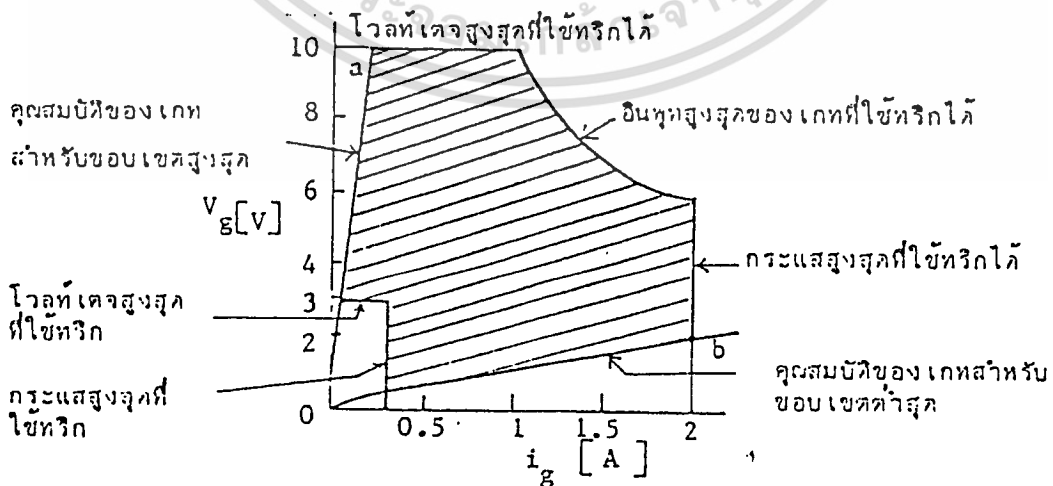
ในกรณีที่ทำการควบคุมการทำงานด้วยมุมทริกโดยที่ซิงค์พลาซที่ป้อนให้ไทรสเตอร์เป็น AC นั้น

ก. ต้องสามารถปรับมุม  $\alpha$  ได้อย่างอิสระ

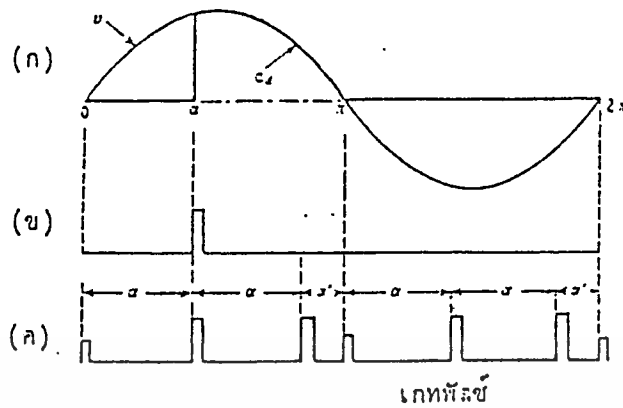
ข. ซิงค์พลาซโวลต์เตจและสัญญาณเกตถ้ารักษาไว้ให้มีความสัมพันธ์ดังรูป 2.14-ข

จะเป็นการดีที่สุด

ค. แม้ในกรณีที่มีพัลส์ของสัญญาณเกตเข้ามาอีกในลักษณะ ดังรูป 2.15 ก็ไม่ทำให้การทำงานของวงจรเปลี่ยนไป การรักษาความสัมพันธ์ทางเฟสระหว่างซิงค์พลาซโวลต์เตจ และพัลส์ของสัญญาณเกตมีลักษณะดังรูป 2.15 ในทุกๆ ไซเคิลนี้เรียกว่าการซิงค์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.15 พื้นที่ปลอดภัยของขาเกต เป็นเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 มุมทริกของเกตฟิลล์

4. การป้องกันการทริกที่ผิดพลาด

เพื่อไม่ให้วงจรทำการทริกจากสัญญาณรบกวนจะต้องจำกัดสัญญาณรบกวนนี้ ให้มีระดับต่ำกว่าโวลต์เตจต่ำสุดที่สามารถใช้ทริกให้ไทรสเตอร์ทำงานได้ โดยอาจใช้ขามิลล์ค้อออกจากขาเกต (โดยทั่วไปโวลต์เตจที่ไม่สามารถทริกให้ทำงานได้จะมีค่าต่ำกว่า 0.3 V )

ในวงจรเรกติไฟร์เมื่อคำนึงถึงมุมโอเวอร์แลป จะได้เอาต์พุทโวลต์เตจเฉลี่ย  $E_{d\alpha}$  ในขณะที่ทำการควบคุมด้วยมุม  $\alpha$  ดังนี้

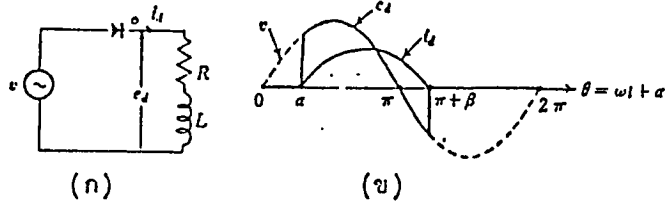
$$E_{d\alpha} = E_{d0} \cos\alpha$$

จากสมการจะเห็นว่าค่าเอาต์พุทโวลต์เตจเฉลี่ย  $E_{d\alpha}$  จะไม่ขึ้นกับลักษณะรูปร่างของกระแส DC เลข  $E_{d0}$  ในสมการนั้นคือ โวลต์เตจ DC ทางด้านเอาต์พุท ขณะที่มุมควบคุม  $\alpha = 0$  สำหรับวงจรจริงในทางปฏิบัติ ในลักษณะเช่นนี้ของวงจร เมื่อมุม  $\alpha$  มีค่ามากพอ กระแส  $i_d$  จะมีลักษณะไม่ต่อเนื่อง ซึ่งสมการจะใช้ไม่ได้

2.2.8 วงจร 1φ half wave rectifier

จากวงจร เมื่อไทรสเตอร์นำกระแส จะได้สมการคิฟเฟอเรนเชียลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อิ  $Ri_u + di_u/dt = 2Vsine(wt+\alpha)$  เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 วงจร half wave rectifier

เมื่อแก้สมการจะได้  $i_d$  ดังนี้

$$i_d = (\sqrt{2}v/z) (\sin(\omega t + \alpha - \gamma) - \sin(\alpha - \gamma)) e^{-Rt/L}$$

โดยที่

$$z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$x = \omega L$$

$$= \tan^{-1} X/R$$

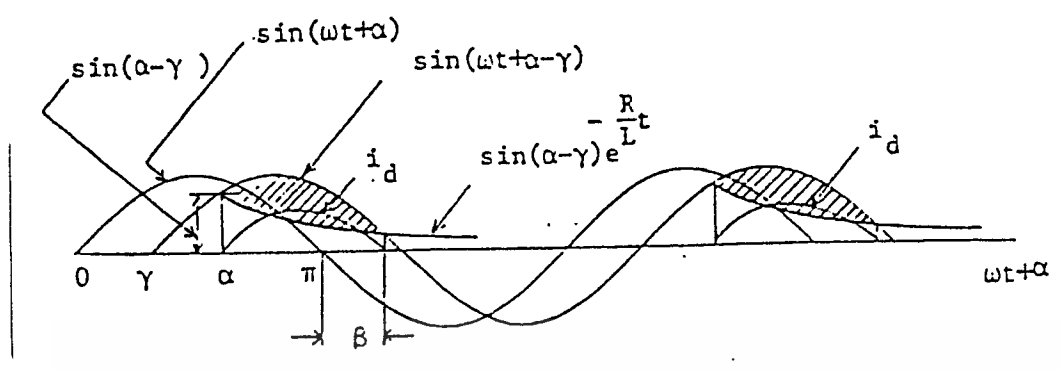
ความสัมพันธ์ระหว่างมุมควบคุม  $\alpha$  และ  $\gamma$  จะมี 3 ลักษณะ

1.  $\alpha > \gamma$
2.  $\alpha = \gamma$
3.  $\alpha < \gamma$

ลองพิจารณากระแส  $i_d$  ของทั้ง 3 กรณี โดยใช้สมการเป็นหลักและเพื่อความสะดวกกำหนดให้

$$2V/Z = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เขียนขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ลักษณะกระแส  $i_d$  กรณี  $\alpha > \gamma$

เมื่อพิจารณาในรูป 2.18 ลักษณะของเคิร์ฟ  $i_d$  เฉพาะส่วนที่เป็นบวกจะได้จากผลต่างระหว่างสมการของ  $\sin(\omega t + \alpha - \gamma)$  และ  $\sin(\alpha - \gamma)e^{-\frac{R}{L}t}$  ซึ่งแสดงไว้ด้วยส่วนที่แรเงาในช่วงที่ 2 ของมุม จาก  $2\pi + \alpha$  ถึง  $2\pi + \beta$  นั้นจะมีเหตุการณ์คล้ายกับในช่วงแรก มุม  $\beta$  ที่ได้ จะมีความสัมพันธ์กับมุม  $\alpha$  และ ดังนี้

$$\alpha > \gamma > \beta$$

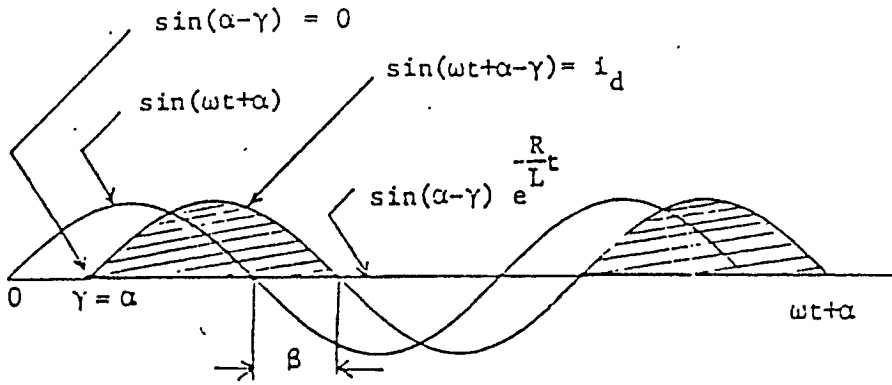
2. กรณี  $\alpha = \gamma$

เส้นเคิร์ฟ  $i_d$  ในกรณีนี้พิจารณาคล้ายกับกรณีที่ 1 ซึ่งเฉพาะกรณีนี้เท่านั้นที่จะได้เคิร์ฟเป็นไซน์เวฟพอดี โดยที่

$$i_d = \sin(\omega t + \alpha - \gamma) = \sin \omega t$$

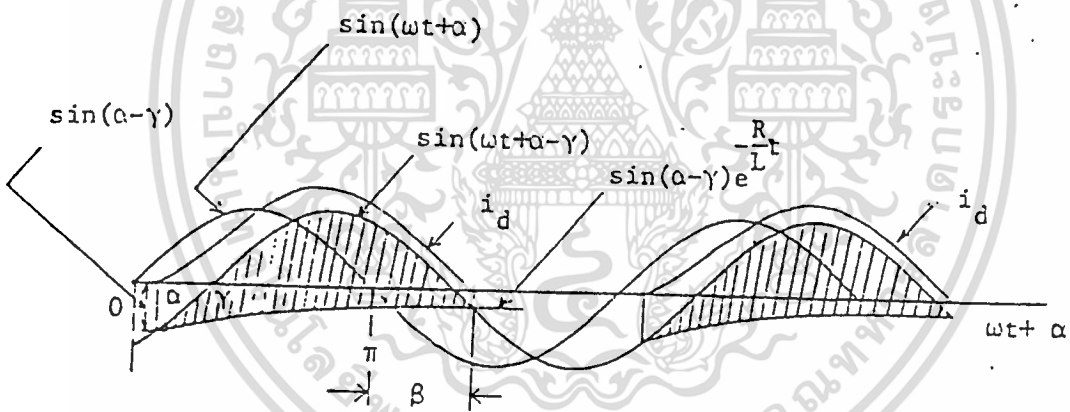
และจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างมุม  $\alpha$   $\gamma$   $\beta$  คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ลักษณะกระแส  $i_d$  กรณี  $\alpha = \beta$

3. กรณี  $\alpha < \beta$



รูปที่ 2.20 ลักษณะกระแส  $i_d$  กรณี  $\alpha < \beta$

เส้นเคิร์ฟ  $i_d$  ในกรณีนี้เช่นเดียวกัน นิยามเหมือนกรณี 1 และ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุม  $\alpha$   $\beta$   $\gamma$  ที่ได้คือ

$$\alpha < \gamma < \beta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

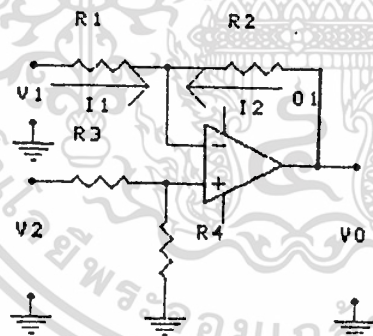
## 2.3 OP Amp

### 2.3.1 Instrumentation Amp

instrument amp เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบหนึ่งที่ใช้วัดสัญญาณจากทรานสดิวเซอร์ โดยสัญญาณที่รับมานั้นจะถูกขยายได้โดยไม่ผิดเพี้ยนและมีความถูกต้องสูง การพัฒนา instrument Amp ให้ใช้ทำงานได้ก็ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. อิมพีแดนซ์ทางเข้ามีค่าเป็นอนันต์
2. กระแสออฟเซ็ททางเข้า และแรงดันออฟเซ็ททางเข้ามีค่าเป็น 0
3. อัตราการขยายมีค่าเป็นอนันต์

ในเครื่องมือวัดส่วนใหญ่ก็มีการปรับซีโร เพื่อเป็นการกำหนดจุดเริ่มต้นของการวัด และขณะเดียวกันการปรับแอสป็น ก็คือการปรับอัตราขยายเพื่อให้ทราบถึงค่าสูงสุดที่ได้จากการวัด จากหลักการทั้งสอง พบว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับออฟเซ็ททางเข้า และอัตราขยายของ instrument Amp หลักการขยายของวงจร instrument Amp จึงเริ่มจาก differential Amp



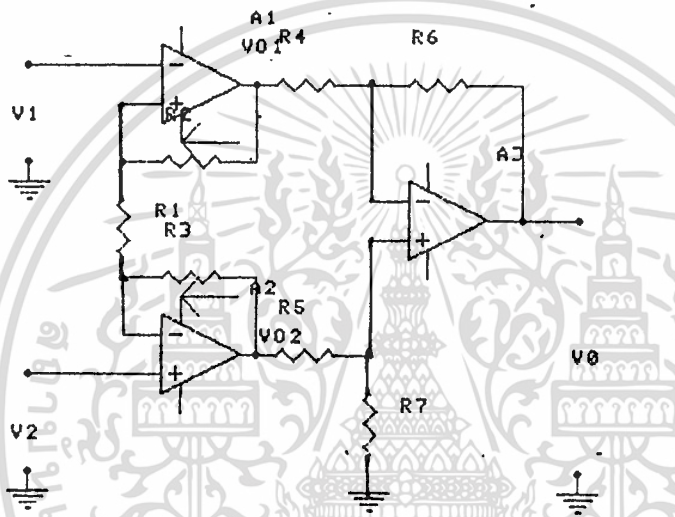
รูปที่ 2.21 วงจร instrument Amp

จากวงจรพบว่าถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $R_1 = R_2$  และ  $R_3 = R_4$  เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าจะได้ว่า ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o = V_2 - V_1 \quad (\text{รายละเอียดแสดงในภาคผนวก})$$

จากรูปที่ 2.21 วงจรจะยังไม่สามารถทำงานได้ดีถ้านำไปขยายสัญญาณขนาดต่ำๆ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มภาคขยายให้กับวงจร และในขณะเดียวกันด้านทางเข้าของวงจรทั้ง 2 ด้านจะต้องมีอินพุตแชนจ์สูงมากด้วย วงจรจึงกลายเป็นวงจรดังรูป 2.22



รูปที่ 2.22

วงจร instrument amp ที่สามารถใช้งานได้จริง

จากรูป ความสัมพันธ์  $V_o$  กับ  $V_{o1}$  และ  $V_{o2}$  เมื่อกำหนดให้

$$R_2 = R_3 = R \quad \text{และ} \quad R_4 = R_5 = R_6 = R_7$$

พบว่า

$$V_o = (1 + 2R/R_1) \cdot (V_2 - V_1) \quad (\text{รายละเอียดแสดงในภาคผนวก})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากสมการที่ได้จะเป็นสมการการทำงานของวงจร instrument amp ซึ่งสามารถใช้งานได้จริง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดแบบสิ่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ซึ่งเราสามารถปรับ span ได้จาก  $R_1$  และปรับ offset ของวงจได้จาก  $R_7$

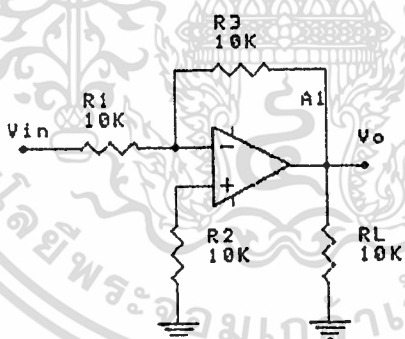
### 2.3.2 วงจรขยายกลับเฟส

โดยทั่วไปวงจรรขยายจะหมายความถึง วงจรที่มีค่าอินพุตน้อยๆ มาเป็นสัญญาณเอาต์พุตขนาดสูงกว่า เดิม ซึ่งสัญญาณที่ได้อาจเป็นทั้งแรงดันและกระแส วงจรรขยายในออปแอมป์จะมีอัตราขยายสูงมาก และ ในอุดมคติจะมีอัตราส่วนการขยายคงที่อยู่เสมอ ในรูปที่ 1 เป็นวงจรรขยายกลับเฟสแบบมาตรฐานซึ่งเป็น วงจรป้อนกลับแบบลบ โดยนำเอาต์พุตที่กลับเฟสมาป้อนกลับกับอินพุตอีกที ซึ่งวงจรรภายในออปแอมป์จะ พยายามปรับเอาต์พุตจนกระทั่งความต่างศักย์ระหว่างอินพุตมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แต่ไม่เท่ากับศูนย์

จากสมการอัตราขยายแรงดัน  $A_v = V_{out} / V_{in}$  เราจะพิสูจน์ได้ว่า ค่าอัตราขยาย แรงดัน  $A_v$  ของออปแอมป์เมื่อใช้ในโหมดของลูปปิด จะสามารถหาได้ด้วยสมการ

$$A_v = -R_f / R_{in}$$

พิจารณาวงจรในรูป 1 และหลักการของออปแอมป์ คือ ความต่างศักย์ระหว่างอินพุตเท่ากับศูนย์ กระแสเข้าอินพุตใดๆ เท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.23 วงจรรขยายกลับเฟส

$$I_{in} = V_{in} / R_{in}$$

$$I_f = -V_{out} / R_f$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
เนื่องจาก

$$I_{in} = I_f$$

ดังนั้น

$$V_{in}/R_{in} = -V_{out}/R_f$$

ได้

$$A_v = V_{out}/V_{in} = -R_f/R_{in}$$

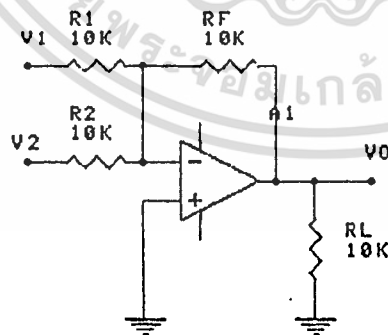
$$V_{out} = -R_f V_{in}/R_{in}$$

ซึ่งเครื่องหมายลบแสดงการกลับเฟสของเอาต์พุตเทียบกับอินพุต

### 2.3.3 วงจร SUMMING

แสดงวงจร ดังวงจรดังรูป 2 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ผลรวมทางพีชคณิตของขาที่ไหลเข้าอินพุตเท่ากับค่ากระแสที่ไหลออกจากอินพุต

นั่นคือ



รูปที่ 2.24 วงจรผลบวกแรงดัน

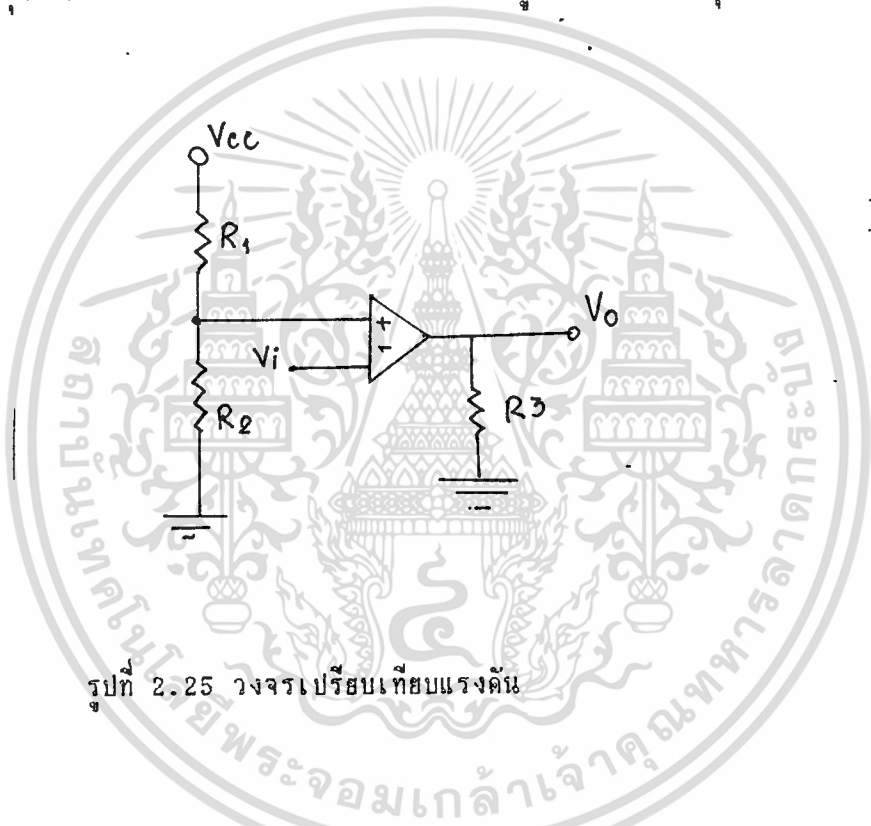
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น  $V_{out} = -I_f/R_f = -(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)R_f$  เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_1 = R_2 = R_n = R_f$$

$$V_{รวม} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

### 2.3.4 วงจร comparater

การทำงานเป็น comparater ขณะเปิดคูลิปนั้น ออปแอมป์จะสามารถเปรียบเทียบแรงดันระหว่างสัญญาณของอินพุตทั้งสองได้ เมื่อแรงดันที่ขั้วลบมีค่าเป็นบวกสูงกว่าแรงดันอินพุตที่ขั้วบวก สัญญาณที่เอาต์พุต



รูปที่ 2.25 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

จะเป็นลบ และมีขนาดเกือบเท่า  $-V_{cc}$  จากแหล่งจ่ายไฟ เมื่อแรงดันที่ขั้วลบต่ำกว่าแรงดันที่ขั้วบวก แรงดันที่เอาต์พุตจะมีขนาดเกือบเท่า  $V_{cc}$  เนื่องจากค่าอัตราขยายออปแอมป์มีค่าสูงมาก แต่ก็ขึ้นกับชนิดของออปแอมป์ที่ใช้ด้วย ซึ่งในวงจรที่ใช้งาน ใช้ LM311 ซึ่งใช้ไฟเลี้ยง  $\pm V_{cc}$  แต่มีค่าการสวิงเป็น 0 ในกรณีแรงดันที่ขั้วอินพุตบวกน้อยกว่าแรงดันที่ขั้วอินพุตลบ และมีการสวิงที่  $+V_{cc}$  เมื่อแรงดันที่ขั้วอินพุตบวกมากกว่าแรงดันที่ขั้วอินพุตลบ

ซึ่งจากคุณสมบัติของ comparater นี้ เราจะนำมาใช้เป็นตัวตรวจวัดสัญญาณรูป sine โดยให้สัญญาณรูป sine ซึ่งผ่านไดโอด 2 ตัวเข้ามาที่ขั้วบวกและแรงดันอ้างอิงที่ใช้เทียบซึ่งมีค่าน้อยๆ จะเข้ามาที่ขั้วลบ ซึ่งจากเอาต์พุตที่ได้จะมีรูปร่างเป็น pulse ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.5 คุณสมบัติของออปแอมป์

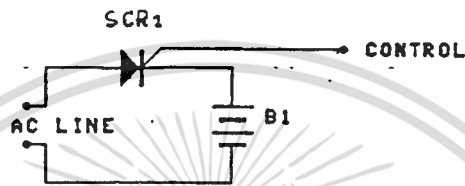
1. input impedance ในทางอุดมคติควรมีค่าเท่ากับอนันต์แต่จริงๆ แล้วจะมีค่าเพียง 1M โอห์ม input impedance นี้มีค่ามากขึ้นเท่าใดออปแอมป์ตัวนั้นก็ทำงานได้ดียิ่งขึ้น ถ้าใช้งานที่ความถี่สูงควรวางค่า input capacitance ด้วย
2. output impedance จะมีค่าน้อยมากซึ่งในทางอุดมคติจะมีค่าเท่ากับศูนย์
3. กระแสไบแอสด้านอินพุต เนื่องจาก input impedance ไม่เป็นอนันต์ จึงมีค่ากระแสอินพุตน้อยๆ ไหลผ่านอินพุตทั้งสองซึ่งค่าเฉลี่ยด้านอินพุตของกระแสจะเรียกว่า กระแสไบแอสด้านอินพุต กระแสนี้จะก่อให้เกิดความไม่สมดุลย์ภายในออปแอมป์ซึ่งจะเป็นผลกระทบต่อดัชนีการวัดด้วยกระแสที่ควรถูกกำจัดโดยให้มีค่าต่ำสุด
4. แรงดันออฟเซตที่เอาต์พุต เกิดขึ้นจากกระแสไบแอสด้านอินพุต ซึ่งในทางอุดมคติเมื่อแรงดันอินพุตระหว่างขาทั้ง 2 เท่ากัน แรงดันที่เอาต์พุตควรมีค่าเป็นศูนย์ แต่โดยทั่วไปมักไม่เป็นเข้านั้นคือ มักมีแรงดันค่าหนึ่งปรากฏที่เอาต์พุตขณะที่อินพุตมีค่าเป็นศูนย์ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้โดยการปรับแรงดันหรือกระแสออฟเซตที่เอาต์พุต และปรับจนได้  $V_{out} = 0$  V
5. กระแสออฟเซตที่อินพุต ในการปรับแรงดันออฟเซตที่อินพุตให้มีค่าเท่ากับศูนย์ กระแสอินพุตทั้ง 2 ขั้วควรมีค่าเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติจะพบว่า เราต้องจ่ายกระแสอินพุตให้ขาหนึ่งมากกว่าอีกขาหนึ่งเสมอ เพื่อทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งกระแสออฟเซตนี้อาจมีค่าประมาณ 20 มิลลิแอมป์
6. ในทางอุดมคติแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ก็ต่อเมื่อ แรงดันระหว่างขาอินพุตมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติ เรามักต้องปรับแรงดันอินพุตค่าหนึ่งแก่ขาใดขาหนึ่ง เพื่อให้เอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์
7. ผลของอุณหภูมิมีผลต่อออปแอมป์ด้วย ซึ่งจะมีผลจากอุณหภูมิทำให้กระแส และแรงดันออฟเซตเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นควรตรวจสอบด้วยออปแอมป์จะมีเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดเล็กน้อยเพียงใด เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปร้อนทำให้ไม่คุ้มค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

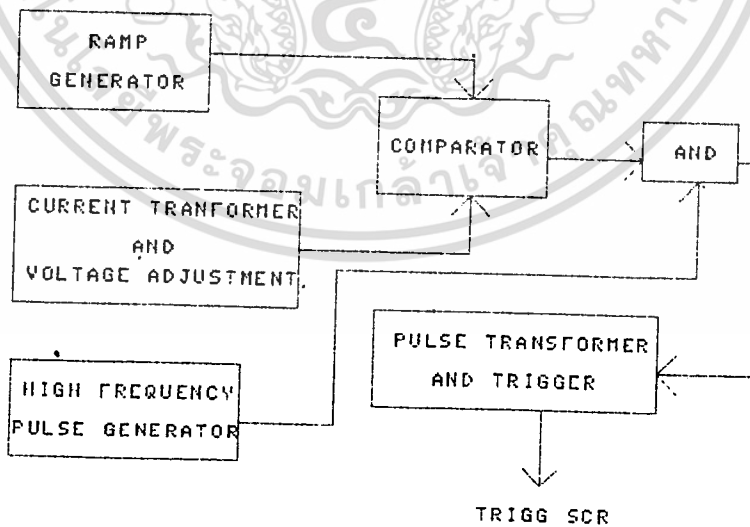
ผลการทดลอง

การชาร์จแบตเตอรี่โดยวิธีการควบคุมเฟสนี้ ได้นำเอาวิธีการควบคุมเฟสของ SCR มาใช้ โดยกำหนดกระแสที่เข้าชาร์จแบตเตอรี่จากการปรับมุมเฟส โดยการปรับค่า R ซึ่งจะสามารถอ่านค่ากระแสที่ชาร์จจากค่า Display ซึ่งในวงจรหลักจะมีดังนี้

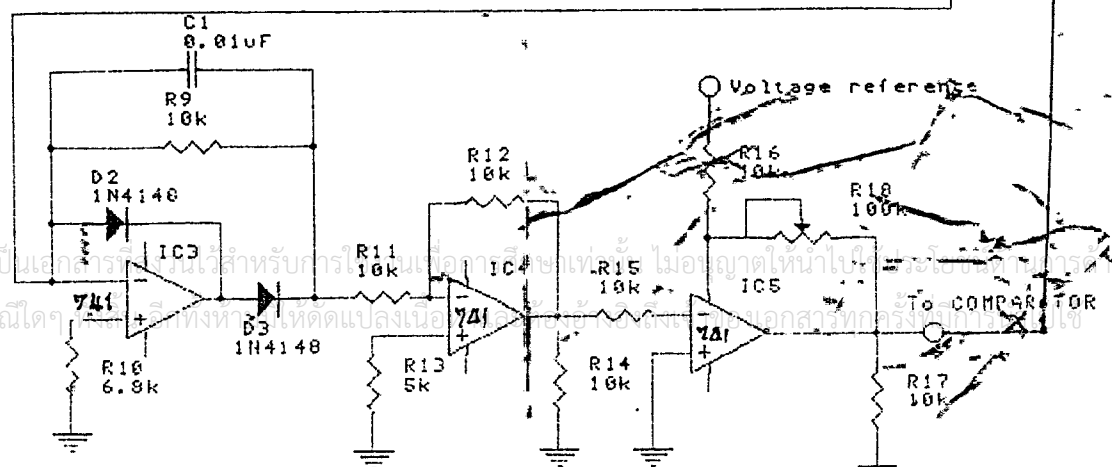
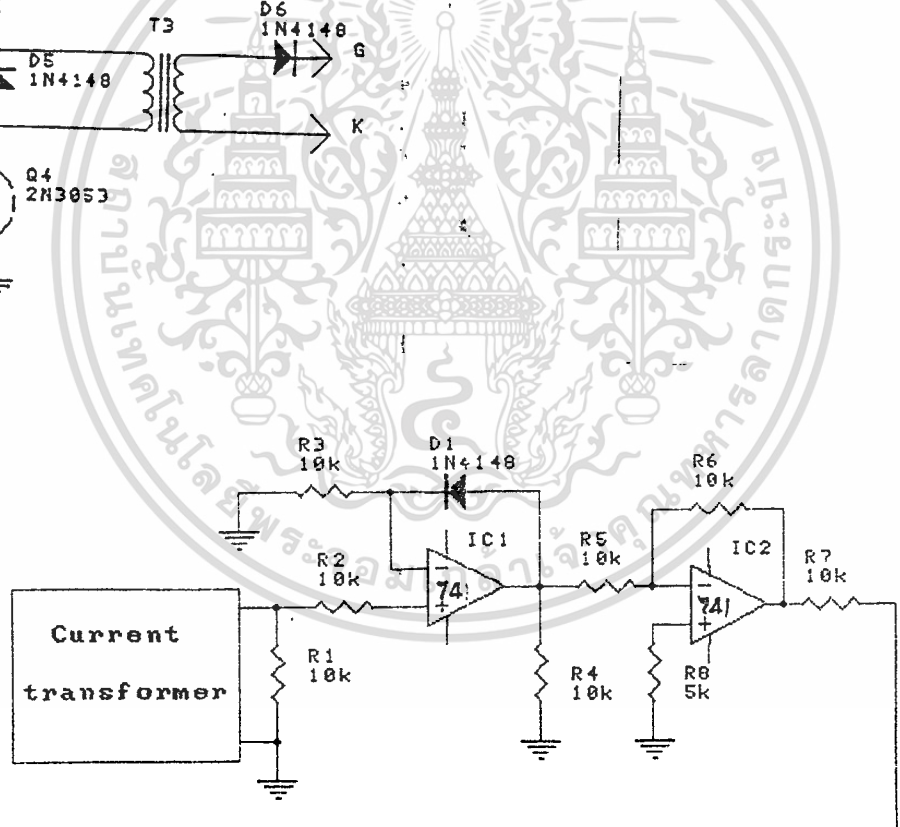
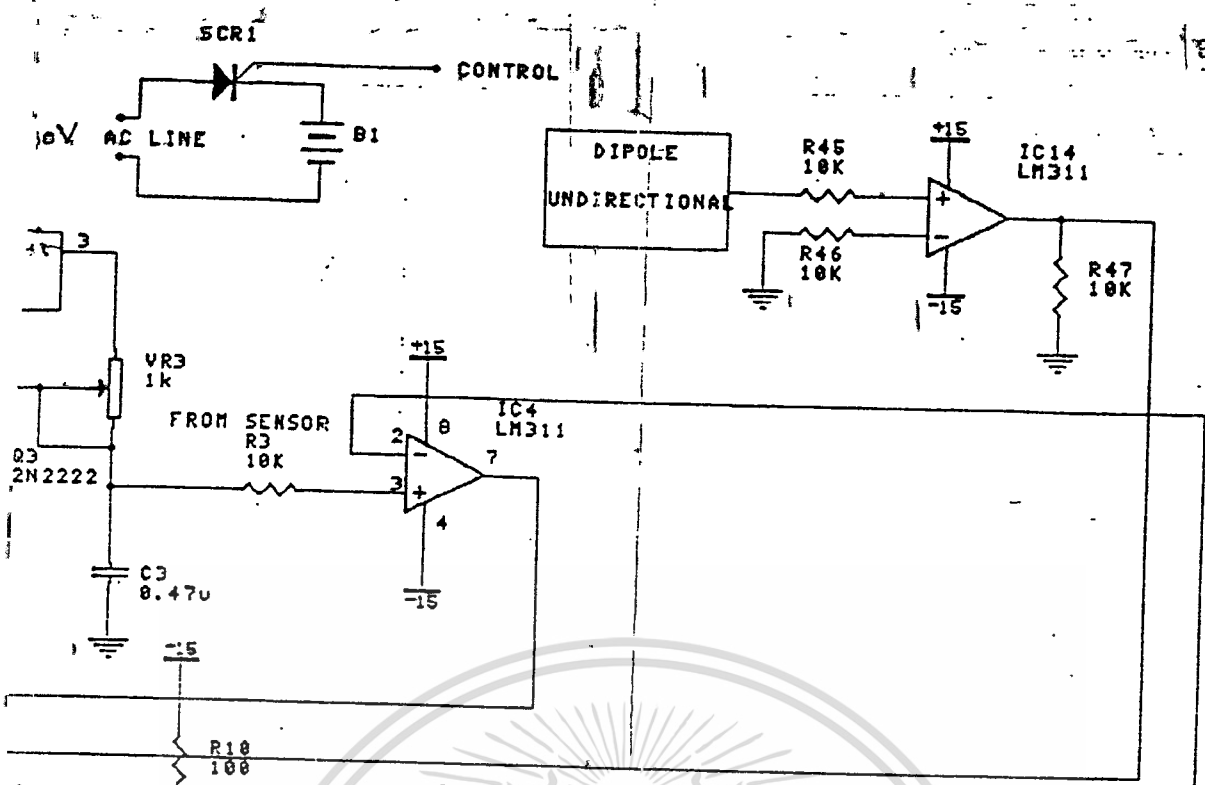


รูปที่ 3.1 วงจรหลักของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่

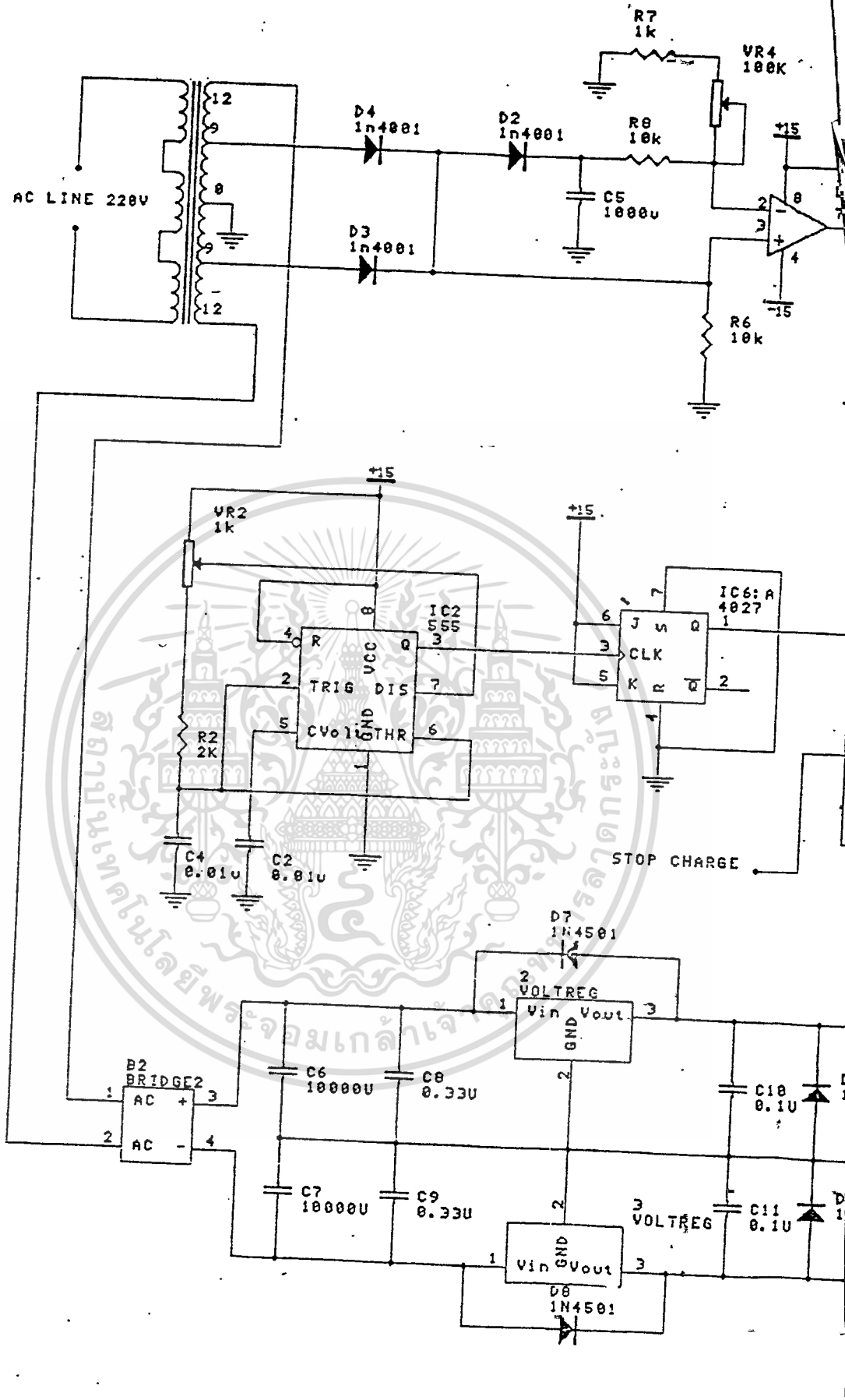
จะประกอบไปด้วยหม้อแปลงขนาด 10 แอมป์ อินพุตทาง primary 220 V<sub>ac</sub> และเอาต์พุตทาง secondary 30 V<sub>ac</sub> จากนั้นจะนำสัญญาณมาเข้า SCR เพื่อปรับระดับกระแสที่เข้าชาร์จแบตเตอรี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.2 block diagram ของวงจร control  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีซูทิงห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงแหล่งที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
เตอร์ ซึ่งจะใช้ชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 V 40 Ah โดยใช้ค่ากระแสที่ชาร์จประมาณ 4 แอมป์ ซึ่งค่ากระแส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด  
 ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าหรือเพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด

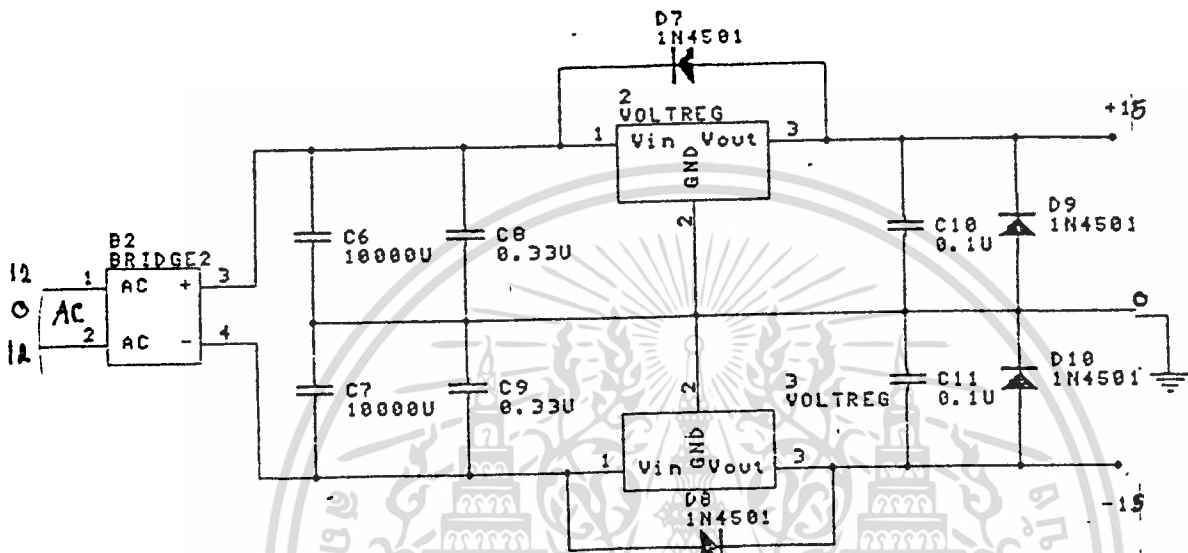


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสที่เข้าซาร์จนี้จะมีลักษณะเป็น pulse halfwave retifier ซึ่งมีสัญญาณที่เข้าไปเป็นรูป sine ครึ่งคลื่นแต่ถ้าถูกทริกที่มุม  $\alpha$  เท่าไร ซึ่งค่ามุม  $\alpha$  นี้ เรียก มุมทริก ซึ่งจะมีความควบคุมมุมทริกของ SCR ดังนั้น จะเขียนเป็น Block Diagram ดังรูปข้างล่างนี้

### 3.1 วงจร Power Supply

วงจร Power Supply จะมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 3.8 วงจร Power supply

หม้อแปลง เป็นวงจรแปลงแรงดันให้ได้ค่าที่ต้องการ อาศัยหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยในทางอุดมคติแล้วหม้อแปลงจะไม่สูญเสียกำลังงาน แต่ในทางปฏิบัติแล้วหม้อแปลงจะสูญเสียพลังงานในหลายทางด้วยกัน เช่น เกิดจากความต้านทานของขดลวด (winding resistance) การสูญเสียที่แกน Core loss , Leage Relvetance ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วยังมีค่าน้อยกว่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้มาก

อัตราทนกำลังสูงสุด (VA Rating) เป็นกำลังงานที่หม้อแปลงสามารถจ่ายออกไปได้สูงสุดอย่างต่อเนื่อง โดยที่ไม่เกิดความร้อนที่ขดลวดของหม้อแปลง

$$\text{Power} = V_{\text{rms}} \times I_{\text{rms}}$$

$$\text{Power} = \text{กำลังงาน (Watt)}$$

$$V_{\text{rms}} = \text{แรงดันไฟฟ้า (Volt)}$$

$$I_{\text{rms}} = \text{กระแส (Ampere)}$$

กำลังงานของหม้อแปลงถูกกำหนดโดยแกนเหล็กและพื้นที่ของขดลวดทองแดง และความหนาแน่นสูงสุดของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนจะเกิดขึ้นที่ศูนย์กลางของแกนตามกฎของฟาราเดย์ซึ่งเขียนเป็นสมการ เอลส์วูมเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าได้ดังนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = 4.44 Nf\phi$$

- E = แรงดันเหนี่ยวนำ
- N = จำนวนรอบขดลวด
- f = ความถี่(Herze)
- $\phi$  = เส้นแรงแม่เหล็ก(Weber)

ซึ่งใช้หม้อแปลงแกนทอรอยด์สำหรับ pulse transformer จะเห็นว่าค่าแรงดันเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นกับความถี่ซึ่งถ้าความถี่สูงจะทำให้ลดขนาดของแกนเหล็กลงจาก

$$\phi = BA$$

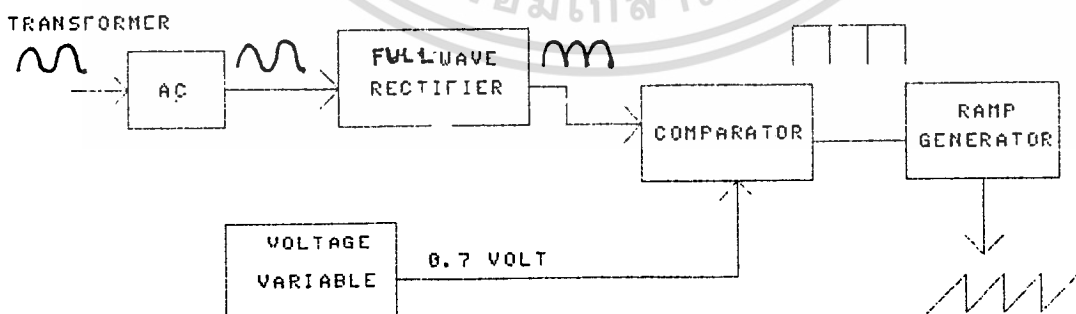
โดย  $A =$  พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

ซึ่งในกรณีที่แรงดันเหนี่ยวนำเท่ากันเราสามารถลดขนาดของแกนเหล็กลงได้โดยเพิ่มความถี่สำหรับทอรอยด์ pulse transformer ทำให้ใช้ขนาดของแกนเหล็กลดลง ซึ่งทำให้ขนาดเบาขึ้น

วงจร Rectifier แบบ fullwave rectifier สัญญาณที่ออกมาเป็นสัญญาณรูป sine ซึ่งจากวงจรควบคุมนี้ต้องการไฟบวกและไฟลบ ซึ่งในวงจรนี้เป็นแบบ full wave center tap ผ่านไดโอดแล้วนำไปเข้า IC regulator เพื่อปรับระดับโดย IC ที่ใช้ จะใช้ 7815 และ 7915 และใช้ C ของสัญญาณ ตอนเข้าวงจร regulator ดังรูป

### 3.2 วงจรสร้างสัญญาณ Ramp

บล็อกแสดงการทำงานของวงจรสร้าง Ramp แสดงได้ดังรูป

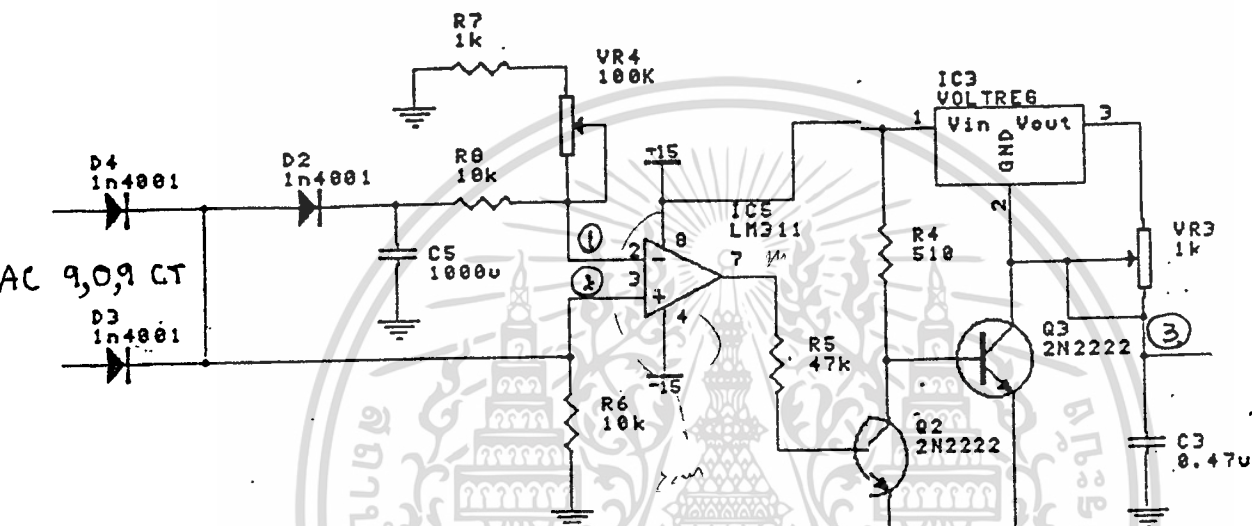


รูปที่ 3.4 บล็อกการทำงานของวงจรสร้าง Ramp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
สัญญาณไฟ AC 220 โวลต์ เข้าหม้อแปลง จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ผ่าน full wave retifier จะ

ได้สัญญาณที่มีเฉพาะขาบวก ซึ่งสัญญาณที่ได้นี้ผ่านเข้าวงจร comperater เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้  
นี้กับวงจรสร้างแรงดัน เพื่อสร้างสัญญาณแรงดันรูปสี่เหลี่ยมที่มีช่วง off สั้นมากออกมา จากนั้นสัญญาณ  
รูปสี่เหลี่ยมที่ได้จะนำเข้าวงจรสร้างสัญญาณ Ramp ความถี่ของสัญญาณ Ramp ก็ได้ จะเท่ากับ 100 Hz

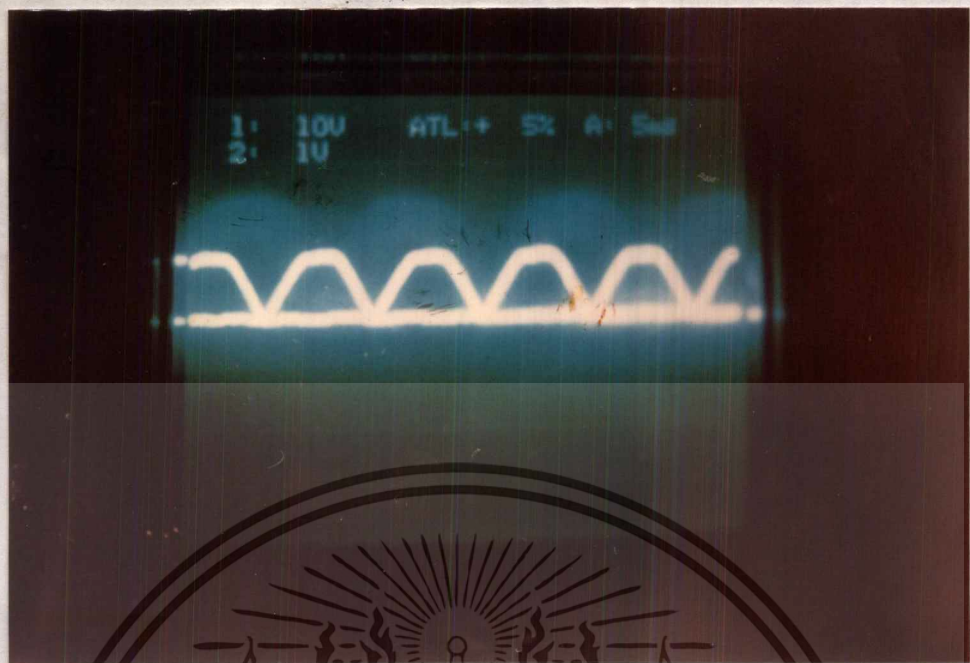
### วงจรการทำงานของ Ramp Generator



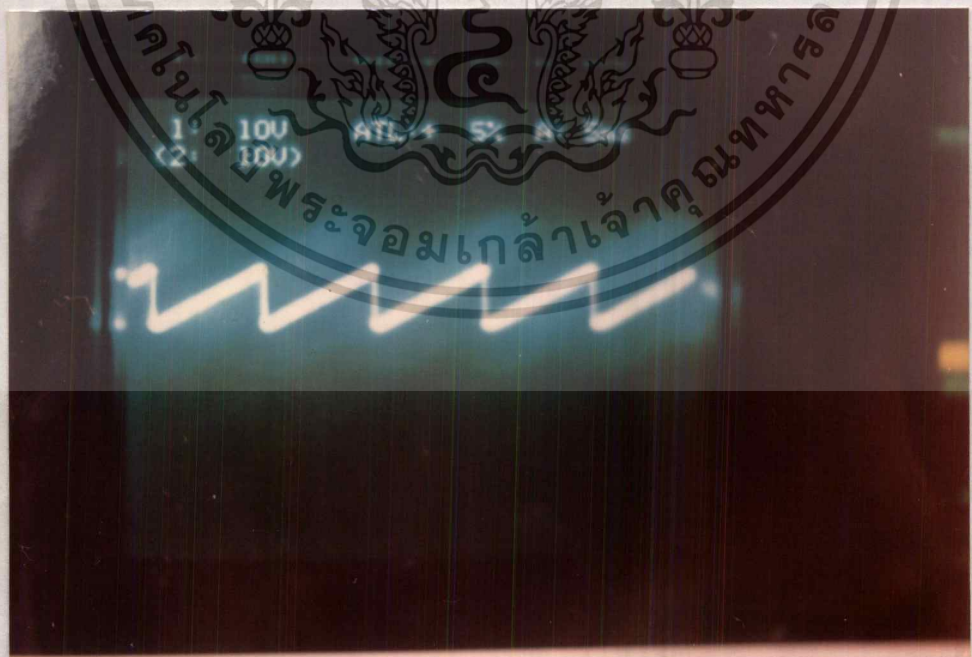
รูปที่ 3.5 วงจรสร้างสัญญาณ ramp

วงจรสร้างสัญญาณ Ramp มีรูปร่างดังรูป 3.5 จากวงจรอธิบายได้ดังนี้ ไฟบ้าน AC 220 V ผ่าน transformer (T<sub>1</sub>) เพื่อแปลงโวลต์เตจจาก 220 โวลต์ เหลือเป็น 9 โวลต์ ทั้งขั้วบวกและขั้วลบ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเข้าไดโอด IN 4001 2 ตัว เพื่อให้สัญญาณเป็นขั้วบวกหมด ซึ่งเรียกววงจรส่วนนี้ว่า full wave center tap เราจะนำสัญญาณที่ได้นี้ไปเข้าขาบวกของ IC LN 311 ซึ่งเป็นออปแอมป์เปรียบเทียบกับแรงดัน ส่วนไฟลบนั้นจะรับแอมแรงดันจาก power supply ผ่าน R จำกัดโวลต์ เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมโดยเข้าที่จุดที่ต้องการจะให้ให้มีสัญญาณบวก 15 โวลต์ และช่วง off มีค่าเป็นศูนย์ โวลต์ซึ่งจะมีช่วง off สั้นมากดังรูป สัญญาณที่ได้นี้จะมีความถี่ 100 เฮิรส์ และ sincronize กับไฟบ้าน ซึ่งสัญญาณที่ออกจากเข้าที่จุดของ LM311 นี้ จะนำไปสร้างสัญญาณ Ramp ต่อไป

ส่วนของวงจรที่สร้างสัญญาณ Ramp นี้จะประกอบด้วย transistor 2 ตัว IC จากกระแสดังที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าอีก 1 ตัว และ C 1 ตัว ซึ่งจะอธิบายการทำงานได้ดังนี้ เมื่อสัญญาณเข้าที่พดลขั้วบวกของสัญญาณที่ได้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำรูปใช้ทำงานจากวงจรเปรียบเทียบกับสัญญาณ ผ่าน R 47 K เข้าไปที่ขา base ของ transistor ตัวที่ 1 จะ



รูปที่ 3.5 ก  
อินพุตที่เข้า LM 311 เพื่อสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม

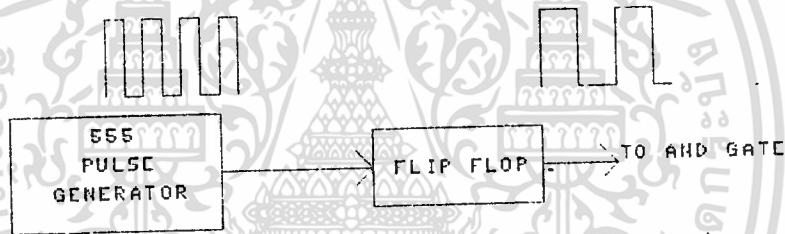


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.5 ข สัญญาณ Ramp

ทำให้  $T_{r1}$  ทำงาน ทำให้กระแสไหลจาก supply + 15 V ผ่าน R 510 โอห์ม เข้าสู่ขา CE ลงกราวด์ โดยไม่มีกระแสไหลไปที่  $T_{r2}$  ทำงานเลย ทำให้  $T_{r2}$  อยู่ในสภาวะ off ไฟที่จ่ายจากแหล่งจ่ายกระแสคงที่ LM 334 จะจ่ายกระแสผ่าน  $V_{cc}$  เข้าสู่ C ซึ่งเราจะปรับค่า R เพื่อให้ได้สัญญาณ Ramp ที่เหมาะในขั้นนี้จะตั้งสัญญาณไว้ที่ 0 กับ +10 โวลต์ ต่อไปเมื่อสัญญาณ pulse - เข้ามา ซึ่งจะไม่มีการแส base ไหลเข้า  $T_{r1}$  ทำให้  $T_{r1}$  อยู่ในสภาวะ off กระแสที่ไหลจาก supply จะเข้าที่ขา base ของ  $T_{r2}$  ทำให้  $T_{r2}$  ทำงาน โดยกระแสไม่ไหลผ่าน junction CE ของ  $T_{r1}$  จากช่วงที่สภาวะที่  $T_{r2}$  ทำงานนี้ ทำให้ C คลายประจุอย่างรวดเร็ว มีค่าชันมากจนเกือบจะกลายเป็นเส้นตั้งฉาก ซึ่งสัญญาณ output ที่ออกมา จะเป็นสัญญาณ ramp ที่มีความถี่ 100 Hz สูง 10 โวลต์

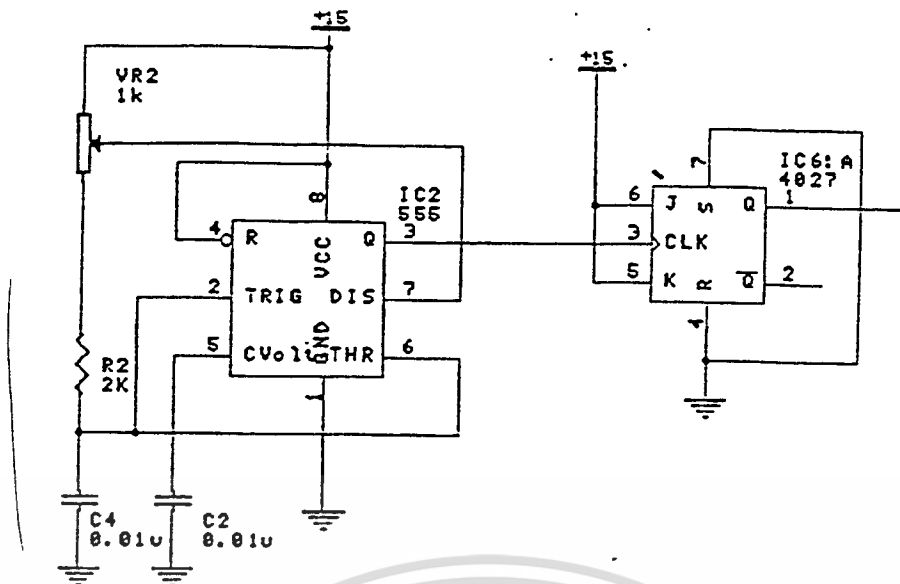
3.3 วงจรสร้าง pulse ความถี่สูง แสดงบล็อกการทำงานดังรูป



รูปที่ 3.6 บล็อกการทำงานของวงจรสร้าง pulse ความถี่สูง

IC 55 สร้างความถี่สูงในขั้นนี้จะมีค่าประมาณ 300 KHz จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ผ่านเข้าวงจร flip-flop เพื่อปรับปรุงสัญญาณซึ่งสัญญาณที่เราได้จะเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่มี duty cycle = 1/2 จากนั้นนำสัญญาณที่ได้เข้าสู่วงจร And gate เพื่อนำไป and กับสัญญาณอื่นๆ เพื่อนำไปควบคุมการทริกของ SCR ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

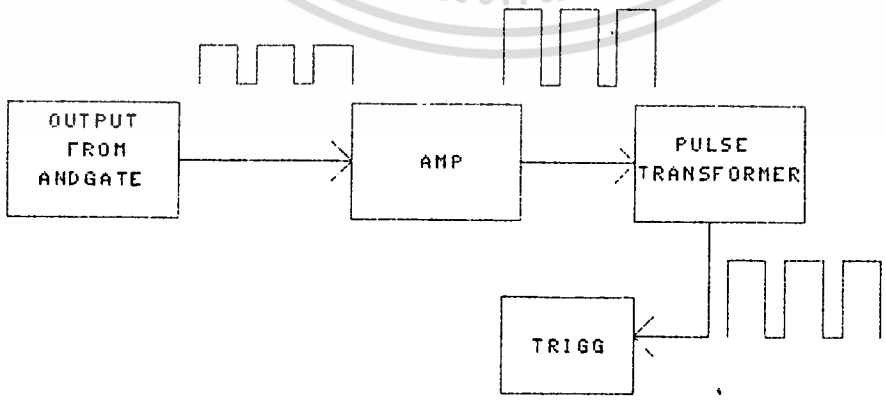


รูปที่ 3.7 รูปแสดงวงจรสร้าง pulse ความถี่สูง

วงจรสร้าง pulse ความถี่สูง จะเริ่มจากวงจรอสเตเบิล ของ IC 555 เป็นวงจรสร้างความถี่ซึ่งสามารถปรับค่าความถี่โดยใช้ค่า  $V_{R2}$ ,  $R_2$  และ  $C_4$ ,  $C_2$  ซึ่งในที่นี้จะปรับความถี่ให้ได้ประมาณ 375 KHz จากนั้นนำค่าที่ได้ผ่าน IC 4027 B เพื่อทำให้สัญญาณที่ได้มีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น โดยจะทำให้สัญญาณทั้งขาขึ้นและขาลงมีค่าเท่ากัน คือ duty cycle = 1/2 โดยมีหลักการทำงานดังนี้ IC 4027 B รับสัญญาณในทุกๆ ขาขึ้นของสัญญาณ โดยที่สัญญาณขาขึ้นนั้นในสัญญาณแรกสัญญาณเข้าที่พุดที่ออกมาจะเป็นรูปสัญญาณบวกและสัญญาณต่อมาจะมีค่าเท่ากับศูนย์ (สัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีค่าเป็น + , 0 ) เป็นเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ ซึ่งสัญญาณ IC 4027 B นี้ จะทำงานเป็น flip-flop เราจะได้อิสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมออกมา ซึ่งเราจะนำสัญญาณนี้เข้าสู่วงจร and gate ต่อไป

3.4 Pulse transformer and trigger

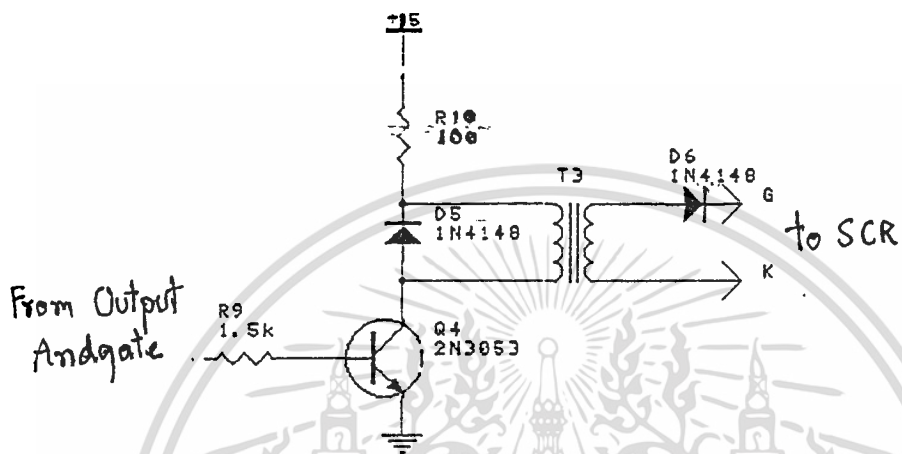
มีบล็อกการทำงานดังรูป



รูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า block การทำงานของ pulse transformer and trigger ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เอาต์พุตที่ออกมาจาก and gate จะเข้าวงจรขยายสัญญาณ ให้มีขนาดพอที่จะทริก SCR ได้

จากนั้นนำสัญญาณที่ได้เข้า pulse transformer เพื่อแยกกราวด์ออกจากวงจรควบคุม (เพื่อป้องกันไฟ จากวงจรหลักรั่วเข้ามาทำลายวงจรควบคุม) จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปทริก SCR ต่อไป



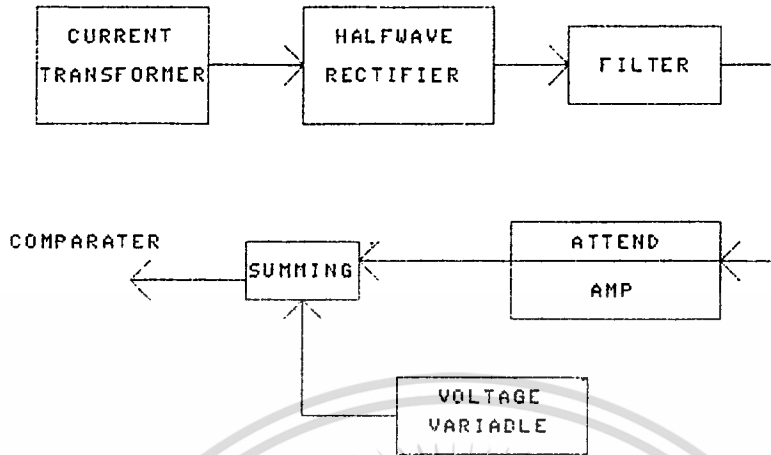
รูปที่ 3.9 รูปแสดงวงจรของ pulse transformer and trigger

สัญญาณเอาต์พุตจาก and gate IC 4081 จะผ่าน R 1.5 K เพื่อเข้าทริกให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ถ้าพัลส์ช็อกบวกเข้ามาจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานเมื่อกระแสไหลผ่าน R 100 โห้ห์ม ผ่านขดลวด pulse transformer ทางด้าน primary ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดกระแสไหล ทางด้าน secondary ซึ่งในวงจรนี้จะพันด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 13 จะได้กระแสทริกดังนี้

$$\begin{aligned}
 V_{cc} - IR_{pri} &= 0.6 \\
 I_{pri} &= V_{cc}/R - 0.6 \\
 &= 15 / 100 - 0.6 \\
 &= 150 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

ซึ่งจะได้กระแสทางด้าน secondary ประมาณ 50 มิลลิแอมป์ pulse transformer เป็น transformer ชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้ความถี่สูงมากกว่าปรกติโดยแทนที่จะใช้แกนเหล็กจะใช้แกนทอไรด์แทน ซึ่งถ้าใช้แกนเหล็กธรรมดาจะทริก SCR ไม่ได้ เพราะว่าแกนเหล็กจะเกิดการอิ่มตัวเมื่อความถี่สูงมากขึ้น ความถี่ขนาด 105 K แกนเหล็กจะไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากเกิดการอิ่มตัวก่อน ซึ่งถ้าพอศึกษาหลักการการทำงานแล้วจะมีหลักการทำงานเหมือนกับหม้อแปลงธรรมดาทุกประการ เพียงแต่ใช้งานในด้านความถี่สูงเท่านั้น ซึ่งจะมีผลทำให้จ่ายค่ากระแสหรือค่าพลังงานได้มากขึ้นในขณะที่พื้นที่หน้าตัดเท่าๆ กัน

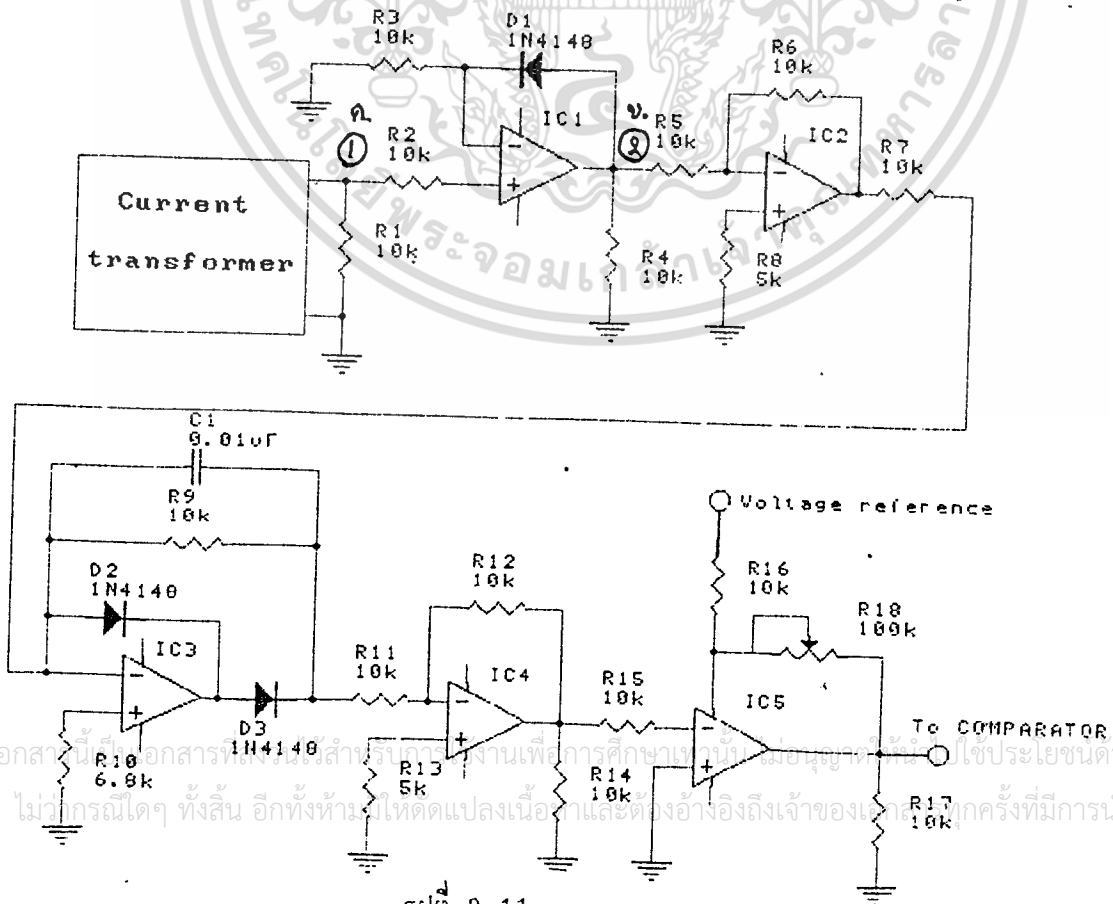
3.5 Current transformer and voltage adjustment



รูปที่ 3.10

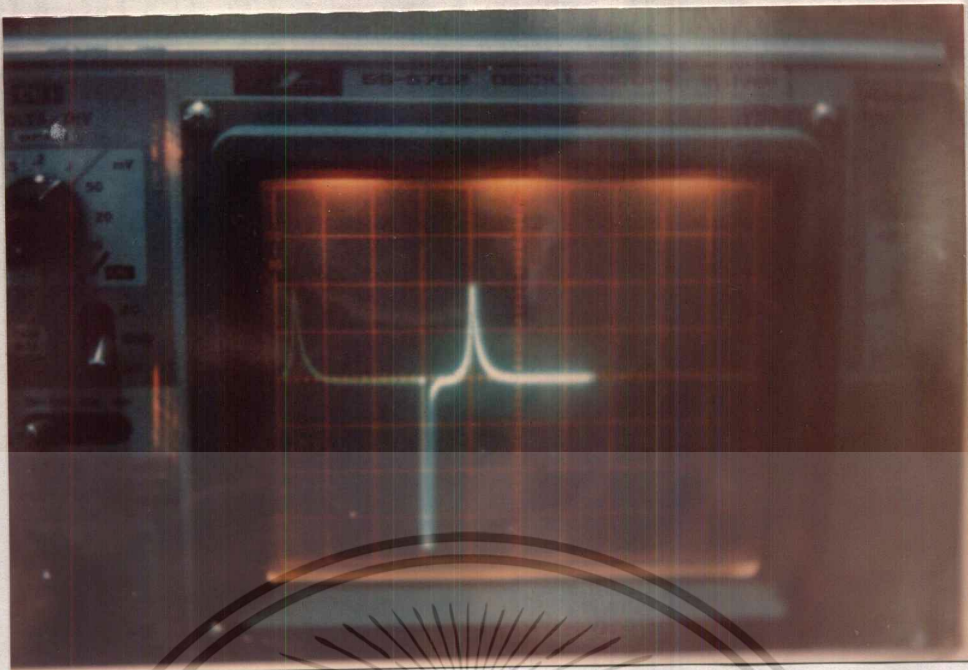
บล็อกแสดงการทำงานของ current transformer and voltage adjustment

current transformer จะตรวจจับกระแสที่เข้าขารุ่นเบดเตลอร์จากนั้นจะเข้าวงจร half wave retifier เพื่อกำจัดไฟลบทิ้งไป แล้วนำไปเข้าวงจร filter เพื่อกรองผลสัญญาณ จะได้ DC ออกมาค่าหนึ่ง นำไป attend or amplifier เพื่อเป็นการปรับเกนของ loop นำไปรวมกับระดับแรงดันที่สร้างขึ้นมาเพื่อไป compare กับวงจร Ramp เพื่อนำไปทริก SCR ต่อไป



รูปที่ 3.11

รูปแสดงวงจรการทำงานของ current transformer and voltage adjustment



รูปที่ 3.11 ก สัญญาณที่ออกจาก Current transformer



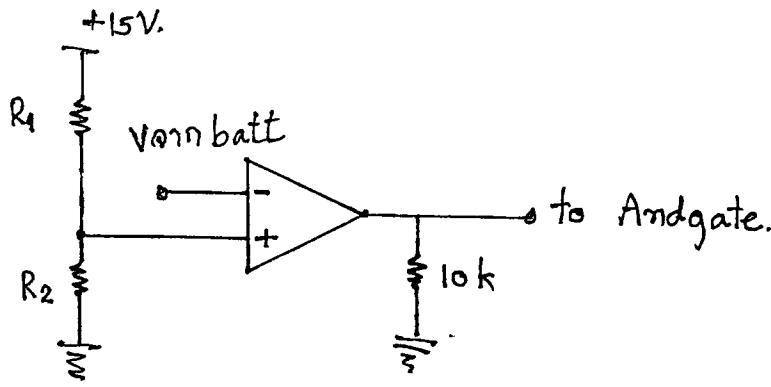
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.11 ข  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 สัญญาณที่ออกจาก Halfwave rectifier

มีลักษณะการผันเหมือนหม้อแปลงธรรมดาโดยทางด้าน primary จะเป็นเส้นลวดที่มีกระแสที่ต้อง การวัดไหลผ่าน ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลทางด้าน secondary current transformer จะ เปิดทางด้าน secondary ไม่ได้ จะต้องมีกระแสไหลของกระแสตรงก็จะทำให้ coil ไหม เนื่องจาก โวลต์เตจทางด้าน primary สูงเกินไป กระแสที่ออกมาจาก current transformer จะเป็น อัตราส่วนโดยตรงกับกระแสที่ไหลผ่านเส้นลวด โดยกระแสที่ไหลทางด้าน secondary จะผ่าน R 10 โยห์ม แล้วนำไปเข้าวงจร half wave rectifier โดยใช้ไดโอดแบบครึ่งวงเดียว เพื่อ กรองเอาเฉพาะสัญญาณซีกบวกของ current transformer จากนั้นนำไปเข้าวงจร filter กรอง แรงดันที่ไม่เรียบให้เป็นสัญญาณ DC ที่ขนาดของสัญญาณแปรผันตรงกับขนาดกระแสที่ไหลในขดลวด เรา สามารถปรับค่าสัญญาณ DC ให้ match กับค่า digital voltmeter display โดยการใช ้ วงจรขยายหรือลดทอนสัญญาณ DC voltage ของออปแอมป์และในสัญญาณเดียวกันนี้เข้าไปเข้าวงจร summing เพื่อรวมเข้ากับสัญญาณที่สร้างขึ้นจากการปรับโวลต์เตจโดยการปรับ R ซึ่งระดับโวลต์เตจที่ได้ นี้จะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณกับวงจร Ramp generator เพื่อนำไปใช้ทริก SCR ต่อไป จะเห็นว่าสัญญาณโวลต์เตจที่ใช้ในการ compare กับสัญญาณ ramp นั้นประกอบด้วยสัญญาณโวลต์เตจที่สร้างขึ้นกับสัญญาณโวลต์เตจที่ขึ้นอยู่กับอัตรากระแสไหลเข้าชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งจะนำมา + - กัน แล้วนำสัญญาณที่ได้ไป compare ซึ่งจะมีลักษณะเป็นสัญญาณบ่อนกลับ โดย current transformer ซึ่งถ้าระดับโวลต์เตจที่ ตรวจจพบมีค่าน้อย แสดงว่ากระแสที่ไหลเข้าชาร์จมีค่าน้อย ซึ่งค่านี้จะนำไปรวมกับระดับโวลต์เตจที่ตั้งไว้ ซึ่งจะมีค่าน้อยลงจากระดับปรกติมีผลทำให้มุมทริกมีค่าลดลง เพื่อจะทำการเริ่มกระแสที่ชาร์จต่อไป ถ้ากระแสที่ชาร์จแบตเตอรี่มีค่ามาก จะทำให้กระแสที่ตรวจจพบได้จาก current transformer มีค่ามาก ทำให้ระดับสัญญาณโวลต์เตจมีค่ามากตามไปด้วย เมื่อนำไป summing กับระดับโวลต์เตจที่ตั้งไว้เพื่อนำไป compare กับสัญญาณ ramp จะทำให้มุมทริกมีค่ามากขึ้น เป็นผลทำให้กระแสที่เข้าชาร์จมีค่าลดลง ซึ่งจะเป็นการป้องกันคือลิมิตกระแสได้ในระดับหนึ่ง

### 3.6 Unidirectional Dipole

เป็นวงจรตรวจแรงดันว่าแบตเตอรี่ทำการชาร์จนั้นต่อถูกขั้วหรือไม่เพื่อป้องกันความเสียหายของ แบตเตอรี่ ได้นำเอาวงจร comparater โดยใช้ ออปแอมป์ LM 311 มาใช้โดยที่ขาจะรับ V จากแบตเตอรี่นำมาเข้าที่ขาลบของออปแอมป์ ถ้าต่อขั้วแบตเตอรี่ถูกต้องจะมีไฟบวกประมาณ 13 โวลต์ ไปเข้า IC 4081 and gate ทำให้แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะชาร์จตามปรกติแต่เมื่อต่อแบตเตอรี่กับขั้วจะไม่มีสัญญาณเอาต์พุตออกมาจากออปแอมป์ IM 311 ทำให้สัญญาณโวลต์เตจที่เข้า IC 4081 เป็นศูนย์ ทำให้อยู่ในสภาวะ off ไม่มีการชาร์จแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



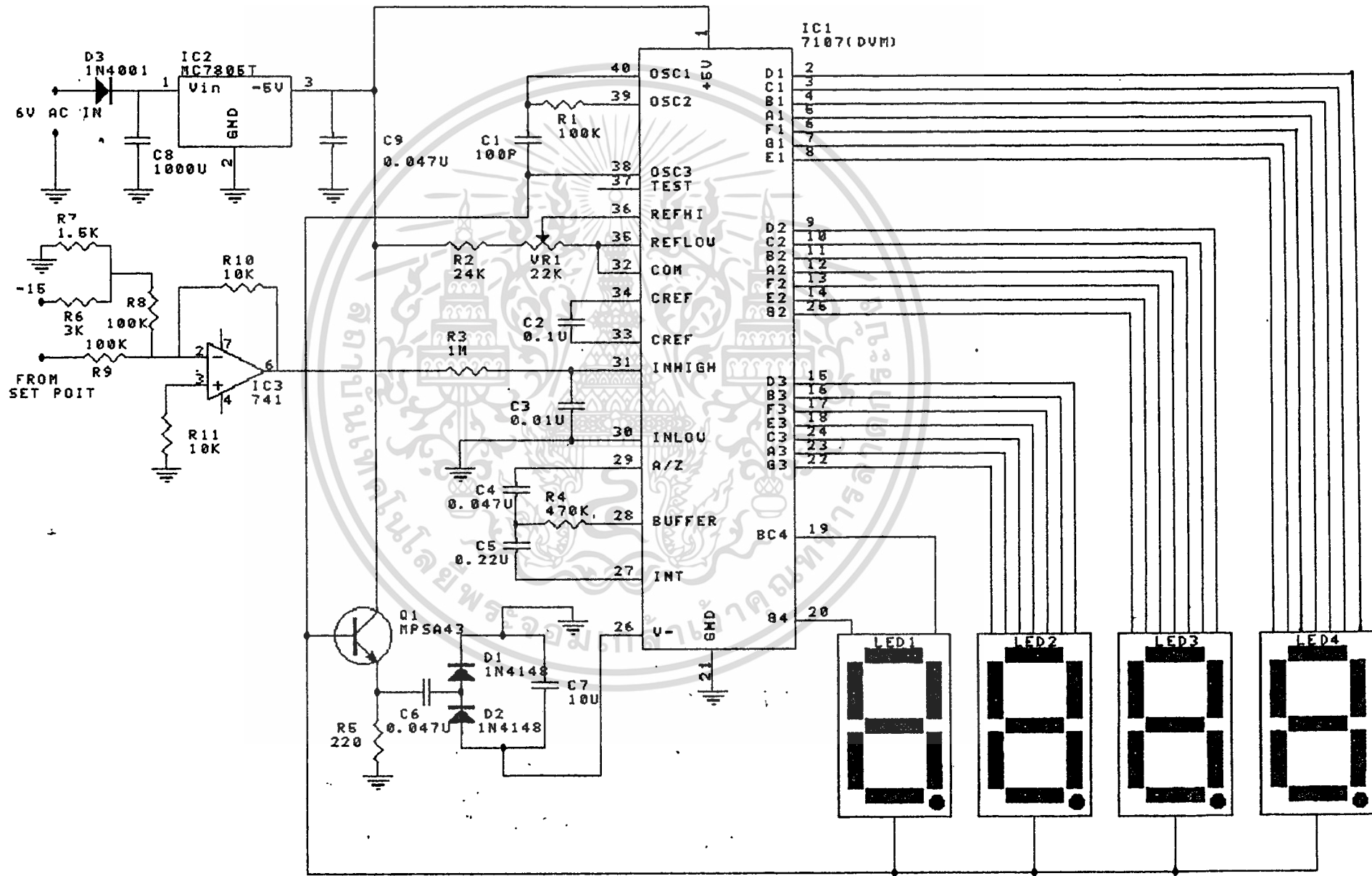
รูปที่ 3.12 แสดงวงจร Undirectional dipole

### 3.7 การทำงานของ digital voltmeter

ตัวแสดงผลนี้จะวัดสัญญาณจากแรงดันซึ่งได้จากการ calibrated โดยให้กระแส 20 แอมป์ มีค่าเท่ากับแรงดัน 2 โวลต์ ที่นำเข้าวงจรนี้ ซึ่งแสดงผลเป็นค่ากระแส

ก่อนที่จะอธิบายรายละเอียดของการทำงานของตัวแสดงผล จะขออธิบายในส่วนของการทำงานในส่วนของวงจร digital voltmeter เราเริ่มด้วยการดูแนวทางจากวงจรที่ 4 ซึ่งเป็น digital voltmeter ขนาด 0 - 2 โวลต์ (เต็มสเกล 1.999 V) วงจร digital voltmeter ที่แสดงในรูป 4 นั้น เราจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าตัวสำคัญหรือตัวที่ทำให้เกิด digital voltmeter นั้นคือ IC<sub>1</sub> เบอร์ 7107 ซึ่งเป็น IC ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (เปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ามาเป็นตัวเลขแสดงผล) เหตุด้วยที่ IC<sub>1</sub> ตัวนี้ เป็น IC สำเร็จรูป ดังนั้นจะไม่ขอล่าไปถึงโครงสร้างภายในที่ยุ่งยากซับซ้อน แต่จะกล่าวถึงเฉพาะหน้าที่ของอุปกรณ์ที่ต่อร่วมกับ IC<sub>1</sub> เท่านั้น R<sub>1</sub>, C<sub>1</sub> ทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพการทำงานของ IC<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, C<sub>2</sub> ถูกจัดเป็นวงจร low pass filter เพื่อกรองสัญญาณรบกวนต่างๆ ที่ติดมากับสัญญาณอินพุตทั้งวงจรแล้วไป IC<sub>1</sub> เป็น IC ที่ต้องการสัญญาณไฟทั้งบวกและลบแต่ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟไม่มีเฉพาะบวกเท่านั้น เราจะทำการสร้างไฟลบเทียมขึ้นมา ดังรูปที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้สร้างไฟลบเทียมขึ้นมาคือ D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> โดยมี Q<sub>1</sub> เป็นตัวขยายสัญญาณที่ได้จากขาที่ 38 ของ IC<sub>1</sub> ให้มีระดับแรงดันสูงมากขึ้น จากนั้นก็เอาไปเข้าส่วนของวงจรที่แรงดัน D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> ซึ่งจะได้แรงดันประมาณ -2.3 โวลต์ วงจรในรูปที่ 5 เป็นวงจรวัดความถี่โดยความสามารถในการวัดจะอยู่ในช่วง 0 - 2 เมกะเฮิรตซ์ แบ่งออกเป็น 3 ย่านวัดคือ 0 - 20 KHz, 0 - 200 KHz และ 0 - 2 MHz สัญญาณจากอินพุตจะถูกนำมาแปลงเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม โดย IC<sub>1</sub> รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ได้จากขา 7 ของ IC<sub>1</sub> จะนำมาหารความถี่ให้ลดลง 10 เท่า (สำหรับการวัดที่ 0 - 200 KHz และ 0 - 2 MHz) เพราะฉะนั้นสัญญาณที่ผ่านการหารความถี่ลง 10 เท่าก็จะออกจากขา 6 ของ IC<sub>1</sub> ผ่านสวิตช์ S<sub>1</sub> ไปเข้า IC<sub>2</sub> ได้ (สมมติความถี่ของอินพุตเท่ากับ 100 KHz) ความถี่ที่ปรากฏที่ขาสามของ IC<sub>2</sub> จะเท่ากับ 10 KHz D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub> จะทำหน้าที่ในการทริกขอสัญญาณให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจริงๆ IC<sub>3</sub> จะขยายสัญญาณที่ได้รับมาเพื่อให้มีขนาดใหญ่มากว่าเดิม

รูปที่ 3.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์ digital volt meter



#### บทที่ 4

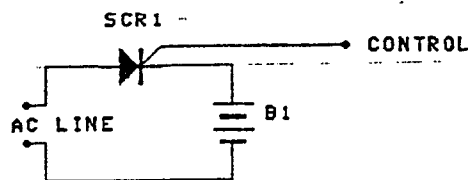
#### สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

วงจรชาร์จแบตเตอรี ใช้หลักการควบคุมกระแสโดยการควบคุมเฟส โดยมุมทริกของ SCR เราสามารถตั้งค่ากระแสที่ชาร์จได้ แต่ค่าที่วัดได้ยังไม่สมบูรณ์นักเพราะยังมีปัญหาข้อปรับปรุงทางด้านการเป็นลิเนียร์ของ current transformer และปัญหาในวงจรขยายสัญญาณยังไม่ดีพอทำให้ค่าที่วัดได้ ที่จะมีค่าไม่หนึ่งเนื่องจากวงจรมีต่อเข้ากับไฟบ้านโดยตรงจึงยังมีปัญหาทางด้านความปลอดภัยอยู่บ้าง จากสัญญาณที่ได้ที่ไม่หนึ่งนี้การแปลงระดับโวลต์เตจที่เข้าการชาร์จแบตเตอรีมีค่าไม่คงที่ด้วยและทำให้การควบคุมกระแสที่เข้าชาร์จไม่ได้ดีนัก จึงได้ใช้หม้อแปลงเพื่อลดแรงดันให้เหมาะสม ซึ่งสามารถแก้ปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ แต่ยังมีปัญหาอื่นอีกคือเมื่อมีการชาร์จด้วยกระแสสูงๆ มักมีปัญหาเกิดขึ้นจากการชาร์จเนื่องจากน้ำหนักของหม้อแปลง นอกจากนี้วงจรกรองสัญญาณยังมีปัญหาความถี่ของไดโอด ทำให้การกรองสัญญาณที่ได้จาก pulse transformer ยังไม่ดีพอ ซึ่งสัญญาณที่ออกจากวงจรกรองนี้ จะนำไปขยายหรือลดทอนให้เหมาะสม เพื่อนำไปเข้า display ในขั้นตอนระหว่างนี้จะมีกรรขยายก่อนข้างสูงทำให้สัญญาณไม่หนึ่ง ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าขณะหยุดการชาร์จไม่เท่ากับศูนย์พอดี แต่จากการทดลองถือว่าได้ค่าใกล้เคียงพอสมควร

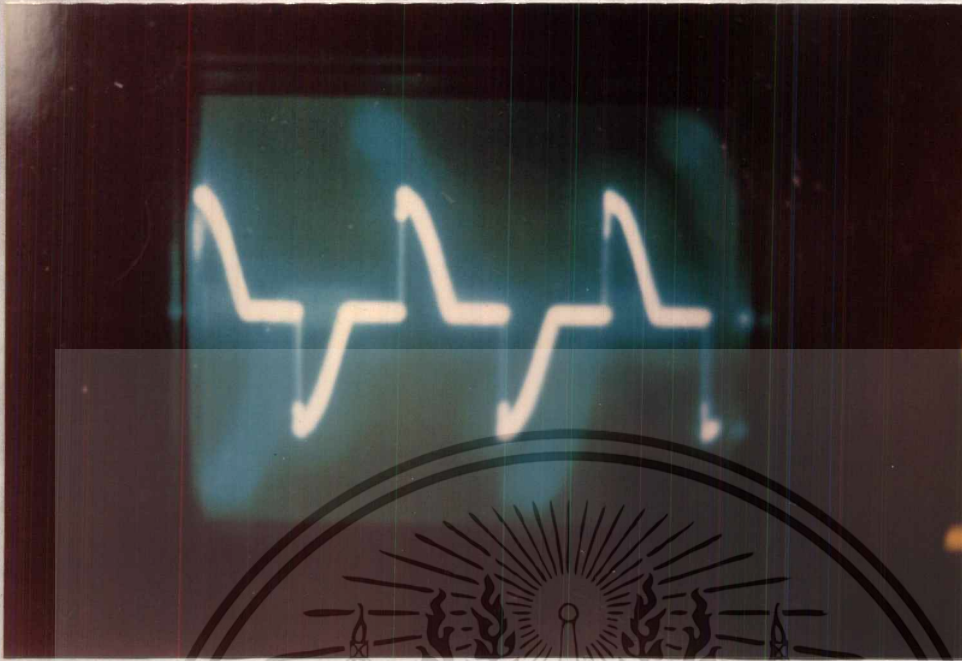
จากผลการทดลอง สามารถสรุปวงจรได้ดังนี้

จะมีส่วนที่สร้างสัญญาณ ramp ที่ synchronize กับไฟบ้านจะนำไปเข้าวงจร comparater เพื่อ compare กับสัญญาณจาก current transformer ผ่านสัญญาณ filter นำไปรวมกับสัญญาณที่สร้างขึ้นมา เอาต์พุตที่ได้จากวงจรในส่วนนี้จะถูกนำไปควบคุมเฟสของ SCR ซึ่งจะใช้หลักการควบคุมกระแสที่เข้าชาร์จแบตเตอรี ควบคุมการควบคุมเฟสที่เข้าชาร์จ

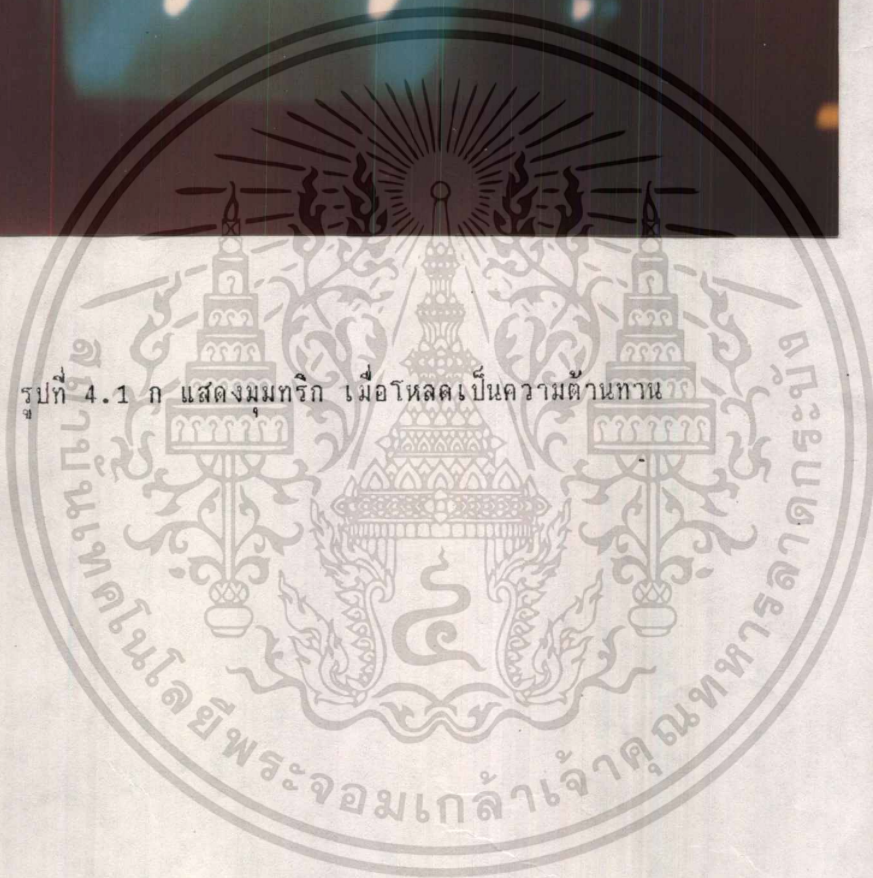
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า กระแสที่เข้าชาร์จแบตเตอรีมีลักษณะเป็น pulse ที่ขึ้นกับแรงดันที่เข้าชาร์จ ซึ่ง SCR ทำหน้าที่เหมือน diode half wave rectifier โดยมีการควบคุมระดับโวลต์เตจที่เข้าชาร์จตั้งในวงจร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ก แสดงมมทริก เมื่อโหดเป็นความต้านทาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรจะมี power loss ที่เกิดจากหม้อแปลง โวลต์เตจที่ตกคร่อม SCR และจากความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ที่ชาร์จเท่านั้น

จากการชาร์จแบตเตอรี่ lead acid ในตอนแรก โวลต์เตจที่คร่อมแบตเตอรี่และความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะมีค่าน้อย ดังสมการ

$$V_{\text{charge}} = V_{\text{batt}} + I_{\text{charge}} R_{\text{internal}}$$

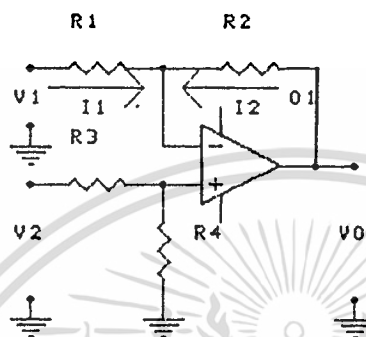
$$I_{\text{charge}} = (V_{\text{charge}} - V_{\text{batt}}) / R_{\text{internal}}$$

เมื่อเริ่มชาร์จ  $R_{\text{internal}}$ ,  $V_{\text{batt}}$  จะมีค่าน้อย ทำให้  $I_{\text{charge}}$  ขณะเริ่มชาร์จมีค่ามาก เมื่อเวลาผ่านไปถ้าเราชาร์จแบตเตอรี่ไปเรื่อยๆ จะทำให้โวลต์เตจของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ความต้านทานภายใน  $R_{\text{internal}}$  ของแบตเตอรี่ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ทำงานในขณะเริ่มแรกที่ชาร์จ ให้ปรับ R ไปทางซ้ายมือสุดเพื่อลดระดับแรงดันให้ต่ำสุด ซึ่งจะตั้งไว้ที่ประมาณ 0.3 - 0.5 แอมป์ แล้วแต่ชนิดของแบตเตอรี่ซึ่งเป็นการอุ่นแบตเตอรี่ไปเรื่อยๆ จนกว่าเราจะเอา power ออก จากนั้นหมุนค่า R ปรับค่าได้ช้าๆ แล้วดูค่ากระแสที่ชาร์จจาก display จนเมื่อได้ค่ากระแสที่ชาร์จที่ต้องการก็ปล่อยทิ้งไว้เช่นนั้น กระแสที่เข้าชาร์จแบตเตอรี่จะอยู่ในค่านี้อย่างเรื่อยๆ แม้ว่าโวลต์เตจของแบตเตอรี่ที่ชาร์จ และค่าความต้านทานภายในจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่กระแสที่เข้าชาร์จจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากค่ากระแสที่ชาร์จถูกจับใน current transformer ซึ่งถ้าสัญญาณที่ตรวจจับมีค่า current ไหลเข้าชาร์จแบตเตอรี่มาก ระดับโวลต์เตจที่ตรวจจับได้จะมีค่าน้อยลง ซึ่งเป็นผลให้ไปเพิ่มระดับโวลต์เตจที่เข้าไปควบคุมการชาร์จให้มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสที่เข้าชาร์จพยายามที่จะต้านการลดลงของกระแสที่ชาร์จตลอดเวลา โดยการลดมุม  $\alpha$  ทำให้ค่าโวลต์เตจขณะชาร์จมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพื่อรักษาระดับกระแสชาร์จไม่ให้ลดลงมากเกินไป แต่จะลดลงบ้างเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งจะชาร์จไปเรื่อยๆ จนกว่าโวลต์เตจของแบตเตอรี่ที่ตรวจจับได้มีค่าประมาณ 13 โวลต์ สัญญาณ stop charging จะมีค่าเป็นบวกเข้าสู่ and gate 4081 ซึ่งจะส่งผลทำให้สัญญาณการชาร์จเป็นศูนย์ ทำให้เอาต์พุตออกไปเข้า pulse transformer มีค่ามอดริคมากที่สุดตามที่ตั้งไว้ ระดับของกระแสที่เข้าชาร์จจะเหลือประมาณ 0.3 - 0.4 แอมป์ แสดงว่าแบตเตอรี่ชาร์จเต็มแล้ว นอกจากนี้ยังมีวงจรตรวจสอบว่าชาร์จแบตเตอรี่ถูกชั่วโมงหรือไม่โดยที่ขั้วบวกจะหนีบเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ และขั้วลบของไฟที่ชาร์จจะหนีบเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ ถ้าต่อผิดขั้วจะไม่สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้ดังที่อธิบายมาก่อนหน้านี้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

วงจร instrument amp



รูป 1 แสดงวงจร instrument amp

จากหลักการของ Kirchoff current'Law

เมื่อ

$$I_1 = I_2$$

เมื่อ

$$(V_1 - V_x) / R_1 = -(V_0 - V_x) / R_2 \quad \dots 1$$

$$V_x = (R_4 / (R_3 + R_4)) \cdot V_2$$

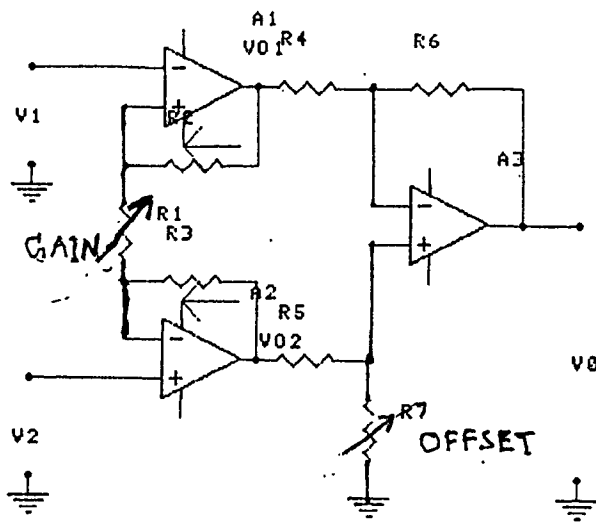
แทนค่าใน 1 จะได้

$$V_0 = (R_4 \cdot (R_2 + R_1) \cdot V_2 - (R_2 \cdot (R_3 + R_4) \cdot V_1) / R_1 \cdot (R_3 + R_4))$$

พบว่าถ้าแทน  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$  จะได้ว่า

$$V_0 = V_2 - V_1$$

วงจรที่ได้นี้ทำงานได้ไม่คลีน ถ้านำไปขยายสัญญาณขนาดต่างๆ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มภาคขยายให้กับวงจร และเพิ่ม impedance ขาเข้าให้กับวงจรศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 วงจร instrument amp ที่ใช้งานได้จริง

เนื่องจาก

$$V_{o1} = I_1 \cdot (R_1 + R_2) + V_2 \quad \dots 1$$

$$I_1 = (V_1 - V_2) / R_1 \quad \dots 2$$

แทนค่า 2 ใน 1 จะได้

$$V_{o1} = (1 + R_2/R_1) \cdot V_1 - (R_2/R_1) \cdot V_2 \quad \dots 3$$

ในทำนองเดียวกัน

$$V_{o2} = (1 + R_3/R_1) \cdot V_2 - (R_3/R_1) \cdot V_1 \quad \dots 4$$

จากรูปความสัมพันธ์ของ  $V_o$ ,  $V_{o1}$  และ  $V_{o2}$  คือ

$$V_o = ((R_4 + R_6)/(R_5 + R_7)) \cdot (R_7/R_4) \cdot V_{o2} - (R_6/R_4) \cdot V_{o1} \quad \dots 5$$

ซึ่งเมื่อนำสมการที่ 3 และ 4 แทนใน สมการที่ 5 และ  $R_1 = R_2 = R$ ,  $R_4 = R_5 = R_6 = R_7$  จะได้

$$V_o = (1 + 2R/R_1) \cdot V_2 - V_1 \quad \dots *$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ค่าความจุของแบตเตอรี่

ค่าความจุของแบตเตอรี่โดยทั่วไป รวมทั้งแบตเตอรี่ Lead-acid จะมีหน่วยเป็น Ah หรือ เรียกว่า แอมแปร์-ชั่วโมง โดยทั่วไปจะกำหนดค่ามาตรฐานไว้ที่ประมาณ 6-8 ชั่วโมง เช่น แบตเตอรี่ที่มีความจุ 80 Ah หมายความว่า แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแส 10 แอมแปร์ในเวลา 8 ชั่วโมง หรือ แบตเตอรี่ 40 Ah หมายความว่า แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแส 5 แอมแปร์ในเวลา 8 ชั่วโมง แต่ถ้าแบตเตอรี่ขนาด 80 Ah จ่ายกระแสตลอดเวลา 20 แอมแปร์ ในทางคำนวณแล้ว แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสได้ 4 ชั่วโมง แต่ในความเป็นจริงแล้ว แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสคงที่ 20 แอมแปร์ ได้น้อยกว่า 4 ชั่วโมง แต่ถ้าแบตเตอรี่ 80 Ah มีการจ่ายกระแส 5 แอมแปร์ ซึ่งในทางคำนวณ จะจ่ายกระแสคงที่ได้เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แต่ซึ่งในทางความเป็นจริงแล้ว แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสได้เกิน 16 ชั่วโมง ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพเคมีและสภาพของหม้อแบตเตอรี่ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือของหลายท่าน ผู้จัดทำขอขอบคุณ อาจารย์สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำให้คำปรึกษา และให้ความรู้ในการจัดทำมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ของผู้จัดทำที่คอยให้กำลังใจและทุนทรัพย์ในการจัดทำ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านและเพื่อนทุกคนที่มีส่วนให้คำปรึกษา ทำให้ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. กลุ่ม CNS , ออปแอมป์, หนังสือนำผ่านจำกัด สำนักพิมพ์ ฟิลลิปส์เซ็นเตอร์
2. บัญญัติ บำบชันและคณะ, ทฤษฎีและการออกแบบวงจรดิจิทัล เล่ม 2
3. ซีรซัส ลิมวิวัฒน์ , เครื่องประจวบตเตอร์อิโตนมิติ พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2534, บริษัท  
พีแอนด์ ซีเคชั่น จำกัด
4. Jacop millman , Arvin Grabel, Microerectronic 2<sup>th</sup> Edition ,  
Mcgraw-Hill internation
5. Mayairi, Shota. Power Electronic. Tokyo : Maruzen, press, 1976
6. NED MOHAN, TORE M. UNDELAND, WILLIAM P. ROBBINS, Power  
electronic Minnesota willey, 1989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้