

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ ชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
Power Electronic Demonstrator

- ชื่อนักศึกษา
1. นายขจรชัย ชัยธาร รหัสประจำตัว 41031502
 2. นายนิรันดร์ โกมลวัฒน์ รหัสประจำตัว 41031509
 3. นายประสิทธิ์ พรหมปัญญา รหัสประจำตัว 41031513
 4. นายภาณุวัฒน์ เทพหัสดิน ณ อยุธยา รหัสประจำตัว 41031519

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ปิยะ สุภวราสุวัฒน์

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ปิยะ สุภวราสุวัฒน์	
2. อาจารย์อำพล ทองระอา	
3. อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงษ์คีติ	
4. อาจารย์อมรรชัย ชัยชนะ	
5. อาจารย์สุระชัย พิมพ์สาดี	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันศุกร์ที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2543 เวลา 09.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.



ลงนาม.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 30 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2543

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 37170
วัน, เดือน, ปี - 5 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

ชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

POWER ELECTRONICS DEMONSTRATOR



นายจรชัย ชัยทร
นายนรินทร์ โกมลวัฒน์
นายประสิทธิ์ พรรณปัญญา
นายภาณุวัฒน์ เทพหัสติน ณ อยู่ธยา

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์

เรื่อง ชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

Power Electronics Demonstrator

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
2. เพื่อออกแบบ และสร้างชุดทดลองการควบคุมไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
3. เพื่อออกแบบ และสร้างใบงานการทดลองการควบคุมไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
4. เพื่อนำชุดทดลองการควบคุมไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สร้างไปใช้งานได้จริง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจหลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
2. ได้ชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
3. มีใบงานประกอบการทดลอง
4. มีชุดทดลอง และใบงานประกอบการทดลองที่ใช้งานได้จริง
5. สามารถนำชุดทดลองไปใช้เป็นที่การเรียนการสอนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ

นักศึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา

หลักสูตร

สาขาวิชา

ปีการศึกษา

ชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

นายจรชัย ชัยทร

นายนิรันดร์ โกมลวัฒน์

นายประสิทธิ์ พรรณปัญญา

นายภาณุวัฒน์ เทพหัสดิน ณ อยุธยา

อาจารย์ปิยะ สุภวาราสวัสดิ์

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

2542

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เสนอชุดทดลองการควบคุมไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อใช้ในการประกอบการเรียนการสอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งประกอบด้วยวงจรจุดชนวนไทรริสเตอร์, ไดโอด, เอสซีอาร์ และภาระทางไฟฟ้า สามารถทดลองคุณสมบัติของไดโอดกำลัง, เอสซีอาร์, ไทรแอก และการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบต่างๆ ทั้งแบบควบคุมแรงดันได้และแบบควบคุมแรงดันไม่ได้ สามารถเลือกใช้ได้ทั้งระบบไฟฟ้า 1 เฟส และระบบไฟฟ้า 3 เฟส

Thesis Title	Power Electronic Demonstator
Students	Mr.Kajonchai Chaiyatorn Mr.Niran Komonwattana Mr.Prasit Phanpanya Mr.Panuwat Thephutsadin na ayuthaya Mr.Piya Supavarasuwat
Advisor	
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Industrial Instrument Technology
Academic Year	1999

ABSTRACT

This paper presents the project of Power Electromtes Demonstrator It is an education demonstrator equipment. It consists of trigger, diode, scr, and load electrical. it characteristic of power diode, scr, triac and speed control dc motor. Rectifier as controllable and uncontrollable voltage, with can use for single phase and three phase.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี จากความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษาปฏิญานิพนธ์ และอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน รวมทั้งท่านอาจารย์นภัทร วจนเทพินทร์ แผนกช่างไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตนนทบุรี ที่ได้ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในด้านต่างๆ ตลอดจนให้โอกาสในการทำปฏิญานิพนธ์อย่างเต็มที่ ทั้งด้านเวลา สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ และขอขอบพระคุณบุคลากรผู้ให้กำเนิดที่ให้โอกาสในทางการศึกษา เพื่อนๆ ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆ อีกทั้งยังเป็นกำลังใจในการทำปฏิญานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ชี้ดความสามารถของโครงการ	2
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 วงจรระบบไฟฟ้าสามเฟส	4
2.2.1 การกำเนิดแรงดันในระบบไฟฟ้าสามเฟส	4
2.2.2 การพิจารณาแรงดันในระบบไฟฟ้าสามเฟส	7
2.3 คุณลักษณะและการทำงานของไดโอด	8
2.3.1 ไดโอดสวิตช์แบบที่ 1	8
2.3.2 พารามิเตอร์ในสถานะคงตัวของไดโอด	11
2.3.3 สมมติฐานการวิเคราะห์ห้วงจรเรียงกระแส	13
2.4 ไทริสเตอร์และการเรียงกระแสที่มีการควบคุม	14
2.4.1 ไทริสเตอร์สวิตช์แบบที่ 2	14
2.4.2 หลักการทำงานและลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์	16
2.4.3 หลักการทำงานและลักษณะสมบัติของไทรแอก	21
2.5 การจุดชนวนไทริสเตอร์	25
2.5.1 การป้องกัน $\frac{dv}{dt}$	29
2.5.2 การป้องกัน $\frac{di}{dt}$	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.6 วงจรจุดชนวนไทรสเตอร์	32
2.6.1 การจุดชนวนเกตไทรสเตอร์ด้วยวงจรรวมสำหรับการควบคุมเฟสเบอร์ TCA785	33
2.7 การปิดกระแสของไทรสเตอร์	44
2.7.1 การทำให้กระแสหยุดไหลตามธรรมชาติ	44
2.7.2 การทำให้กระแสหยุดไหลด้วยแรงดันกลับ	44
2.8 การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	47
2.8.1 การควบคุมแบบปิด - เปิด	47
2.8.2 การควบคุมเฟส	49
2.9 การควบคุมเฟสแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส	54
2.10 วงจรเรียงกระแส	56
2.10.1 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสครึ่งคลื่น	57
2.10.2 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่น	63
2.10.3 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสครึ่งคลื่น	65
2.10.4 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่น	68
2.11 วงจรเรียงกระแสที่มีการควบคุม	70
2.11.1 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสครึ่งคลื่นที่ควบคุมได้	71
2.11.2 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมได้	77
2.11.3 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสครึ่งคลื่นที่ควบคุมได้	83
2.11.4 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมได้	89
2.12 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	99
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	106
3.1 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า	106
3.1.1 การออกแบบแผงด้านหน้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า	106
3.1.2 การออกแบบ และการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้า	107
3.2 การออกแบบ และการสร้างตัวชุดทดลอง	109
3.3 การออกแบบ และการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในชุดทดลอง	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3.1 การออกแบบ และการทำงานของไดโอด	110
3.3.2 การออกแบบ และการทำงานของเอสซีอาร์	111
3.3.3 การออกแบบ และการทำงานของไทรแอก	113
3.3.4 การออกแบบ และการทำงานของภาวะทางไฟฟ้า	114
3.4 การออกแบบและการทำงานของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นขาเกต ของไทริสเตอร์	115
3.4.1 ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นขาเกต 1 เฟส	115
3.4.2 ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นขาเกต 3 เฟส	117
3.5 การออกแบบและการทำงานของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า	122
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	124
4.1 การทดลองการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ	124
4.2 การทดลองการทำงานของไดโอด	125
4.3 การทดลองการทำงานของ ไทรแอก	127
4.4 การทดลองการทำงานของเอสซีอาร์	128
4.5 การทดลองวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นหนึ่งเฟส	130
4.6 การทดลองวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์หนึ่งเฟส	131
4.7 การทดลองวงจรเรียงกระแสแบบสตาร์สามเฟส	133
4.8 การทดลองวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟส	134
4.9 การทดลองวงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบครึ่งคลื่นหนึ่งเฟส	136
4.10 การทดลองวงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มที่แบบบริดจ์หนึ่งเฟส	137
4.11 การทดลองวงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครึ่งเดียวแบบบริดจ์หนึ่งเฟส	139
4.12 การทดลองวงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบสตาร์สามเฟส	140
4.13 การทดลองวงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มที่แบบบริดจ์สามเฟส	142
4.14 การทดลองวงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครึ่งเดียวแบบบริดจ์สามเฟส	143
4.15 การทดลองวงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มที่แบบบริดจ์หนึ่งเฟสกับ โพลคมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.16 การทดลองวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสแบบควบคุมเฟส	146
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา	148
5.1 บทสรุป	148
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ	148
5.3 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	149
5.4 แนวทางการพัฒนาโครงการ	150
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง	151
ภาคผนวก ข วงจรพิมพ์ และลายวงจรพิมพ์	155
ภาคผนวก ค รายการข้อมูล และคุณสมบัติของอุปกรณ์	159
บรรณานุกรม	176
ประวัติผู้แต่ง	177

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของความกว้างของพัลส์ด้านนอกกับค่า C_{12}	36
ตารางที่ 2.2 ตัวคูณของค่ากระแส I_N และ I_{RN} ที่ได้จากกราฟ 2.50	70
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง เรื่องวงจรเรียงกระแสแบบควบคุมได้แบบบริดจ์หนึ่งเฟส กับโหลดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	146



สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 แรงดันไฟฟ้าที่เกิดในลักษณะ ABC	5
รูปที่ 2.2 แรงดันไฟฟ้าที่เกิดในลักษณะ CBA	6
รูปที่ 2.3 การต่อขดลวดในระบบไฟฟ้า 3 เฟส	7
รูปที่ 2.4 เฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าระบบ 3 เฟส	8
รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์ของไดโอด	9
รูปที่ 2.6 ลักษณะสมบัติของไดโอด	11
รูปที่ 2.7 ลักษณะสมบัติของการเปลี่ยนแปลงชั่วคราวระหว่างแรงดันกับกระแสของไดโอด	12
รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์และโมเดลของไดโอดและลักษณะสมบัติระหว่างแรงดันกับกระแส	13
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำชนิด PNP	15
รูปที่ 2.10 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์	16
รูปที่ 2.11 การต่อใช้งานและคุณสมบัติของเอสซีอาร์	16
รูปที่ 2.12 โมเดลของเอสซีอาร์แบบวงจรทรานซิสเตอร์ต่อกันป้อนกลับค่าบวก	19
รูปที่ 2.13 การต่อและโครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์พีเอ็นพีเอ็นสองชั้น	22
รูปที่ 2.14 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไทรแอก	22
รูปที่ 2.15 เส้นโค้งลักษณะสมบัติของไทรแอก	23
รูปที่ 2.16 ค่าอัตราขยายกระแส β มีค่าขึ้นอยู่กับค่าของกระแสอิมิตอร์ในซิลิคอนทรานซิสเตอร์	25
รูปที่ 2.17 เส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างแรงดันกับกระแสของเกต	26
รูปที่ 2.18 วงจรไทรสเตอร์กับภาระ	27
รูปที่ 2.19 การเปลี่ยนแปลงกระแสและการเปลี่ยนแปลงแรงดันของไทรสเตอร์ขณะปิดกระแส	28
รูปที่ 2.20 วงจรสับไฟฟ้าที่มีตัวเหนี่ยวนำจำกัดค่า $\frac{dv}{dt}$	30
รูปที่ 2.21 วงจรป้องกัน $\frac{di}{dt}$ ด้วยสแน็บเบอร์	31
รูปที่ 2.22 วงจรสมมูลการจุดชนวนและเส้นภาระของเอสซีอาร์	32
รูปที่ 2.23 โครงสร้างภายในรวมของวงจรรวม TCA785	34
รูปที่ 2.24 รูปคลื่นสัญญาณด้านเข้าและด้านออกที่สำคัญของวงจรรวมเบอร์ TCA785	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.25 ลักษณะของพัลส์จุกชนวนเกิดของไทรสเตอร์แบบต่างๆ	36
รูปที่ 2.26 การจุกชนวนโดยตรงด้วยTCA785	37
รูปที่ 2.27 การจุกชนวนโดยใช้หม้อแปลงขยายสัญญาณ	38
รูปที่ 2.28 วงจรจุกชนวนเกิดไทรสเตอร์ในวงจรเรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่นที่ควบคุมได้แบบบริดจ์	39
รูปที่ 2.29 การจุกชนวนวงจรควบคุมแรงดันไฟสลับ 1 เฟส ด้วย TCA785	40
รูปที่ 2.30 รูปคลื่นกระแสและแรงดันโหลดของวงจร	41
รูปที่ 2.31 การจุกชนวนวงจร 3 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมครึ่งบริดจ์ โดยใช้ TCA785 3 ตัว	42
รูปที่ 2.32 วงจรจุกชนวนเกิดของไทรสเตอร์ 3 ตัว ในวงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นควบคุมได้แบบบริดจ์ด้วย TCA785	43
รูปที่ 2.33 การทำให้กระแสหยุดไหลตามธรรมชาติ	44
รูปที่ 2.34 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสของไทรสเตอร์ในช่วงเปิดกระแส	46
รูปที่ 2.35 วงจรควบคุมแรงดันไฟสลับโดยวิธีควบคุมแบบปิด – เปิด	48
รูปที่ 2.36 วงจรควบคุมไฟสลับที่ใช้หลักการควบคุมเฟส ทำการควบคุมทางเดียว มีโหลดเป็นตัวความต้านทานที่มุมจุกชนวน(α)	49
รูปที่ 2.37 วงจรควบคุมแรงดันไฟสลับ 1 เฟส ควบคุมสองทางวิธีควบคุมเฟส เมื่อจุกชนวนเกิดของ T_1 ที่มุม α และ T_2 ที่มุม $\pi + \alpha$ มีโหลดเป็นตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว	50
รูปที่ 2.38 วงจรควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับแบบต่างๆ	51
รูปที่ 2.39 การต่อวงจรและรูปสัญญาณ	52
รูปที่ 2.40 สัญญาณของวงจรควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับจุกชนวนเกิดที่มุม $\alpha > \phi$ ด้วยพัลส์เดียวและพัลส์แบบอื่นๆ	53
รูปที่ 2.41 วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสที่ใช้ไทรแอก	54
รูปที่ 2.42 วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสที่ใช้เอสซีอาร์	54
รูปที่ 2.43 วงจรสามเฟสที่ใช้หาค่าพิคกิ้งแรงดันของไทรสเตอร์	55
รูปที่ 2.44 แผนภาพการรอบการแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง	56
รูปที่ 2.45 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสครึ่งคลื่นเมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.46 วงจรของโหลดตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ	57
รูปที่ 2.47 สัญญาณคลื่นแรงดัน และกระแสที่จุดต่างๆ ของวงจร	58
รูปที่ 2.48 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ และมุม β	59
รูปที่ 2.49 ความสัมพันธ์ของ I_N และ I_{RN} กับมุม ϕ	61
รูปที่ 2.50 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นทั้ง 2 แบบเมื่อมีโหลดเป็นตัวความต้านทาน	62
รูปที่ 2.51 แสดงวงจรเรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่นทั้ง 2 แบบ เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ	63
รูปที่ 2.52 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสครึ่งคลื่นเมื่อมีโหลดเป็นตัวต้านทานหรือตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ	65
รูปที่ 2.53 วงจรบริดจ์ 3 เฟสและรูปคลื่นแรงดัน และกระแสที่ผ่าน โหลดเมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน และโหลดเป็นตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ	66
รูปที่ 2.54 ช่วงมุนนำกระแสของไดโอดในรอบ 1 วัฏจักรของวงจรรีเรียงกระแส 3 เฟสบริดจ์	68
รูปที่ 2.55 แผนภาพการอบแสดงการแปลงผัน ไฟสลับเป็นไฟตรงชนิดควบคุมแรงดันได้	69
รูปที่ 2.56 วงจร 1 เฟสครึ่งคลื่นที่ควบคุมแรงดันได้	71
รูปที่ 2.57 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้ โหลดความต้านทาน	71
รูปที่ 2.58 คลื่นกระแสและแรงดันที่โหลดเมื่อมุมจุดชนวนคือมุม α	72
รูปที่ 2.59 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสครึ่งคลื่น เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ	72
รูปที่ 2.60 ความสัมพันธ์ของ γ และ α เมื่อมุมต่างเฟส ϕ เปลี่ยนไป	73
รูปที่ 2.61 เส้น $I_N = f(\alpha)$ เมื่อ $\phi = 0$ องศา ถึง $\phi = 0$ องศา	74
รูปที่ 2.62 เส้น $I_{RN} = f(\alpha)$ เมื่อ $\phi = 0$ องศา ถึง $\phi = 90$ องศา	75
รูปที่ 2.63 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน	76
รูปที่ 2.64 แสดงวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ควบคุมได้เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ	77
รูปที่ 2.65 รูปคลื่นกระแสและแรงดันเมื่อมุม $\alpha < \phi$	78
รูปที่ 2.66 วงจรควบคุมครึ่งบริดจ์แบบต่างๆ	79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.67 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด และกระแสโหลดของวงจรควบคุม ครึ่งบริดจ์ที่ต่อไทรสเตอร์ขนานเมื่อโหลดชนิดต่างๆ	80
รูปที่ 2.68 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสครึ่งคลื่นที่ควบคุมได้	81
รูปที่ 2.69 รูปคลื่นสัญญาณจุดชนวนไทรสเตอร์แต่ละตัวเทียบกับแรงดันเฟสและ แรงดันตกคร่อมโหลด	82
รูปที่ 2.70 วงจรเรียงกระแส 3 เฟส ครึ่งคลื่นที่ควบคุมได้เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน	83
รูปที่ 2.71 รูปคลื่นสัญญาณจุดชนวนไทรสเตอร์แต่ละตัวเทียบกับแรงดันเฟส และแรงดัน ตกคร่อมโหลด	84
รูปที่ 2.72 วงจรเรียงกระแส 3 เฟส ที่ควบคุมครึ่งบริดจ์มีโหลดเป็นตัวความต้านทาน	85
รูปที่ 2.73 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ส่วนต่างๆ ของวงจรในรูป 2.72 เมื่อโหลดเป็น ตัวความต้านทานและมุม $\alpha = 30$ องศา	86
รูปที่ 2.74 วงจรเรียงกระแส 3 เฟส ที่ควบคุมครึ่งบริดจ์มีโหลดเป็นตัวความต้านทาน	89
รูปที่ 2.75 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมเต็มบริดจ์ และสัญญาณจุดชนวนเกต	92
รูปที่ 2.76 วงจรควบคุมเต็มบริดจ์เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน	93
รูปที่ 2.77 รูปคลื่นของวงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมเต็มบริดจ์เมื่อโหลดเป็น ตัวความต้านทานและจุดชนวนไทรสเตอร์ที่มุม $\alpha = 0, 60, 90$ และ 120 องศา	94
รูปที่ 2.78 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมเต็มบริดจ์ เมื่อโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ หรือตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ และจุดชนวนเกตที่มุมต่างๆ	96
รูปที่ 2.79 สัญญาณของวงจรเรียงกระแส 3 เฟส เต็มคลื่นที่ควบคุมเต็มบริดจ์เมื่อโหลดเป็น ตัวเหนี่ยวนำหรือตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำและจุดชนวนที่มุมต่างๆ	97
รูปที่ 2.80 แรงดัน V_{12} ที่ใช้เป็นแรงดันอ้างอิงของมุม $\alpha = 0$ กรณีวงจรเรียงกระแส 3 เฟส เต็มคลื่นที่ควบคุมเต็มบริดจ์	99
รูปที่ 2.81 เส้นโค้งลักษณะสมบัติต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	100
รูปที่ 2.82 ระบบ “Ward Leonard” วิธีควบคุมอัตราเร็วโดยการปรับเปลี่ยนแรงดัน ป้อนเข้าอาร์มาเจอร์	103

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.83 การควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยการปรับเปลี่ยนแรงดันป้อนเข้าอาร์มาเจอร์ และปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานในวงจรฟิลด์	104
รูปที่ 3.1 ภาพทางด้านหน้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	106
รูปที่ 3.2 การต่อวงจรการทำงานภายในของแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส	107
รูปที่ 3.3 การต่อวงจรควบคุมการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส	108
รูปที่ 3.4 ขนาดโครงสร้างของชุดทดลอง	109
รูปที่ 3.5 สัญลักษณ์ของไดโอดที่แผงของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง	110
รูปที่ 3.6 การวางตำแหน่งของไดโอดบนแผ่นปริ้นท์ที่ติดตั้งอยู่ภายในของชุดทดลอง	111
รูปที่ 3.7 สัญลักษณ์ของ เอสซีอาร์ ที่แผงของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง	111
รูปที่ 3.8 การวางตำแหน่งของ เอสซีอาร์ และ ไทรแอก บนแผ่นปริ้นท์ที่ติดตั้งอยู่ ภายในของชุดทดลอง	112
รูปที่ 3.9 สัญลักษณ์ของ ไทรแอกที่แผงของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง	113
รูปที่ 3.10 สัญลักษณ์ของภาระทางไฟฟ้าที่ใช้ประกอบแผงของชุดทดลอง อิเล็กทรอนิกส์กำลัง	114
รูปที่ 3.11 ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นเกิดของ ไทริสเตอร์ที่อยู่ภายในชุดทดลอง	115
รูปที่ 3.12 ภาพด้านหน้าแผงทดลองของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นเกิด 1 เฟส	115
รูปที่ 3.13 การต่อวงจรภายในของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ กระตุ้นเกิด 1 เฟส	116
รูปที่ 3.14 ภาพด้านหน้าแผงทดลองของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นเกิด 3 เฟส	117
รูปที่ 3.15 การต่อวงจรภายในของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นเกิด 3 เฟส	120
รูปที่ 3.16 วงจรการทำงานของ ไอซี TCA 785	121
รูปที่ 3.17 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า	122
รูปที่ 4.1 สัญญาณรูปคลื่นไซน์ของแหล่งจ่าย	125
รูปที่ 4.2 วงจรการทำงานของไดโอด	126
รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรการทำงานของไดโอด	126
รูปที่ 4.4 วงจรการทำงานของ ไทรแอก	127
รูปที่ 4.5 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรการทำงานของ ไทรแอก	128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.6 วงจรการทำงานของเอสซีอาร์	129
รูปที่ 4.7 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรทำงานของเอสซีอาร์	129
รูปที่ 4.8 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นหนึ่งเฟส	130
รูปที่ 4.9 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นหนึ่งเฟส	131
รูปที่ 4.10 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์หนึ่งเฟส	132
รูปที่ 4.11 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์หนึ่งเฟส	132
รูปที่ 4.12 วงจรเรียงกระแสแบบสตาร์สามเฟส	133
รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบสตาร์สามเฟส	134
รูปที่ 4.14 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟส	135
รูปที่ 4.15 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟส	135
รูปที่ 4.16 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบครึ่งคลื่นหนึ่งเฟส	136
รูปที่ 4.17 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบครึ่งคลื่นหนึ่งเฟส	137
รูปที่ 4.18 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบบริดจ์หนึ่งเฟส	138
รูปที่ 4.19 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มทีแบบบริดจ์หนึ่งเฟส	138
รูปที่ 4.20 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครึ่งเดียวแบบบริดจ์หนึ่งเฟส	139
รูปที่ 4.21 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครึ่งเดียวแบบบริดจ์หนึ่งเฟส	140
รูปที่ 4.22 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบสตาร์สามเฟส	141
รูปที่ 4.23 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบสตาร์สามเฟส	141
รูปที่ 4.24 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มทีแบบบริดจ์สามเฟส	142
รูปที่ 4.25 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มทีแบบบริดจ์สามเฟส	143
รูปที่ 4.26 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครึ่งเดียวแบบบริดจ์สามเฟส	144
รูปที่ 4.27 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครึ่งเดียวแบบบริดจ์สามเฟส	144
รูปที่ 4.28 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มทีแบบบริดจ์หนึ่งเฟสกับโหลดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	145
รูปที่ 4.29 วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสแบบควบคุมเฟส	147
รูปที่ 4.30 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับแบบควบคุมเฟส	147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ ก.1 ชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง	152
รูปที่ ก.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ	152
รูปที่ ก.3 การต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในตัวชุดทดลอง	153
รูปที่ ก.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้า 12 โวลต์และโหลดทางไฟฟ้า	153
รูปที่ ก.5 ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นขาเกตของไทรริสเตอร์	154
รูปที่ ข.1 วงจรชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นเกตของไทรริสเตอร์	156
รูปที่ ข.2 ลายวงจรชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นเกตของไทรริสเตอร์	157
รูปที่ ข.3 ลายวงจรของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 - 0 - 12 โวลต์	158

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ไทริสเตอร์ ซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์จากสารกึ่งตัวนำ และทำหน้าที่ปิดวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ และไฟฟ้ากระแสตรงได้ด้วยความสะดวก และดีกว่าสวิตช์ธรรมดา โดยไทริสเตอร์นี้มีข้อดีที่มีน้ำหนักเบา ทำงานไวใจได้ดี มีการบำรุงรักษาน้อย อายุการใช้งานยืนยาว มีขนาดเล็ก ทำงานโดยไม่มีเสียงรบกวน ไม่มีผลกระทบต่อความดันของอากาศรอบๆ ซึ่งมีความทนทานต่ออุณหภูมิที่ต่ำมาก ทำงานได้ที่ระดับความสูงใดๆ สามารถเริ่มเดินเครื่องอย่างทันทีได้ มีราคาไม่สูงมากนัก และไม่มีส่วนใดเคลื่อนไหวจึงไม่พบความยุ่งยากเหมือนสวิตช์ธรรมดาหรือรีเลย์ เราจึงนิยมเอาสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไดโอด ไทริสเตอร์ ต่างๆ เข้ามาทำการควบคุมกำลังงานขนาดใหญ่ เช่น การควบคุมแรงดันและกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ควบคุมกระแสอัตราเร็วของมอเตอร์ขนาดใหญ่ การแปลง ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้น ซึ่งมีความแตกต่างจากสมัยก่อนที่การพัฒนาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ยังไม่เจริญก้าวหน้ามากนัก การควบคุมการทำงานของเครื่องมือ หรือเครื่องจักรต่างๆ จะใช้ระบบควบคุมที่มีขนาดใหญ่ และประสิทธิภาพในการทำงานทำไม่ดีเท่าที่ควร แต่ในปัจจุบันได้มีการนำเอาอุปกรณ์ไทริสเตอร์มาใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ

ในการจัดทำชุดทดลองทางคณะผู้จัดทำจะมุ่งเน้นในเรื่องการควบคุมเฟส แบบ 1 เฟส และแบบ 3 เฟส ของไทริสเตอร์ การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงในรูปแบบต่างๆ การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งอุปกรณ์ที่เลือกใช้ คือ ไดโอด เอสซีอาร์ ไทแรก ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์หลักในการจัดสร้างชุดทดลอง และจะมีใบงานที่เป็นพื้นฐานในการศึกษาการควบคุมไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

ในส่วนของการควบคุมการนำกระแส หรือการควบคุมมุมนำกระแสของไทริสเตอร์ทางคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ TCA785 ซึ่งสามารถควบคุมมุมในการนำกระแสให้กับ เอสซีอาร์และไทแรกได้ ตั้งแต่ 0 – 180 องศา

ใบงานแต่ละใบงานจะเป็นการศึกษาถึงคุณสมบัติ และการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัว รวมถึงการใช้งานวงจรพื้นฐานที่จะเป็นพื้นฐานในการศึกษาวงจร และระบบใหญ่ๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการนี้ได้นำเสนอวงจรพื้นฐาน และชุดใบงานที่จะเป็นประโยชน์ในการเรียนการสอน วิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลังในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง และระดับปริญญาตรี ซึ่งจะ เป็นพื้นฐานในการศึกษาถึงระบบต่างๆ ต่อไปได้

1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

ในการสร้างชุดทดลองการควบคุมไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง สามารถที่จะเลือกใช้งาน ได้ทั้งระบบ 1 เฟส และระบบ 3 เฟส สามารถควบคุมมุมนำกระแสของไทรสเตอร์ได้ตั้งแต่ 0 – 360 องศา สามารถนำไปเป็นแนวทาง และประยุกต์ใช้กับงานจริงได้เป็นอย่างดี ซึ่งความสามารถหลัก ของชุดทดลองสามารถที่จะนำออกแบบใบงานการทดลองได้ 13 ใบงาน ซึ่งจะสอดคล้องกับ ประสิทธิภาพ และความสามารถของชุดทดลอง ดังต่อไปนี้

1. วงจรการทำงานของ ไดโอด, ไทรแอก, เอสซีอาร์
2. วงจรเรียงกระแส 1 เฟสครึ่งคลื่น
3. วงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นแบบบริดจ์
4. วงจรเรียงกระแส 3 เฟสครึ่งคลื่น
5. วงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นแบบบริดจ์
6. วงจรเรียงกระแส 1 เฟสครึ่งคลื่นที่ควบคุมแรงดันได้
7. วงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมได้แบบครึ่งบริดจ์
8. วงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมได้แบบเต็มบริดจ์
9. วงจรเรียงกระแส 3 เฟสครึ่งคลื่นแบบควบคุมได้
10. วงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมได้แบบครึ่งบริดจ์
11. วงจรเรียงกระแส 3 เฟสที่ควบคุมได้แบบเต็มบริดจ์
12. วงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบบริดจ์หนึ่งเฟสกับ โหลดมอเตอร์กระแสตรง
13. วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบควบคุมเฟส

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญาณฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษา และทำความเข้าใจในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาที่มีความสำคัญดังต่อไปนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ประกอบด้วยเนื้อหา และหลักการในทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กับชุดทดลอง และใบงานการทดลองทั้ง 13 ใบงาน ซึ่งทำให้ผู้อ่านได้มีความรู้ ความเข้าใจที่เป็น พื้นฐานเสียก่อนอันจะเป็นประโยชน์ต่อการทำความเข้าใจกับการทดลองในวงจรที่ใช้งานจริง และ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองทางด้านการปฏิบัติ และทางด้านทฤษฎีว่ามีความสอดคล้องกันจริง

บทที่ 3 การออกแบบการสร้าง และการทำงานของชุดทดลองการควบคุมไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยกล่าวถึงโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ การออกแบบฮาร์ดแวร์ และการออกแบบใบงานการทดลอง รวมถึงหลักการทำงานในส่วนต่างๆ ของฮาร์ดแวร์ เพื่อให้ผู้อ่านหรือผู้ทดลองได้ศึกษาถึงการทำงานของชุดทดลองซึ่งจะช่วยให้ลดปัญหาจากการทดลอง และทำให้ผู้อ่าน หรือผู้ทดลองมีความเข้าใจการทำงานโดยรวมของโครงการนี้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง กล่าวถึงขั้นตอนการทดลอง และการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของชุดทดลอง และได้นำผลของการทดลองนี้มาตรวจสอบว่าชุดทดลองนี้สามารถทำงานได้ตรงตามจุดประสงค์ที่วางไว้จริง

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และการพัฒนา เป็นการสรุปผลการทำงาน และได้เสนอแนวทางการแก้ไข และแนวทางในการพัฒนาชุดทดลองการควบคุมไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลังรวมทั้งใบงานการทดลองให้มีประสิทธิภาพ และการใช้งานได้อย่างกว้างขวางขึ้น

ในภาคผนวกแสดงรายละเอียดของใบงานการทดลอง และรายการอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้จัดทำชุดทดลองนี้

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

ภาคผนวก ข วงจรพิมพ์ และลายวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค รายการข้อมูล และคุณสมบัติของอุปกรณ์

บทที่ 2

ทฤษฎี และหลักการ

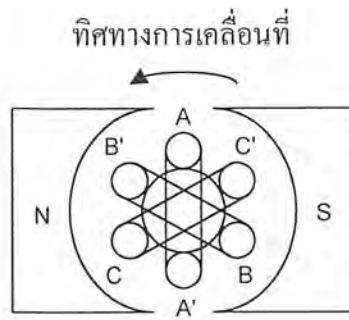
2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริญญาบัตรฉบับนี้จะเป็นทฤษฎี และหลักการ ที่นำมาประกอบการสร้างชุดทดลอง โดยประกอบด้วยหลักการเบื้องต้นของระบบไฟฟ้า 3 เฟส หลักการทำงาน และการควบคุมไทรสเตอร์, การเรียงกระแสที่มีการควบคุม, การ ปิด - เปิด กระแสของไทรสเตอร์, วงจรจุดชนวน, การควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ, การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง, การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

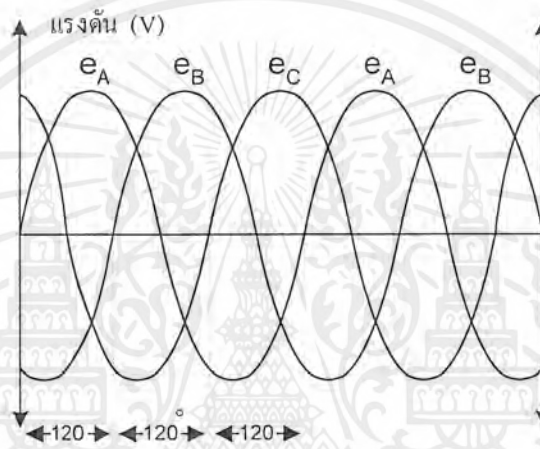
2.2 วงจรระบบไฟฟ้าสามเฟส

2.2.1 การกำเนิดแรงดันในระบบไฟฟ้าสามเฟส

ในรูปที่ 2.1 (ก) จะเห็นได้ว่า ประกอบด้วยคอล์ยทั้งหมด 3 ชุด คือ คอล์ย A คอล์ย B คอล์ย C โดยคอล์ยแต่ละชุดจะวางห่างกันช่วงละ 120 องศา ดังนั้น เมื่อคอล์ยหมุนไปตามทิศทางที่แสดงให้เห็นตามในรูป 2.1 (ก) ก็จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นในแต่ละคอล์ย ซึ่งแรงดันที่เกิดขึ้น ดังกล่าวนี้ จะมีความต่างเฟสกันเท่ากับ 120 องศา โดยที่แรงดัน e_A ในคอล์ย A ที่เกิดขึ้น จะมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นก่อนหลังจากนั้นแรงดัน e_B และ e_C ในคอล์ย B และ C ก็จะเกิดค่าสูงสุดตามลำดับ ซึ่งการเกิดแรงดันในลักษณะนี้ คือ การเกิดแรงดันในลักษณะตามลำดับ ABC หรือระบบ ABC พิจารณาในรูปที่ 2.1 (ข) อย่างไรก็ดีตามลักษณะการเกิดแรงดันในลักษณะตามลำดับ ABC หรือระบบ ABC นี้ เราจะพิจารณาเห็นได้อย่างชัดเจน จากเฟสเซอร์ไดอะแกรมในรูปที่ 2.1 (ค) คือ เมื่อเฟสหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาผ่านจุดๆ หนึ่งซึ่งเป็นจุดคงที่ (ถือว่าเป็นจุดอ้างอิง) จะพิจารณาเห็นว่า เฟสเซอร์ของแรงดัน E_A จะเคลื่อนที่ผ่านจุดคงที่ ดังกล่าวก่อน หลังจากนั้นเฟสเซอร์ของแรงดัน E_B และ E_C ก็จะเคลื่อนที่ผ่านจุดคงที่ดังกล่าวตามลำดับ



(ก) คอยล์แต่ละชุดห่างกัน 120 องศา



(ข) แรงดันที่เกิดขึ้นในลักษณะตามลำดับ ABC

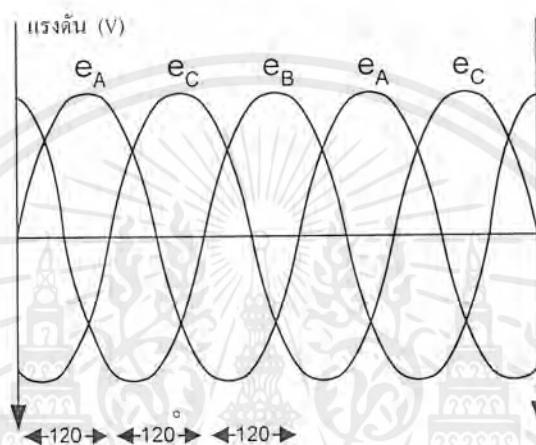


(ค) เฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันที่เกิดขึ้นในลักษณะตามลำดับ ABC

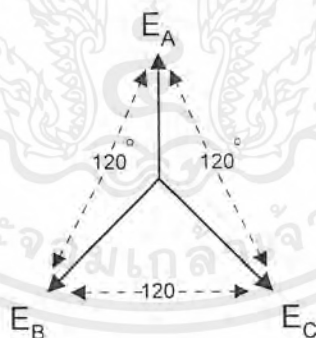
รูปที่ 2.1 แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในลักษณะ ABC

ถ้าหากคอยล์ทั้งสามชุดที่แสดงให้เห็นตามในรูปที่ 2.1(ก) เกิดเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับลูกศรที่แสดงให้เห็นตามรูป 2.1(ก) คือ เคลื่อนที่หมุนไปทางซ้ายหรือตามเข็มนาฬิกา ก็จะทำให้เกิดแรงดันเกิดขึ้นในลักษณะตามลำดับ CBA หรือระบบ CBA นั่นเอง ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารทศวงวินวสสำหรับการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติหน้าไปไซประยะขนดานการคา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 (ก) ส่วนเฟสเซอร์ ไดอะแกรมของแรงดันที่แสดงให้เห็นตามรูปที่ 2.2 (ข) จะพิจารณาเห็นว่าเมื่อเฟสเซอร์เคลื่อนที่หมุนไปทางขวาหรือทวนเข็มนาฬิกาจะเห็นว่าเฟสเซอร์ของแรงดัน E_C จะหมุนไปก่อน (เมื่อพิจารณาเริ่มต้นที่แรงดัน E_C) หลังจากนั้นเฟสเซอร์ของแรงดัน E_B และ E_A จะหมุนตามลำดับ นั่นคือเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันในรูปที่ 2.2 (ข) จะมีความสัมพันธ์และสอดคล้องกับแรงดันในรูปที่ 2.2 (ก) กล่าวคือ เป็นลักษณะที่ชี้แสดงให้เห็นถึงการเกิดแรงดันในลักษณะตามลำดับ CBA หรือระบบ CBA



(ก) แรงดันที่เกิดในลักษณะตามลำดับ CBA



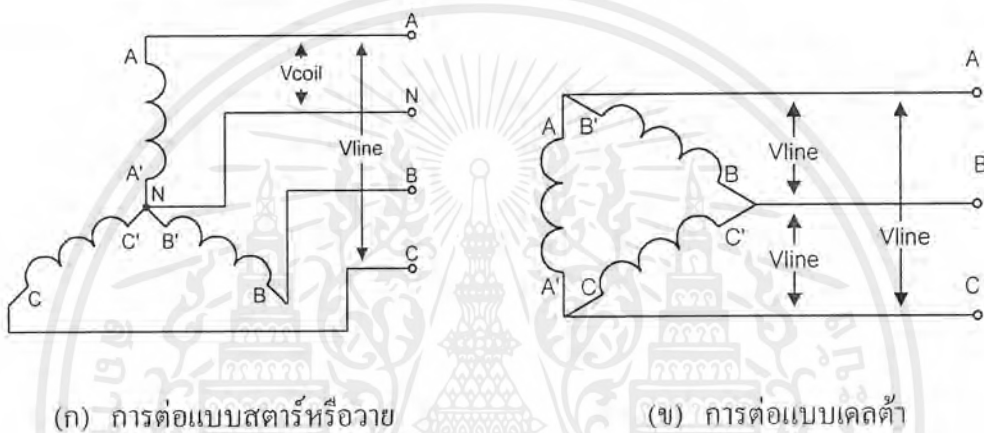
(ข) เฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันที่เกิดในลักษณะตามลำดับ CBA

รูปที่ 2.2 แรงดันไฟฟ้าที่เกิดในลักษณะ CBA

อย่างไรก็ตาม ลักษณะการวางคอล์ย ที่เขียนแสดงให้เห็นตามรูปที่ 2.1 (ก) นั้นจะพิจารณาเห็นได้ว่า เมื่อนำไปใช้งานทางด้านปฏิบัติแล้ว จะทำให้การพันขดลวดหรือคอล์ยบนโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีขีดจำกัดของจำนวนคอล์ย เพราะไม่สามารถที่พันขดลวดหรือคอล์ยได้เป็นจำนวนมากๆ และเป็นจริงแล้ว เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ๆ ทั้งหมดทางบริษัทผู้ผลิตจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างขึ้นมาโดยให้สนามแม่เหล็กเป็นตัวหมุน และให้ขดลวดหรือคอล์ยพันอยู่กับส่วนที่อยู่กับที่ หรือสเตเตอร์นั่นเอง แต่อย่างไรก็ตาม การที่เราพิจารณาให้คอล์ยหมุนในสนามแม่เหล็กตามรูปที่ 2.1 (ก) นั้นก็เพื่อใช้อธิบายผลที่เกิดขึ้นตามทางทฤษฎี

จากรูปที่ 2.1 (ก) จะเห็นได้ว่า เมื่อนำปลายคอล์ย A, B และ C มาต่อเข้าด้วยกันที่จุด N ก็ จะเรียกรวมการต่อคอล์ย ในลักษณะนี้ว่า เป็นการต่อแบบสตาร์หรือ วาย ดังรูปที่ 2.3 (ก) แต่ถ้านำปลาย A ต่อกับ B, ปลาย C ต่อกับ A และปลาย ต่อกับ ก็ จะเรียกรวมการต่อคอล์ยในลักษณะนี้ว่า เป็นการต่อแบบเดลต้า ดังรูปที่ 2.3 (ข)



รูปที่ 2.3 การต่อขดลวดในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

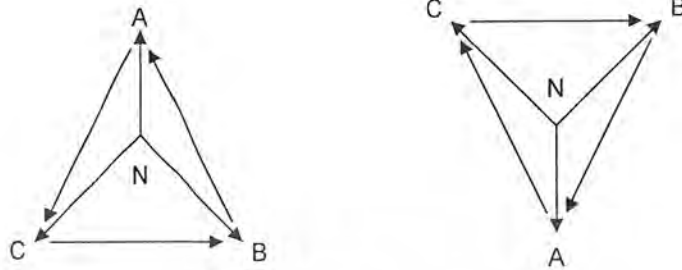
ในการต่อแบบสตาร์นี้จะได้กระแสที่ไหลในคอล์ยเท่ากับกระแสที่ไหลในสาย และแรงดันระหว่างสายจะมีค่าเท่ากับ $\sqrt{3}$ เท่าของแรงดันที่คอล์ย อย่างไรก็ตามสาย A, B และ C ที่ แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.3 (ก) คือ สายส่งแรงดัน ในระบบสามเฟสนั้นเอง ส่วนที่จุดนิวตรอล N ของ การต่อแบบสตาร์ เมื่อนำตัวนำมาต่อเพิ่มขึ้นอีกสายหนึ่ง ก็จะนำไปใช้เป็นระบบสามเฟส - สี่สาย

ส่วนการต่อแบบเดลตานั้น จะได้แรงดันระหว่างสายเท่ากับแรงดันที่คอล์ย และกระแสที่ ไหลในสาย มีค่าเท่ากับ $\sqrt{3}$ เท่าของกระแสที่ไหลในคอล์ย

2.2.2 การพิจารณาแรงดันในระบบไฟฟ้าสามเฟส

การพิจารณาแรงดันในระบบสามเฟสนั้น เราจะเลือกเฟสเซอร์ของแรงดันที่มีมุมเฟสที่ศูนย์ เป็นแกนอ้างอิง ทั้งนี้เพื่อนำไปหาค่ามุมเฟสของแรงดันต่างๆ ทั้งหมดในระบบ ซึ่งในส่วนนี้เราจะ เลือก V_{BC} เป็นแกนอ้างอิง และจากเฟสเซอร์โคจรของแรงดันต่างๆ เขียนประกอบกันเป็นรูป สามเหลี่ยมดังรูปที่ 2.4 (ก) และ (ข) จะพิจารณาเห็นว่า จะมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับลักษณะของ การเกิดแรงดัน ในลักษณะตามลำดับ ABC และ CBA ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- (ก) ส่วนประกอบเฟสเซอร์ของแรงดัน ที่เกิดในลักษณะตามลำดับ ABC
 (ข) ส่วนประกอบเฟสเซอร์ของแรงดัน ที่เกิดในลักษณะตามลำดับ CBA

รูปที่ 2.4 เฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าระบบ 3 เฟส

คำว่า “ระบบแรงดัน” ในวงจรสามเฟสจะหมายถึง แรงดันระหว่างสายแต่ละคู่ ซึ่งจะหมายถึง แรงดันระหว่างสาย A กับ B, B กับ C และ C กับ A แต่ถ้าเป็นวงจรระบบสามเฟส สี่สาย จะได้ขนาดของแรงดันระหว่างสายกับนิวทรัล เท่ากับ $\frac{1}{\sqrt{3}}$ เท่าของแรงดันระหว่างสาย

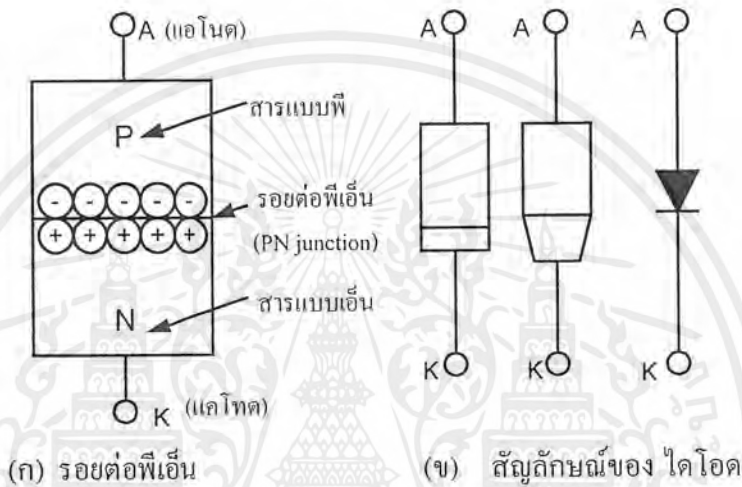
2.3 คุณลักษณะและการทำงานของไดโอด

2.3.1 ไดโอดสวิตช์แบบที่ 1

ไดโอดเป็นผลิตภัณฑ์ทางสถานะของแข็งที่ผลิตขึ้นจากชั้นผลึกของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งได้เติมสารเจือปนให้ซีกหนึ่งของชั้นผลึกกลายเป็นสารแบบพี และอีกซีกหนึ่งกลายเป็นสารแบบเอ็น ตรงกลางของชั้นจะกลายเป็นรอยต่อระหว่างสารแบบพีและสารแบบเอ็น จะมีการแพร่กระจายของพาหะไปทั่วชั้นผลึกและข้ามรอยต่อไปมาซึ่งจะเข้าสู่สมดุลที่สภาวะความร้อนอันหนึ่งๆ ทำให้เกิดมีประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบอยู่ตรงรอยต่อระหว่างสารแบบพีและสารแบบเอ็น ดังรูปที่ 2.5 (ก) เรียกว่า “รอยต่อพีเอ็น” ไดโอดมีสองขั้วเรียกว่า “แอนโนด” และ “แคโทด” ซึ่งขั้วแอนโนดเป็นเส้นโลหะต่อติดกับด้านพีของรอยต่อและแคโทดเป็นเส้นโลหะต่อติดกับด้านเอ็นของรอยต่อ เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพและการชำรุดต่างๆ ตัวของไดโอดจะห่อหุ้มไว้ด้วยเปลือกที่ทำจากแก้วพลาสติก หรือโลหะ ที่เปลือกมีเครื่องหมายแสดงขั้วแอนโนดและขั้วแคโทดไว้ดังรูปที่ 2.5 (ข) ไดโอดทำหน้าที่เป็นเครื่องเรียงกระแสหรือคอนเวอร์เตอร์แบบหนึ่ง ซึ่งถูกแบ่งชั้นให้เป็นสวิตช์แบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราต่อแรงดันไฟฟ้าเข้ากับไดโอด โดยให้ขั้วแอโนดมีศักย์เป็นบวกเทียบกับแคโทด แล้วจึงมีกระแสไหลได้ และมีแรงดันตกคร่อมไดโอดมีขนาดน้อยมาก เราเรียกการต่อแบบนี้ว่า “การไบแอสตรง” แต่ถ้าเราต่อกลับขั้วของไดโอด จะมีกระแสไหลได้น้อยมากเป็นขนาดไมโครแอมป์ ซึ่งตามกรณีอุดมคติ เราถือว่าไม่มีกระแสไหลได้เลย เราเรียกการต่อแบบนี้ว่า “การไบแอสกลับ” และเราเขียนรูปสามเหลี่ยมและขีดเป็นสัญลักษณ์แทนไดโอด โดยใช้มุมยอดมุมหนึ่งของสามเหลี่ยมแสดงทิศทางของกระแสไบแอสตรงดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข)



รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์ของไดโอด

สารแบบพีมีโฮลซึ่งมีประจุบวกเป็นพาหะข้างมาก และอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบเป็นพาหะข้างน้อยของการนำกระแสไฟฟ้า แต่ในสารแบบเอ็นมีอิเล็กตรอนเป็นพาหะข้างมากและมีโฮลเป็นพาหะข้างน้อยของการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิแวดล้อมตามปกติทั้งอิเล็กตรอนและโฮล จะแพร่กระจายไปทั่วทั้งชิ้นผลึก เมื่อนำสารทั้งสองชนิดมาต่อกันโฮลในสารแบบพีก็จะแพร่กระจายข้ามรอยต่อเข้าไปยังสารแบบเอ็น แล้วทั้งอิเล็กตรอนและโฮล ซึ่งมีประจุลบไว้ และอิเล็กตรอนในสารแบบเอ็นจะแพร่กระจายข้ามรอยต่อเข้าไปในสารแบบพี แล้วทั้งโคโนอร์อออน ซึ่งมีประจุบวกไว้ แอ็คเซปเตอร์อออนและ โคโนอร์อออนที่อยู่ตรงบริเวณรอยต่อจะส่งเส้นแรงไฟฟ้าเข้ายึดเหนี่ยวกัน ทำให้มีประจุบวกและประจุลบค้างอยู่ที่รอยต่อ บริเวณที่มีประจุเหล่านี้ค้างอยู่เรียกว่า “บริเวณประจุค้าง” หรือเรียกว่า “ชั้นปลอดพาหะ” และมีศักย์ขวางกัน เกิดขึ้นทิศขวางการไหลต่อไปของพาหะข้างมาก แต่อย่างไรก็ตามพาหะข้างมากบางตัวมีพลังงานสูงมากพอ จะยังสามารถแพร่กระจายข้ามรอยต่อนี้ได้ เพราะฉะนั้น อิเล็กตรอนบางตัวที่มีพลังงานสูงอาจข้ามรอยต่อจากสารแบบเอ็นเข้าไปสู่สารแบบพีแล้วเข้าร่วมกับโฮล และโฮลบางตัวอาจข้ามรอยต่อจากสารแบบพีเข้าไปสู่สารแบบเอ็นแล้วเข้าร่วมตัวกับอิเล็กตรอน เป็นเหตุให้มีกระแสเข้ารวมกันใหม่ ซึ่งมีค่าเท่ากับผลบวกของการไหลของ

พาหะข้างมาก สองชนิดนี้ ศักย์ขวางกันไม่มากีดขวางการไหล ของพาหะข้างน้อย โดยที่อุณหภูมิ แวดล้อมตามปกติพาหะข้างน้อยจะไหล ได้กลายเป็นกระแสเชิงความร้อน ถ้ามีอุณหภูมิสูงขึ้น อิเล็กตรอนบอนด์ บางแห่งอาจจะหลุดออกจากกันทำให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอนและโฮล ศักย์ขวางกัน ของรอยต่อจะดึงดูดพาหะข้างน้อยเหล่านี้เข้าไปหาและเร่งให้มีพลังข้ามรอยต่อแล้วกลายเป็นพาหะ ข้างมาก

เมื่อยังไม่นำเอาแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกเข้าต่อกับขั้วทั้งสองของไดโอดกระแสรวมทั้ง หมดที่รอยต่อซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากกระแสเชิงความร้อนเข้ารวมกันและกระแสเชิงความร้อน มีค่าเท่ากับศูนย์

ถ้าเราต่อแรงดันไฟฟ้าภายนอกเข้ากับไดโอดให้เป็นแบบฟอร์เวิร์ดไบแอส แรงดันไฟฟ้านี้ จะไปทำให้ศักย์ขวางกันชั้นรอยต่อมีค่าลดต่ำลง กระแสเชิงความร้อนจะยังคงไหลอยู่เช่นเดิม โดย ไม่มีผลกระทบกระเทือนอะไรแต่พาหะข้างมากที่มีพลังงานสูงและดำจำนวนมากก็จะสามารถไหล ข้ามศักย์ขวางกันที่ลดต่ำลงนี้ได้ และสามารถหลีกเลี่ยงจากการเข้ารวมกัน มีจำนวนมาก จึงไหลออก ไปตามวงจรภายนอกที่เข้ามาต่อโดยรอยต่อพีเอ็นมีความต้านทานต่ำต่อการไหลของกระแสนี้ และ ถ้าเราเพิ่มขนาดของแรงดันภายนอกนี้ให้สูงขึ้นเรื่อยๆ ก็จะมีกระแสไหลแรงขึ้นเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.6

ถ้าเราต่อแรงดันไฟฟ้าภายนอกให้เป็นไบแอสกลับ แรงดันไฟฟ้านี้จะทำให้ศักย์ขวางกัน ครอบรอยต่อมีค่าสูงขึ้นมากกว่าเดิม กระแสเชิงความร้อนยังคงไหลได้อยู่เช่นเดิมโดยไม่มีผลกระทบ กระเทือนอะไร แต่พาหะข้างมากมีพลังงานต่ำจะไม่สามารถข้ามศักย์ขวางกันรอยต่อนี้ได้ และ พาหะข้างมากที่มีพลังงานสูงก็สามารถข้ามศักย์ขวางกันนี้ได้น้อยลงจึงทำให้มีกระแสเชิงความร้อน ลดค่าลง ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดกระแสผลลัพท์ขึ้นขึ้น แต่มีค่าน้อยมากไหลออกไปตามวงจร ภายนอกใน ทิศทางกลับกันกับการไบแอสตรง ถ้าเราเพิ่มขนาดของแรงดันภายนอกนี้ให้สูงขึ้นอีก พาหะข้างมาก ก็ไม่สามารถข้ามรอยต่อได้ทั้งหมด ทำให้มีแต่กระแสเชิงความร้อนเท่านั้นที่ยังคงไหลอยู่เช่นเดิม ดังนั้นกระแสที่ไหลออกไปตามวงจรภายนอกจึงมีขนาดคงที่ซึ่งเป็นระดับอิ่มตัว โดยถ้าเพิ่มขนาดแรง ดันขึ้นไปอีกกระแสก็ยังคงไหลอยู่ด้วยขนาดคงที่นี้ต่อเมื่อแรงดันไฟฟ้าภายนอกมีขนาดสูงขึ้นมากถึง ค่าหนึ่ง เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าซีเนอร์ หรือแรงดันพังทะลุกลับ ก็จะทำให้มีสนามไฟฟ้ามีค่าสูง และ เป็นการเพิ่มพลังงานให้กับพาหะข้างน้อยพาหะข้างน้อยจะวิ่งด้วยอัตราเร็วสูงเข้าชนและกระแทกเอา พาหะข้างน้อยอื่นๆ ให้หลุดออกจากที่อยู่ปกติไปเพิ่มจำนวนเข้ากับพาหะข้างน้อยเดิม ทำให้มีกระแส ที่รอยต่อเพิ่มขึ้นอย่างมากมายและรวดเร็ว เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการพังทะลุ และเรียกการที่มีกระแส เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นนี้ว่า การพังทลาย ซึ่งสามารถนำไปเขียนเป็นลักษณะสมบัติของไดโอด ได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะสมบัติของไดโอด

2.3.2 พารามิเตอร์ในสถานะคงตัวของไดโอด

สังเกตได้ว่า ลักษณะสมบัติในรูปที่ 2.6 มีพารามิเตอร์สถานะคงตัว ที่สำคัญคือ แรงดันตกคร่อมในทิศทางไบแอสตรง มีคุณสมบัติขึ้นอยู่กับสาร กึ่งตัวนำที่ใช้ผลิตไดโอด ขึ้นมาและไม่ขึ้นอยู่กับอัตรากระแสของไดโอด ถ้าสารกึ่งตัวนำที่ใช้ผลิตเป็น ซิลิกอนจะมีแรงดันตก ทิศไบแอสตรงประมาณ 1 โวลต์ และถ้าเป็นเจอร์มาเนียมจะมีแรงดันตกทิศทางไบแอสตรงประมาณ 0.7 โวลต์

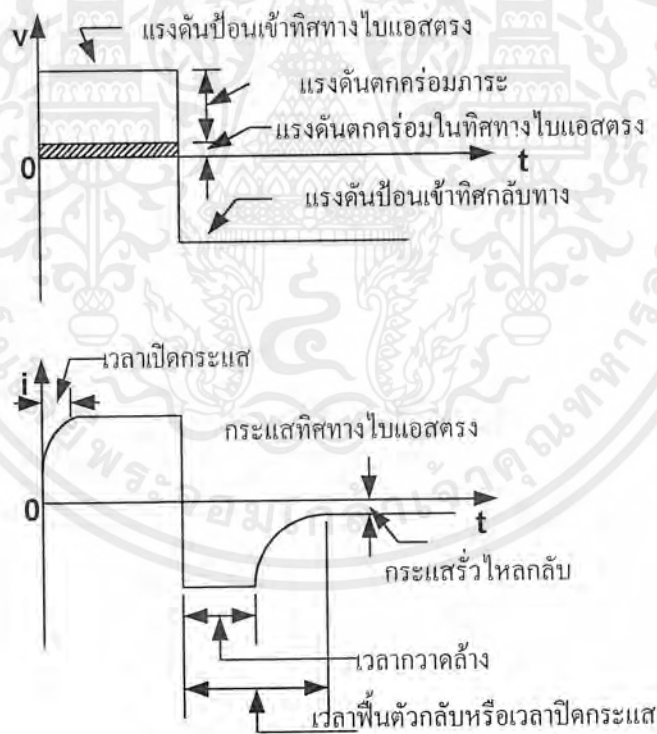
อุณหภูมิรอยต่อหรืออุณหภูมิภายใน เป็นตัวประกอบที่สำคัญตัวหนึ่งในการทำงานของสิ่ง ประดิษฐ์ทางสถานะของแข็งคือ ไดโอดกำลัง จะถูกกำหนดอัตราต่างๆ ไว้ที่อุณหภูมิรอยต่อสูงถึง 200 องศาเซลเซียสกำลังสูญเสียในทิศทางไบแอสตรงกระจายหายไป ของไดโอดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ แรงดันทิศทางไบแอสตรง เนื่องจากแรงดันตกคร่อมมีค่าค่อนข้างคงที่ ดังนั้นความสามารถของได โอดที่กระจายความร้อนออกไปไม่ให้มีอุณหภูมิสูงกว่าอัตราอุณหภูมิรอยต่อสูงสุด ขึ้นอยู่กับอัตรา กระแสทิศทางไบแอสตรงของไดโอดนั้น ถ้ามีกระแสขนาดใหญ่ไหลผ่านไดโอดก็เป็นสาเหตุทำให้ เกิดความร้อนที่จะต้องกระจายออกไปมากขึ้น ในกรณีที่เราต้องการระบายความร้อนที่ดีขึ้นและมี ขนาดใหญ่กว่าเดิม

กระแสรั่วไหลกลับ ของไดโอดจะมีค่าขึ้นอยู่กับขนาดและการออกแบบภายในและขึ้นอยู่กับ การรั่วที่ผิวของรอยต่อของไดโอดนั้น กระแสรั่วไหลกลับนี้ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ถ้ารอยต่อมี อุณหภูมิสูงขึ้น

แรงดันพืงทะเลกลับ หรือแรงดันซีเนอร์ มีค่าขึ้นอยู่กับกรอกแบบภายในของไดโอดแต่ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาด ในกระบวนการผลิตทางปฏิบัติทำให้มีค่าแรงดันพืงทะเลกลับแตกต่างกันเป็นกลุ่มๆ ของไดโอดที่ผลิตออกมา เราต้องทดสอบหาแรงดันพืงทะเลกลับของไดโอดทีละตัว

อัตรากระแสทิศทางไบแอสตรงและแรงดันพืงทะเลกลับเป็นพารามิเตอร์สองตัวที่ใช้กำหนดภาวะสูงสุดที่ไดโอดสามารถควบคุมได้

ไดโอดทำหน้าที่เรียงกระแสกลับให้เป็นกระแสตรงและถูกแบ่งชั้นให้เป็นสวิตช์แบบที่ 1 ซึ่งทำงานได้เร็วกว่าสวิตช์เชิงกลที่มีอัตรากำลังเท่ากัน แต่ก็ไม่นับปลิ้นทันทีและต้องการเวลาบ้างเล็กน้อย โดยถ้าเราป้อนแรงดันทิศไบแอสตรงที่มีรูปสี่เหลี่ยมให้กับไดโอด ไดโอดจะต้องการเวลาในการให้ประจุที่รอยต่อพีเอ็นเข้าสู่สมดุลเพื่อที่จะนำกระแสทิศทางไบแอสตรงให้เต็มที่ เวลานี้เรียกว่า “เวลาเปิดกระแส” ซึ่งมีขนาดสั้นมากวัดได้ในหน่วยของนาโนวินาทีเมื่อไดโอดได้นำกระแสเต็มที่แล้วจะมีแรงดันตกคร่อมไดโอดน้อยมากแรงดันที่เหลือจะไปตกคร่อมภาระ (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 ลักษณะสมบัติของการเปลี่ยนแปลงชั่วคราวระหว่างแรงดันกับกระแสของไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่ไดโอดกำลังนำกระแสในทิศทางตรงอยู่ แล้วเราป้อนแรงดันกลับทางอย่างฉับพลันให้กับไดโอดเพื่อจะให้หยุดนำกระแส พายุซึ่งทำให้เกิดกระแสไหลจะต้อง “ถูกกวาดล้างออกไป” จากบริเวณรอยต่อก่อนที่จะมีการไม่นำกระแสในทิศทางกลับทาง ในขณะที่การกวาดล้างนี้ทำให้ความหนาแน่นของพายุที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและทำให้มีกระแสไหลกลับทางได้ดีเท่าๆ กับกระแสในทิศทางไปแอสดตรงอยู่ครู่หนึ่งซึ่งเป็นเวลาที่สั้นมากเรียกว่ากระแส “กวาดล้างพายุ” เมื่อพายุข้างมากได้ถูกกวาดล้างไปหมดแล้ว ก็จะเหลือแต่ประจุค้างและพายุข้างน้อย ซึ่งนำกระแสต่อไปในทิศทางแต่มีอัตราน้อยลง ไม่ทันกับการเพิ่มค่าขึ้นของศักย์ขวางกันจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัวไดโอดจะฟื้นตัวกลับคืนสู่ภาวะกั้นกระแส แล้วจะนำกระแสในทิศทางกลับทางได้เพียงเล็กน้อย ช่วงเวลาที่ไดโอดต้องใช้ไปในการเปลี่ยนจากภาวะนำกระแสไปสู่ภาวะกั้นกระแสโดยเปลี่ยนทิศของแรงดันไฟฟ้าเช่นนี้ เรียกว่า “เวลาฟื้นตัวกลับ” หรือ “เวลาปิดกระแส” ของไดโอด เวลาที่สั้นมากอยู่ในขนาดของนาโนวินาทีด้วย ตัวอย่างเช่น ไดโอดแรงดันที่ใช้ในคอมพิวเตอร์มีเวลาฟื้นตัวเร็วมากในขนาดเศษหนึ่งส่วนสิบของไมโครวินาทีและไดโอดกำลังสูงมีเวลาฟื้นตัวในขนาดไมโครวินาที

2.3.3 สมมติฐานในการวิเคราะห์วงจรเรียงกระแส

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์วงจรเรียงกระแสด้วยไดโอด เราจะพิจารณาไดโอดเป็นไดโอดอุดมคติซึ่งไม่มีแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะเมื่อไดโอดกำลังนำกระแสไม่มีกระแสรั่วไหลกลับขณะเมื่อมีแรงดันกลับทางป้อนให้กับไดโอด ดังนั้นเราสามารถเขียนโมเดลแทนไดโอดอุดมคติด้วยสวิตช์ ดังรูปที่ 2.8 (ก) และมีลักษณะสมบัติของโมเดล ดังรูปที่ 2.8 (ข)



ก. สัญลักษณ์และ โมเดลของ ไดโอด

ข. ลักษณะสมบัติระหว่างแรงดันกับกระแส

รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์และ โมเดลของ ไดโอดและลักษณะสมบัติระหว่างแรงดันกับกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

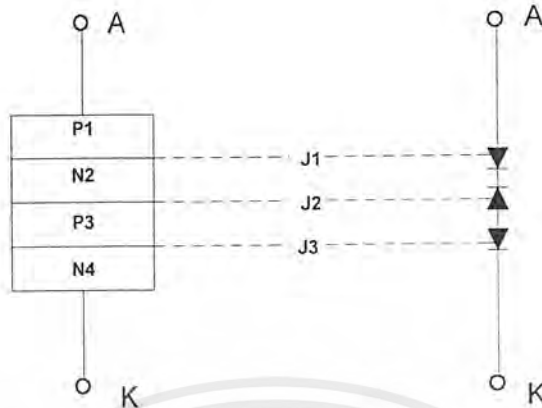
- ดังนั้นในการนำไดโอดเข้าใช้เรียงกระแสจะต้องสมมติฐานของวงจรเรียงกระแสอุดมคติว่า
1. จะต้องไม่มีแรงดันตกคร่อมถึงประดิมฐ์ที่ใช้เป็นสวิตช์ขณะเมื่อสิ่งประดิมฐ์นี้กำลังนำกระแส และจะต้องไม่มีกระแสรั่วไหลกลับขณะเมื่อสิ่งประดิมฐ์นี้อยู่ในสภาวะกั้นกระแส
 2. สิ่งประดิมฐ์ที่ใช้เป็นสวิตช์สามารถเปิดให้นำกระแสหรือปิดให้หยุดนำกระแสได้ฉับพลันทันที หรือเวลาเปิดให้นำกระแสและเวลาปิดให้นำกระแสของสิ่งประดิมฐ์นี้มีค่าเท่ากับศูนย์
 3. แรงดันกระแสสลับของสายไฟฟ้ามีรูปเป็นคลื่นไซน์ และจะต้องไม่มีอิมพีแดนซ์กระจายแยกกับอยู่ตามที่ต่างๆ เช่น อิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้า, รีแอคแตนซ์ของหม้อแปลง เป็นต้น
 4. ให้กระแสดีซีไหลด้วยค่าคงที่ในแต่ละวัฏจักร โดยสมมติให้ขั้วดีซีต่อเข้ากับวงจรกรองคลื่นอุดมคติ ซึ่งมีค่าเหนี่ยวนำสูงมากเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์

ตัวประกอบที่สำคัญซึ่งมีอิทธิพลต่อการเลือกแบบและออกแบบวงจรเรียงกระแสคือ ขนาดและความถี่ของแรงดันระลอกคลื่น(Ripple)ที่ขั้วดีซีถ้าแรงดันระลอกคลื่นมีขนาดเล็กและมีความถี่สูงก็จะเป็นการง่ายที่จะออกแบบวงจรกรองคลื่นที่มีราคาถูกและตรงตามรายการที่ระบุไว้ เพื่อสะดวกเราจึงนิยามว่า จำนวนพัลส์ เป็นอัตราส่วนของความถี่พื้นฐานของระลอกคลื่นดีซีต่อความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนมากวงจรเรียงกระแสเฟสเดียว มี 2 พัลส์ และวงจรเรียงกระแสสามเฟสมี 6 พัลส์

2.4 ไทริสเตอร์และการเรียงกระแสที่มีการควบคุม

2.4.1 ไทริสเตอร์แบบสวิตช์แบบที่ 2

ไทริสเตอร์เป็นชื่อรวมหรือชื่อตระกูล ของสิ่งประดิมฐ์ทางสถานะของแข็ง ที่ผลิตขึ้นจากสารกึ่งตัวนำแบบพีและแบบเอ็นเรียงสลับกันเป็นชั้นๆ ตั้งแต่สี่ชั้นขึ้นไป ซึ่งจะทำให้เกิดมีรอยต่อพีเอ็นสามารถรอยต่อขึ้นไปเรียงเป็นอนุกรมสามารถทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิดวงจรสามารถควบคุมจังหวะการเปิดให้นำกระแสได้สามารถนำไปควบคุมกำลังไฟฟ้าขนาดใหญ่ได้ และถูกแบ่งชั้นให้เป็นสวิตช์แบบที่ 2 ผลิตขึ้นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2500 โดยบริษัทเจเนอรัลอิเล็กทริก



(ก) การเรียงสารกึ่งตัวนำ (ข) รูปสมมูลเป็นไดโอดสามตัวต่อเรียงกัน

รูป 2.9 โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำชนิด PNPN

ไทรสเตอร์มีสมาชิกหลายชนิดซึ่งอาจจะมีคุณสมบัติให้กระแสไหลได้ทางเดียว หรือให้กระแสไหลได้สองทาง และอาจมีขั้ว สองขั้ว สามขั้วหรือสี่ขั้ว ดังเช่น

เอสซีอาร์ เป็นไทรสเตอร์ชนิดที่มีสามขั้วคือแอนโนด, แคโทด และเกต มีคุณสมบัติให้กระแสไหลได้ทางเดียวจากแอนโนดไปยังแคโทดและอาจเรียกชื่อว่า ไทร โอดไทรสเตอร์ที่กั้นไม่ให้กระแสไหลกลับ

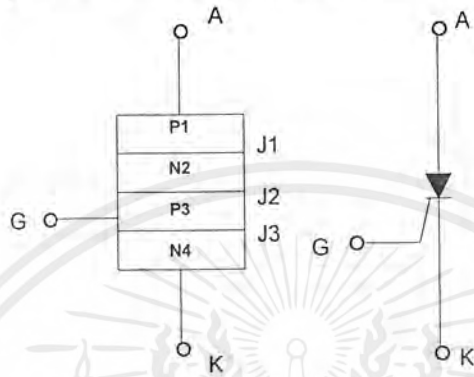
ไทรแอก เป็นไทรสเตอร์ชนิดที่มีสามขั้ว ก็ือเกต และอีกสองขั้วเป็นได้ทั้งแอนโนดและแคโทด เพราะว่าไทรแอกมีคุณสมบัติให้กระแสไหลได้สองทิศทาง และอาจเรียกชื่อว่า ไทร โอดไทรสเตอร์ ที่ให้กระแสไหลได้สองทิศทาง

เอสยูเอสหรือซ็อกเลย์ไดโอด เป็นไทรสเตอร์ชนิดที่มีสองขั้ว คือ แอนโนดกับแคโทดและมีคุณสมบัติให้กระแสไหลได้ทิศทางเดียว

เนื่องจากเอสซีอาร์และไทรแอกสามารถนำกระแสขนาดใหญ่มาก และนิยมที่จะนำไปใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้าขนาดใหญ่ ดังนั้นจะได้อธิบายละเอียดถึงเอสซีอาร์และไทรแอก ในที่นี้ถ้ากล่าวถึงไทรสเตอร์ขอให้หมายถึงเอสซีอาร์ ในบางครั้งอาจหมายถึงไทรแอก หรือหมายถึงเอสซีอาร์และไทรแอกทั้งคู่ และถ้าจะกล่าวถึงไทรสเตอร์ชนิดอื่นจะได้กล่าวให้ทราบอย่างชัดเจน

2.4.2 หลักการทำงานและลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์

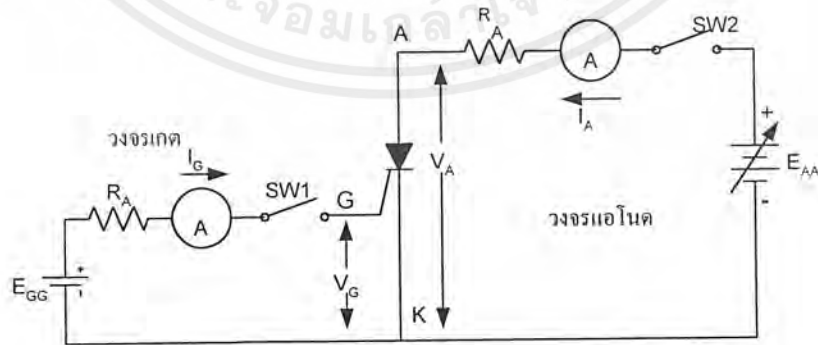
เอสซีอาร์เป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งที่มีสามขั้วเรียกว่า แอนโอด (A) และแคโทด (K) และเกต (G) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายรูป 2.9 (ซึ่งเป็นรูปโครงสร้างของเอสยูเอส) ยกเว้นแต่ว่าที่ชั้นของสารพี มีชั้นเกตเข้าต่อคิตดังรูป 2.10(ก) และเขียนสัญลักษณ์แทนด้วยรูปที่ 2.10(ข)



(ก) โครงสร้างของเอสซีอาร์ (ข) สัญลักษณ์ของเอสซีอาร์

รูปที่ 2.10 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์

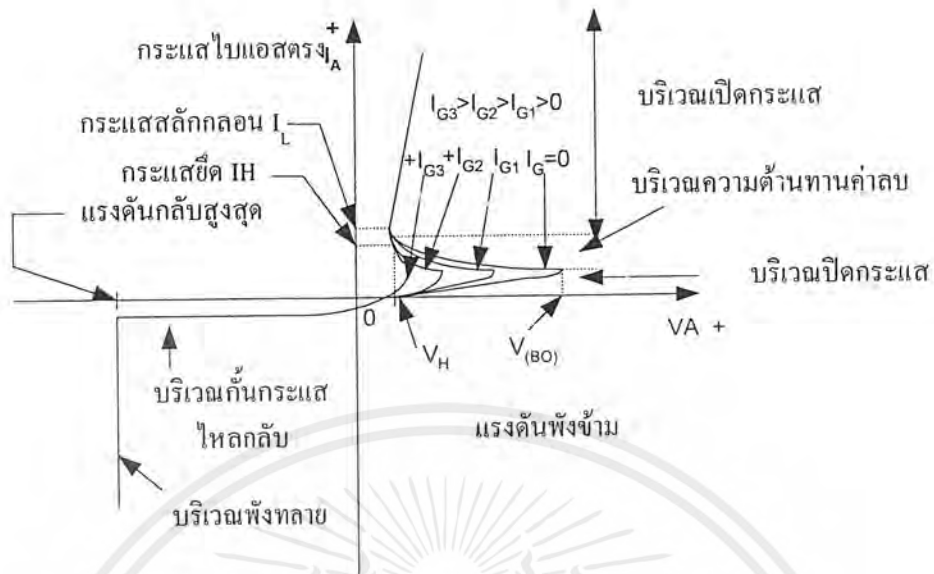
เมื่อต่อเอสซีอาร์เข้ากับวงจรไฟฟ้าดังแสดงในรูป 2.11(ก) ถ้าปิดสวิตช์ SW_1 และ SW_2 ลงแล้วปรับค่าแรงดันเลี้ยงวงจรแอนโอด E_{AA} และวงจรเกต E_{GG} ให้เหมาะสม เราจะได้เส้นโค้งลักษณะสมบัติดังแสดงในรูป 2.11(ข) โดยให้ยึดถือหลักที่ว่ากระแสแอนโอด I_A และกระแสเกต I_G มีค่าบวกถ้ากระแสไหลเข้าสู่ขั้วของเอสซีอาร์ และแรงดันแอนโอด V_A และแรงดันเกต V_G มีค่าบวกถ้าแอนโอดและเกตมีศักย์สูงกว่าแคโทด ดังแสดงในรูป 2.11(ก)



(ก) การต่อเอสซีอาร์เข้ากับวงจรไฟฟ้าโดยแสดงกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าบวก

รูปที่ 2.11 การต่อใช้งานและคุณสมบัติของเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เปรียบเสมือนให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) เส้นโค้งลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์

รูปที่ 2.11 การต่อใช้งานและคุณสมบัติของเอสซีอาร์

ในเริ่มต้นการทดลองให้เปิดสวิตช์ SW_1 ไว้ปิดสวิตช์ SW_2 ลงและให้แรงดันแอโนด V_A มีค่าเริ่มต้นจากน้อยไปหามาก โดยให้ $I_G = 0$ แล้วเพิ่มค่าแรงดันแอโนดจากศูนย์ให้สูงขึ้นทางบวก หรือในทิศไบแอสตรงเราจะเห็นกระแส I_A เพิ่มค่าจากศูนย์เพียงเล็กน้อย เรียกว่า “เอสซีอาร์อยู่ในสภาวะปิดกระแส” แต่เมื่อแรงดัน V_A เพิ่มค่าสูงถึงค่า $V_{(BO)}$ ซึ่งเรียกว่า “แรงดันพังข้าม” แล้วเอสซีอาร์เปลี่ยนสถานะเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสได้เอง โดยถ้าต้องการเวลาชั่วคราวหนึ่งซึ่งจะเรียกว่า “เวลาเปิดกระแส” เราเรียกช่วงนี้ว่า “อาณาบริเวณเปิดกระแสหรืออาณาบริเวณกั้นกระแสทิศทางไบแอสตรง”

ถ้าเราควบคุมกระแส I_A ให้เพิ่มค่าสูงขึ้นทีละน้อยด้วยการเพิ่มค่าแรงดันแอโนด E_{AA} เราจะเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าของ V_A ดังแสดงดังรูป 2.11(จ) ซึ่งเมื่อภายหลังที่ค่าแรงดัน V_A นี้ได้ผ่านค่าแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ แล้วสามารถแบ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้ออกได้เป็นสองช่วง ช่วงแรกเป็นช่วงที่แรงดันแอโนด V_A ลดค่าลงจากแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ ไปสู่ค่า I_H (อยู่ตรงจุดเกิด V_H) โดยกระแส I_H นี้ เป็นค่ากระแสที่น้อยที่สุดที่สามารถรักษาให้เอสซีอาร์อยู่ในสภาวะเปิดกระแสเรียกกระแสนี้ว่า “กระแสยึดหรือกระแสโฮลดิ้ง” โดยช่วงนี้เป็นช่วงของการที่ เอสซีอาร์กำลังเปลี่ยนสถานะจากสภาวะปิดกระแสเข้าสู่สภาวะเปิดกระแส ซึ่งเราจะเรียกช่วงนี้ว่า “อาณาบริเวณของความต้านทานค่าลบ” ช่วงที่สองเป็นช่วงที่กระแส I_A มีค่าใหญ่กว่ากระแสยึด I_H เล็กน้อยไปจนถึงค่าที่ใหญ่มากมาย โดยแรงดันแอโนดเพิ่มค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยซึ่งจะเรียกช่วงที่สองนี้ว่า “อาณาบริเวณเปิด

กระแสหรืออาณาบริเวณอิมิตัว” กระแส I_A ที่ไหลอยู่ในช่วงนี้มีค่าใหญ่มากจะสามารถทำอันตรายต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

เอสซีอาร์ให้ชำรุดเสียหายได้ เราจึงจำเป็นต้องใช้ความต้านทาน R_A ที่มีค่าใหญ่เข้าต่อเป็นอนุกรมในวงจรแอนโอดเพื่อจำกัดกระแส I_A ไม่ให้ใหญ่มากเกินไป ถ้าเราต้องการให้เอสซีอาร์ที่อยู่ในสถานะเปิดกระแสเปลี่ยนกลับไปสู่สถานะปิดกระแสให้เรลดกระแสแอนโอด I_A ให้มีค่าต่ำกว่ากระแสขีด I_H ในขณะที่ $I_G = 0$ ยังมีกระแสอีกชื่อหนึ่งคือ “กระแสค้าง” I_L ซึ่งนิยามว่าเป็น กระแสที่เล็กที่สุดที่สามารถรักษาให้เอสซีอาร์อยู่ในสภาวะเปิดกระแสโดยปลดเอาสัญญาณป้อนเข้าเกิดออก ซึ่งเมื่อเราได้ลดกระแส I_H ให้ต่ำกว่ากระแส I_L ได้แล้ว เอสซีอาร์จะหยุดเปิดกระแส เราเรียกช่วงนี้ว่า “อาณาบริเวณเปิดกระแสหรืออาณาบริเวณกั้นกระแสทิศทางไบแอสตรง” การเปลี่ยนสภาวะนี้ต้องการเวลาชั่วครู่หนึ่ง ซึ่งเรียกว่า “เวลาปิดกระแส” t_q การลดกระแสแอนโอดให้ต่ำกว่ากระแสค้าง I_L แล้วเปลี่ยนกลับเพิ่มกระแสสูงขึ้นใหม่ในระยะเวลาที่สั้นกว่าเวลาปิดกระแสของเอสซีอาร์ แล้วเอสซีอาร์จะกลับเข้าสู่สถานะเปิดกระแสต่อไปตามเดิม กระแสเกต I_G มีอิทธิพลมากในการช่วยให้เอสซีอาร์จากสภาวะปิดกระแสเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องใช้แรงดันแอนโอด V_A สูงมาก ซึ่งเมื่อเราจัดให้ I_G มีค่าใหญ่มากขึ้นจะยิ่งทำให้แรงดันพังข้ามของเอสซีอาร์ต่ำลง

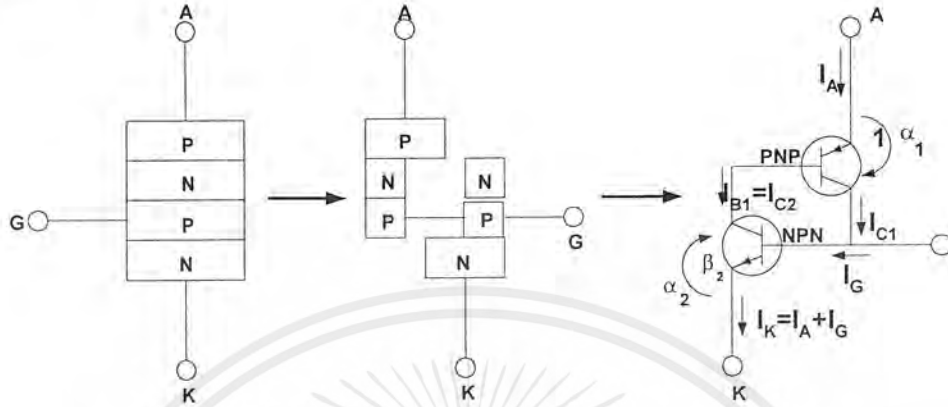
เมื่อจัดให้แรงดันแอนโอด V_A มีค่าลบหรือมีแรงดันกลับกระแสแอนโอดจะไหลกลับทาง และมีค่าน้อยมาก ซึ่งเรียกช่วงนี้ว่า “อาณาบริเวณกั้นกระแสไหลกลับ” ต่อเมื่อเราเพิ่มค่าแรงดันแอนโอดค่าลบไปจนถึงค่าที่เรียกว่า “แรงดันพังทะลุกลับ” กระแสแอนโอดจะไหลเพิ่มค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วโดยทั่วไปผู้ผลิตเอสซีอาร์จะออกแบบให้เอสซีอาร์มีค่าแรงดันพังทะลุกลับมีค่าเท่ากับหรือใหญ่กว่าค่าแรงดันพังข้ามทิศทางไบแอสตรงในขณะที่ $I_G = 0$

เราสามารถอธิบายกลไกการทำงานของเอสซีอาร์ได้ โดยอาศัยทฤษฎีของรอยต่อพีเอ็นหรือโดยอาศัยวงจรสมมูลแบบทรานซิสเตอร์ ซึ่งในที่นี้ขออธิบายด้วยวิธีหลังวิธีเดียวคือ เราคิดให้เอสซีอาร์มีโมเดลเป็นทรานซิสเตอร์ โดยการให้ชั้นพีเอ็นของเอสซีอาร์ถูกแบ่งออกเป็นตัวทรานซิสเตอร์ เอ็นพีเอ็น และ พีเอ็นพี สองตัวเข้าต่อกันด้วยวิธีการป้อนกลับค่าบวกดังแสดงในรูปที่ 2.12

เมื่อป้อนแรงดันแอนโอดในทิศไบแอสตรงให้กับเอสซีอาร์ ซึ่งทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวก็จะมีแรงดันเข้าไปเลี้ยงอิมิตเตอร์และคอลเล็กเตอร์ในทิศทางไบแอสตรงหากแต่ทรานซิสเตอร์ทั้งสองยังอยู่ในสภาวะปิดกระแส ต่อมาเพิ่มแรงดันแอนโอดถึงค่าแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ คอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ตัวล่าง จะมีเป็นศักย์ลบปรากฏอยู่จะเข้าไปกระตุ้นแอสของทรานซิสเตอร์พีเอ็นพี ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ตัวบนให้เปิดการนำกระแสคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวบนจึงมีศักย์บวกปรากฏว่าสูงขึ้น และส่งเข้ากระตุ้นเบสของทรานซิสเตอร์ตัวบนให้ทำการเปิดการนำกระแสให้มากขึ้น ซึ่งผลอันนี้จะวนกลับมากระตุ้นให้ทรานซิสเตอร์ของตัวล่างอีก กระบวนการนี้จะเป็นการป้อนกลับค่าบวก ซึ่งผลสุดท้ายจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในสถานะอิ่มตัว ก็จะมีกระแสแอมป์ของเอสซีอาร์ไหลได้สูงมากและเอสซีอาร์เข้าอยู่ในสถานะเปิดกระแส



รูปที่ 2.12 โมเดลของเอสซีอาร์แบบวงจรทรานซิสเตอร์ต่อกันแบบป้อนกลับค่าบวก

ถ้าต้องการให้เอสซีอาร์เปลี่ยนจากสถานะเปิดกระแสกลับเข้าสู่สถานะปิดกระแส เราก็ลดขนาดของกระแสแอมป์ I ลงให้ต่ำกว่ากระแสยึด I (ถ้า $I > 0$) กระแสคอลเล็กเตอร์ตัวบนจะลดต่ำลงมากไม่พอที่จะกระตุ้นให้เบสของทรานซิสเตอร์ตัวล่างเปิดให้กระแสไหลได้ต่อไป ฉะนั้นศักย์ที่คอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวล่างก็จะลดน้อยลงและไม่พอที่จะไปกระตุ้นเบสของทรานซิสเตอร์ตัวบนให้เปิดนำกระแสต่อไปอีก ทรานซิสเตอร์ก็หยุดนำกระแสดังนั้นเอสซีอาร์จึงเปลี่ยนสถานะกลับเข้าสู่สถานะปิดกระแส

ถ้าเราเอาแรงดันแอมป์กลับเข้ากับเอสซีอาร์ ทรานซิสเตอร์ทั้งสองต้องอยู่ในสถานะถูกไบแอสกลับทางจึงมีกระแสแอมป์ไหลได้น้อยมาก เมื่อเราป้อนแรงดันกลับที่มีค่าสูงมากที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวเกิดพังทลายจึงจะมีกระแสแอมป์ไหลได้สูงมากและเอสซีอาร์ก็ซำรุด

เพื่อความเข้าใจที่ดี เราอาจใช้คณิตศาสตร์เข้าช่วยอธิบาย โดยเราจะพิจารณาเห็นวงจรป้อนกลับที่อยู่ภายในของเอสซีอาร์มีค่าอัตราขยายกระแส เมื่อ G เป็นค่าอัตราขยายกระแสรวม

$$(G = \beta_1 \times \beta_2)$$

β_1 และ β_2 เป็นค่าอัตราขยายกระแสชนิดอิมิตเตอร์ร่วมของทรานซิสเตอร์พีเอ็นพี และเอ็นพีเอ็นตามลำดับ และมีนิยามว่าเป็นอัตราส่วนของกระแสคอลเล็กเตอร์ต่อกระแสเบส ถ้า I_{CB01} เป็นกระแสรั่วใน คอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์พีเอ็นพีเมื่อต่อวงจรแบบเบสร่วมเราจะเขียนได้ดังสมการที่ 2.1

$$I_{C1} = \beta (I_{C2} + I_{CB01}) + I_{CB01} \tag{2.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ I_{C1} เป็นกระแสคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์พีเอ็นพีและเป็นกระแสเบสของทรานซิสเตอร์

I_{C2} เป็นกระแสคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น

ถ้า I_{CB02} เป็นกระแสรั่วในคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น เมื่อต่อวงจรแบบเบสร่วมเราจะได้สมการที่ 2.2

$$I_{C2} = \beta_2(I_{C1} + I_{CB02}) + I_{CB02} \quad (2.2)$$

และกระแสแอมป์ตรงสมการที่ 2.3

$$I_A = I_{C1} + I_{C2} \quad (2.3)$$

โดยการคำนวณเราสามารถหากระแสแอมป์ตรง I_A จากสมการได้เป็นดังสมการที่ 2.4

$$I_A = \frac{(1 + \beta_1)(1 + \beta_2)(I_{CB01} + I_{CB02})}{1 - G} \quad (2.4)$$

ในตอนเริ่มต้นถึงแม้มีแรงดันแอมป์ตรงป้อนเข้าแบบไบเอสดตรง แต่เอสซีอาร์ยังอยู่ในสภาวะปิดกระแส β_1 และ β_2 มีค่าต่ำทั้งคู่และ G มีค่าน้อยกว่าหนึ่งมากเป็นผลให้กระแสแอมป์ตรงมีค่าสูงกว่าผลบวกของกระแสรั่วไหลของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวเพียงเล็กน้อย

เพื่อที่จะเปลี่ยนเอสซีอาร์จากสภาวะปิดกระแสให้เข้าสู่สภาวะเปิดกระแสทำได้ด้วยการเพิ่มค่าอัตราขยายกระแสรวม G มีค่าเข้าหาหนึ่ง ทำให้เราได้ I_A ซึ่งในทางปฏิบัติจะทำได้หลายวิธีดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป แต่ในที่นี้เราใช้วิธีการป้อนกระแสเข้าเกิดและใช้แรงดันสูงป้อนเข้าที่แอมป์ตรงก็จะทำให้เอสซีอาร์เปลี่ยนสภาวะเข้าสู่สภาวะเปิดกระแส

ถ้าเราลดกระแสแอมป์ตรง I_A ลงให้ต่ำกว่ากระแสยึด I_H จะทำให้อัตราขยายกระแส G มีค่าลดลง ทำให้ เอสซีอาร์เปลี่ยนสภาวะกลับสู่สภาวะปิดกระแส และถ้าเราป้อนแรงดันเข้าเอสซีอาร์กลับทางก็เป็นการลดค่าอัตราขยายกระแส G และค่าอัตราขยายกระแส G จะเพิ่มมากขึ้นอีกครั้งหนึ่งเมื่อแรงดันกลับทางนั้นมีค่าสูงเท่ากับค่าแรงดันพังทลายของทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว

เราอาจวิเคราะห์วงจรทรานซิสเตอร์ที่เป็นโมเดลของเอสซีอาร์ได้ โดยอาศัยค่าอัตราขยายกระแส “ α หรือ $\alpha\beta$ ” ของทรานซิสเตอร์เมื่อต่อแบบเบสร่วม ซึ่งมีนิยามว่าเป็นอัตราส่วนของ

กระแสคอลเล็กเตอร์ต่อกระแสเบสิคเตอร์ โดยมีความสัมพันธ์กับอัตราขยายกระแสของทรานซิสเตอร์เมื่อต่อแบบอิมิตเตอร์ร่วมดังสมการที่ 2.5

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (2.5)$$

ซึ่งเราอาจเขียนสมการอัตราขยายกระแสของทรานซิสเตอร์ได้ดังสมการที่ 2.6

$$I_C = -I_2 + I_{CB0} \quad (2.6)$$

เมื่อ I_C และ I_E เป็นกระแสคอลเล็กเตอร์และกระแสเบสิคเตอร์ตามลำดับ I_{CB0} เป็นกระแสรั่วในคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์เมื่อต่อวงจรแบบเบสิคร่วม ดังนั้นเราสามารถเขียนสมการของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวได้ดังสมการที่ 2.7 และ 2.8

$$\text{พีเอ็นพี} \quad I_{A1} = \alpha_1 I_A + I_{CB01} \quad (2.7)$$

$$\text{เอ็นพีเอ็น} \quad I_{C2} = 2(I_A + I_C) + I_{CB02} \quad (2.8)$$

เมื่อ α_1 และ α_2 เป็นค่ากระแสล่าอัตราขยายกระแสของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น และพีเอ็นพีตามลำดับ

I_G เป็นกระแสเกตของเอสซีอาร์

โดยการนำสมการมาแทนค่าเพื่อจัด I_{C2} แล้วคำนวณหากระแสแอดโนด I_A จะได้

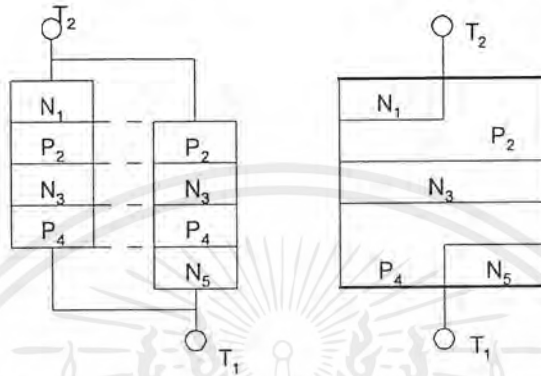
$$I_A = \frac{I_{CB01} + I_{CB02} + I_G}{1 - (\beta_1 + \beta_2)} \quad (2.9)$$

2.4.3 หลักการทำงานและลักษณะสมบัติของไทรแอก

ไทรแอกเป็นทรานซิสเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่มีสามขั้วคล้ายเอสซีอาร์ แต่สามารถให้กระแสไหลผ่านได้ทั้งสองทิศทาง ซึ่งแตกต่างกับเอสซีอาร์ที่สามารถให้กระแสไหลผ่านได้ทิศทางเดียว ดังนั้นเราจึงไม่สามารถเรียกขั้วสองขั้วของไทรแอก ว่าขั้วใดเป็นแอดโนด หรือว่าขั้วใดเป็นแคโทด แต่เรียกเป็นขั้ว T_1 และ T_2 แทน และขั้วที่สามมีรูปร่างเล็กนั้นเป็นขั้วเกต (G) และไทรแอกมีหลักการทำงานเหมือนกับเอสซีอาร์สองตัวต่อขนานกันแต่กลับขั้วกัน ซึ่งคล้ายกับเอาสิ่งประดิษฐ์สถานะของแข็ง

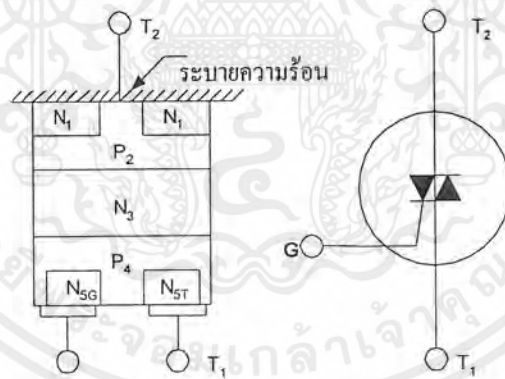
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีเอ็นสองชั้นมาต่อขนานกันแต่กลับขั้วกันดังรูป 2.13 (ก) ซึ่งจะเห็นว่ามิชั้นของสารกึ่งตัวนำแตกต่างกันห้าชั้น คือ N_1, P_2, N_3, P_4 และ N_5 เมื่อนำเข้ารวมกันเป็นโครงสร้างเดียวกันก็จะเขียนได้เป็นรูป 2.13 (ข) เมื่อต่อขั้วเกต และตัดแปลงโครงสร้างภายในให้เป็นแบบลัควจรอิมิตเตอร์ ดังรูป 2.14 (ก) เราจะได้ไทรแอก ซึ่งมีสัญลักษณ์ดังรูป 2.14 (ข) โดยทั่วไปเราใช้ขั้ว T_1 เป็นขั้วอ้างอิง



(ก) การต่อสารพีและสารเอ็นของไทรแอก (ข) โครงสร้างรวมของไทรแอก

รูปที่ 2.13 การต่อและโครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์พีเอ็นสองชั้น



(ก) โครงสร้างของไทรแอก (ข) สัญลักษณ์ของไทรแอก

รูปที่ 2.14 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไทรแอก

การที่มีโครงสร้างแบบลัควจรอิมิตเตอร์ก็คล้ายกับใส่ความต้านทานเข้าระหว่างเกตกับแคโทด เพื่อแบ่งภาระรั่วที่เกิดขึ้นจากความร้อน และเนื่องจากประจุเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการมี การเปลี่ยนแปลงแรงดันคร่อมรอยต่อระหว่างเกตกับแคโทด วิธีการนี้อาจทำให้การป้อนกลับค่าบวก

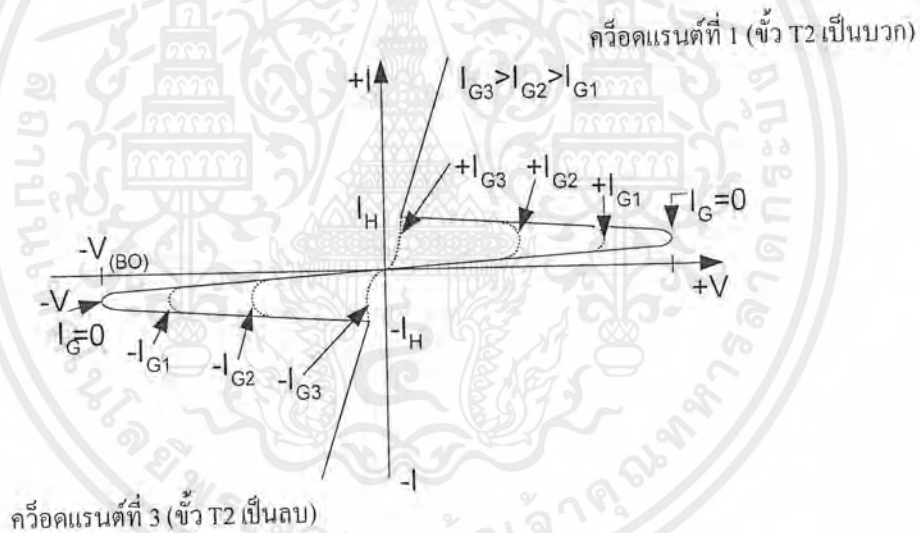
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีผลน้อยลงแต่กลับทำให้ไทรแอกทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูงและเมื่อมีแรงดันเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

ไทรแอกมีข้อดีที่มีราคาถูกกว่าเอสซีอาร์ ไทรแอกตัวเดียวสามารถใช้แทนเอสซีอาร์สองตัวที่ต่อขนานกันแต่ต่อขั้วกลับกันและแรงดันกลับทางที่สูงมาก ซึ่งทำให้เอสซีอาร์ชำรุดนั้นเมื่อนำมาป้อนเข้าไทรแอกแล้วแรงดันนี้เพียงแต่ทำให้ไทรแอกนำกระแสได้เท่านั้น ข้อเสียของไทรแอกคือไม่สามารถที่จะใช้กับวงจรที่มีความถี่สูงได้

การนำกระแสของไทรแอกจะเป็นดั่งเส้นโค้งลักษณะสมบัติ ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งจะคล้ายกับเส้นโค้งลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์สำหรับสภาวะเปิดนำกระแสสองเส้นมาต่อกับหัวกัน

เมื่อ $I_G = 0$ ไทรแอกจะเปลี่ยนแปลงสถานะไปสู่สภาวะเปิดกระแสได้เองถ้าแรงดันที่ขั้ว T2 มีค่าบวกและสูงถึงแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ (ดูควีอครেন্টที่ 1 ของรูปที่ 2.15) หรือถ้าแรงดันที่ขั้ว T2 เป็นลบและสูงถึงแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ (ดูควีอครেন্টที่ 3 ของรูปที่ 2.15)



รูปที่ 2.15 เส้นโค้งลักษณะสมบัติของไทรแอก

ไทรแอกที่กำลังอยู่ในสภาวะเปิดกระแสอาจเปลี่ยนกลับเข้าสู่สภาวะปิดกระแสได้ ถ้าลดกระแสไหลผ่านไทรแอก ลงให้เหลือน้อยกว่าค่ากระแสยึด I_H เป็นเวลานานมากกว่าเวลาปิดกระแส

ไทรแอกซึ่งอยู่ในสภาวะปิดกระแสอาจเปลี่ยนสภาวะเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสโดยใช้แรงดันที่ขั้ว T₂ น้อยกว่าแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ พร้อมกับใช้กระแสเกตค่าต่างๆ ซึ่งสามารถทำได้ 4 วิธี คือ

1. แบบ I+ (ควีอครেন্টที่ 1) เมื่อแรงดันที่ขั้ว T₂ เป็นบวกและแรงดันที่ขั้วเกตเป็นบวก
2. แบบ I- เมื่อแรงดันที่ขั้ว T₂ เป็นบวกและแรงดันขั้วเกตเป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบบ III+ เมื่อแรงดันขั้ว T_2 เป็นลบและแรงดันขั้วเกิดเป็นบวก
4. แบบ III- (คว็อดแรนต์ที่ 3) เมื่อแรงดันขั้ว T_2 เป็นลบและแรงดันขั้วเกิดเป็นลบ

ไทรแอกในท้องตลาดปัจจุบันสามารถทำงานได้ว่องไวตามวิธีแบบ I+ และแบบ III- มากที่สุดแบบ I- จะให้ความว่องไวรองลงมา และแบบ III+ มีความว่องไวต่ำมากจึงไม่นิยมใช้แบบ I- และแบบ III+

เราสามารถอธิบายหลักการการทำงานของไทรแอกได้ดังนี้

เมื่อแรงดันขั้ว T_2 เป็นบวกรอยต่อ N_3P_4 (คือรอยต่อระหว่างสาร N_3 กับ P_4) จะถูกไบแอสกลับ ถ้าสับสวิทช์ให้แรงดันบวกเข้าขั้วเกิดซึ่งทำให้กระแสบวกไหลเข้าเกิดผ่านไปสู่ขั้ว T_1 เป็นผลให้ไดโอด N_4N_{ST} ถูกไบแอสตรงและมีอิเล็กตรอนพุ่งจากสาร N_{ST} เข้าสู่สาร P_4 แล้วแพร่กระจายไปถึงรอยต่อ N_3P_4 ได้ ซึ่งอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกสนามไฟฟ้าที่รอยต่อนี้ผลักดันให้เข้าสู่สาร N_3 อีกต่อหนึ่ง วิธีการเช่นนี้เป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการป้อนกลับค่าบวก และมีผลให้กระแสไหลได้ ซึ่งกรณีนี้เป็นการเปลี่ยนสถานะไทรแอกให้เข้าสู่สภาวะเปิดและปิดกระแส แบบ I+

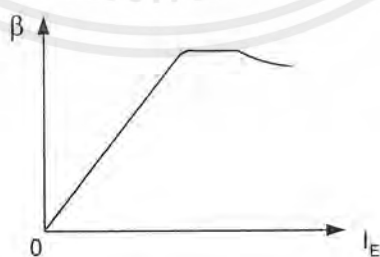
เมื่อแรงดันขั้ว T_2 เป็นค่าบวก การป้อนขั้วเกิดด้วยศักย์ลบทำให้กระแสเกิดค่าลบไหลเข้าไทรแอกเป็นผลให้ไดโอด P_4N_{SG} ถูกไบแอสตรง และจะมีอิเล็กตรอนพุ่งจากสาร N_{SG} เข้าสู่สาร P_4 และแพร่กระจายไปถึงรอยต่อ N_3P_4 ได้ซึ่งอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกสนามไฟฟ้าที่รอยต่อนี้ผลักดันให้เข้าสู่สาร N_3P_4 อีกต่อหนึ่ง วิธีการเช่นนี้เป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการป้อนกลับค่าบวกซึ่งมีผลขั้นสุดท้ายทำให้รอยต่อ P_2N_3 , N_3P_4 และ P_4N_{SG} ถูกไบแอสตรงทั้งหมดศักย์ ไฟฟ้าของสาร P_4 ตรงบริเวณใกล้ๆ สาร N_{SG} มีค่าสูงขึ้นเข้าหาค่าแรงดันขั้ว T_2 ซึ่งเป็นผลให้รอยต่อ N_4N_{ST} ที่อยู่ใกล้บริเวณ N_{SG} เริ่มถูกไบแอสตรงขึ้นบ้าง ดังนั้นจึงเริ่มมีอิเล็กตรอนพุ่งออกจากสาร N_{ST} ไปเข้าสู่ P_4 แล้วเลยไปสู่ N_3 อีกต่อหนึ่งซึ่งเป็นขั้นสุดท้ายทำให้รอยต่อ N_4N_{ST} ถูกไบแอสตรงเต็มที่ และไทรแอกก็เข้าสู่สภาวะเปิดกระแส ซึ่งในกรณีนี้เป็นการเปลี่ยนสถานะไทรแอกให้เข้าสู่สภาวะเปิดกระแสแบบ I-

เมื่อแรงดันขั้ว T_2 เป็นค่าลบ การป้อนศักย์บวกเข้าขั้วเกิดทำให้กระแสเกิดค่าบวกไหลเข้าไทรแอกเป็นผลให้รอยต่อ P_4N_{ST} ถูกไบแอสตรง ซึ่งทำให้มีอิเล็กตรอนพุ่งจากสาร N_{ST} เข้าสู่สาร P_4 แล้วแพร่กระจายเข้าไปถึงรอยต่อ N_3P_4 และจะถูกผลักดันให้พุ่งเข้าไปในสาร N_3 อีกต่อหนึ่ง วิธีการนี้เริ่มต้นของกระบวนการป้อนค่าบวกซึ่งมีผลขั้นสุดท้ายทำให้รอยต่อ N_1P_2 , P_4N_3 และ N_3P_4 ถูกไบแอสตรงทั้งหมด ดังนั้นไทรแอกจึงเข้าสู่สภาวะเปิดกระแส ซึ่งในกรณีนี้จะเป็นการเปลี่ยนสถานะไทรแอกเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสแบบ III+ เมื่อแรงดันขั้ว T_2 เป็นค่าลบรอยต่อ N_1P_2 และรอยต่อ N_3P_4 จะถูกไบแอสตรงแต่รอยต่อ P_2N_3 จะถูกไบแอสกลับการป้อนขั้วเกิดด้วยศักย์ลบทำให้กระแสเกิดค่าลบไหลเข้าไทรแอก ซึ่งเป็นผลให้รอยต่อ P_4N_{SG} ถูกไบแอสตรงทำให้มีอิเล็กตรอนพุ่งออกจากสาร N_{SG} เข้าสู่สาร P_4 แล้วแพร่กระจายเข้าไปถึงรอยต่อ N_3P_4 ซึ่งต่อจากนี้จะถูกผลักให้พุ่งเข้าสู่สาร N_3 อีก

ต่อหนึ่ง วิธีการนี้เป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการป้อนกลับค่าบวก ซึ่งมีผลขั้นสุดท้ายทำให้รอยต่อ N_1P_2 , P_2N_3 และ N_3P_4 ถูกไบแอสตรงทั้งหมดแล้ว ไตรแอกก็เข้าสู่สภาวะเปิดกระแส

2.5 การจุดชนวนไทริสเตอร์

ไทริสเตอร์สามารถเปลี่ยนสถานะจากสภาวะปิดกระแสเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสได้โดยอาศัยกระบวนการป้อนกลับค่าบวกที่เกิดขึ้นในตัวไทริสเตอร์ ถ้าเราสามารถควบคุมให้มีกระบวนการนี้เกิดขึ้นได้เราก็สามารถจุดชนวนให้ไทริสเตอร์เปิดกระแสได้ จากหลักการที่ว่าถ้าเราสามารถเพิ่มค่าอัตราขยายกระแส G ให้มีค่าเท่ากับหนึ่ง ไทริสเตอร์ก็จะเปลี่ยนสถานะเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสได้ และค่าอัตราขยายกระแส G นี้มีค่าขึ้นอยู่กับค่าอัตราขยายกระแสชนิดอิมิตเตอร์รวม β ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งค่าอัตราขยายกระแสนี้มีค่าขึ้นอยู่กับกระแสอิมิตเตอร์ ดังรูปที่ 2.8 ดังนั้นถ้าเราต่อไฟฟ้าเข้ากับกระแสเอสซีอาร์โดยให้รอยต่อระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ (รูปที่ 2.11) ตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งสองตัว ให้เป็นไบแอสตรง ก็จะเป็นผลให้มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในเบสได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้มีกระแสอิมิตเตอร์ไหลได้มากขึ้นอีกต่อหนึ่ง เป็นผลให้ค่าอัตราขยายกระแส β ของทรานซิสเตอร์ตัวนั้นสูงขึ้นซึ่งจะทำให้มีกระแสคอลเล็กเตอร์ไหลได้มากกว่าเดิมและป้อนเข้าเบสของทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่ง จึงทำให้ค่าเกน β ของทรานซิสเตอร์ตัวหลังสูงขึ้นด้วย ผลสุดท้ายก็จะทำให้เกิดกระบวนการป้อนกลับค่าบวกขึ้น และเอสซีอาร์ก็เปลี่ยนสถานะเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสตามปกติชั่วเกิดของเอสซีอาร์เป็นชั่วเบสของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น (รูปที่ 2.11) ถ้าใช้ชั่วเบสของทรานซิสเตอร์พีเอ็นพีเป็นชั่วเกิด เราจะได้ไทริสเตอร์ที่เป็นเอสซีอาร์แบบประสม (CSCR = Complementary silicon controlled rectifier) หรือเราอาจได้ไทริสเตอร์แบบอื่นๆ อีกขึ้นอยู่กับโครงสร้างและวิธีการต่อชั่วเกิด

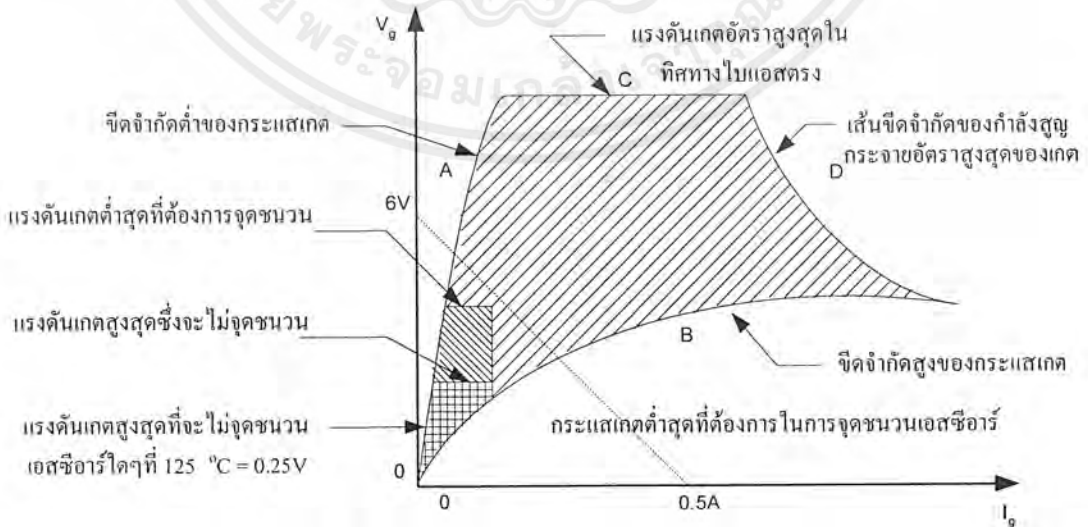


รูป 2.16 ค่าอัตราขยายกระแส β มีค่าขึ้นอยู่กับค่าของกระแสอิมิตเตอร์ในซิลิคอนทรานซิสเตอร์

วิธีการที่ทำให้กระแสमितเตอร์ของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นของรูป 2.11 มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งจะมีผลให้ทรานซิสเตอร์เปิดกระแสได้ คือ

การใช้ป้อนแรงดันค่าบวกเข้าที่ขั้วเกต การป้อนแรงดันค่าบวกเข้าที่ขั้วเกตของเอสซีอาร์ จะ มีกระแสพุ่งเข้าเบสของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นของรูปที่ 2.11 เป็นผลทำให้มีกระแสเกตเพิ่มค่าสูง ขึ้นและเกิดมีกระบวนการป้อนกลับค่าบวกเกิดขึ้นดังอธิบายข้างต้น เอสซีอาร์ก็จะเปิดนำกระแสได้ วิธีการนี้เป็นวิธีที่เรานิยมใช้จุดชนวนให้ทรานซิสเตอร์เปิดนำกระแส ซึ่งศักย์บวกที่ดีที่สุดที่ป้อนให้เกตต้อง สามารถให้กระแสเกตเป็นพัลส์ที่มีส้นหน้าสูงชัน และเนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์เปิดกระแสก็ สามารถนำกระแสต่อไปได้โดยไม่ต้องการกระแสเกตอีก ดังนั้นกระแสเกตควรเป็นพัลส์ที่มีช่วงสั้นๆ แต่มี ความสูงของพัลส์สูงขึ้นเมื่อช่วงของพัลส์สั้นลง ก็สามารถทำให้ทรานซิสเตอร์เปิดกระแสได้ดีและ ทำงานเชื่อถือได้ดี โดยลักษณะสมบัติระหว่างแรงดันกับกระแสของเกตจะคล้ายกับลักษณะสมบัติ ของไดโอดแต่จะเปลี่ยนไปบ้างระหว่างทรานซิสเตอร์แต่ละตัวและได้แสดงไว้ในรูป 2.17 ซึ่งเป็นอาณา บริเวณที่ล้อมรอบด้วยขีดจำกัดสูงของกระแสเกต ค่าแรงดันเกตสูงสุด และเส้น ไฮเปอร์โบล่าที่แทน กำลังสูงสุดของเกต ภายในอาณาบริเวณนี้เราสามารถแบ่งออกได้ 3 บริเวณ

บริเวณที่หนึ่ง อยู่ใกล้จุดกำเนิดและแสดงด้วยเส้นแรงตัดกันเป็นบริเวณที่ถูกจำกัดด้วยค่า แรงดันเกตสูงสุด ที่ไม่สามารถจุดชนวนทรานซิสเตอร์ใดๆ แต่ทรานซิสเตอร์อาจทำงานบริเวณนี้เมื่อ ทรานซิสเตอร์ไม่ต้องการกระแสเกต เช่นการจุดชนวนด้วยแรงดันพังทะลุที่ป้อนเข้าที่แอโนดหรือ จุดชนวนด้วย $\frac{dv}{dt}$ วิธีการเหล่านี้จำเป็นสำหรับกระบวนการเปิดทรานซิสเตอร์ให้นำกระแสตามต้องการซึ่ง ต้องการวิธีการป้องกันดังจะกล่าวต่อไป



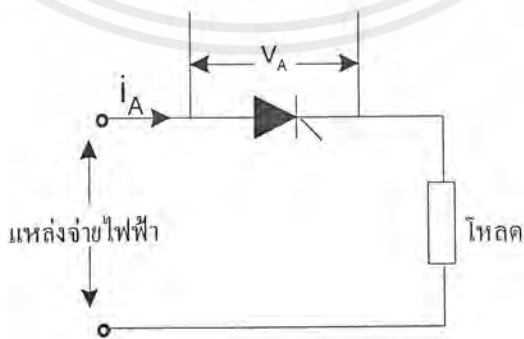
รูปที่ 2.17 เส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างแรงดันกับกระแสของเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

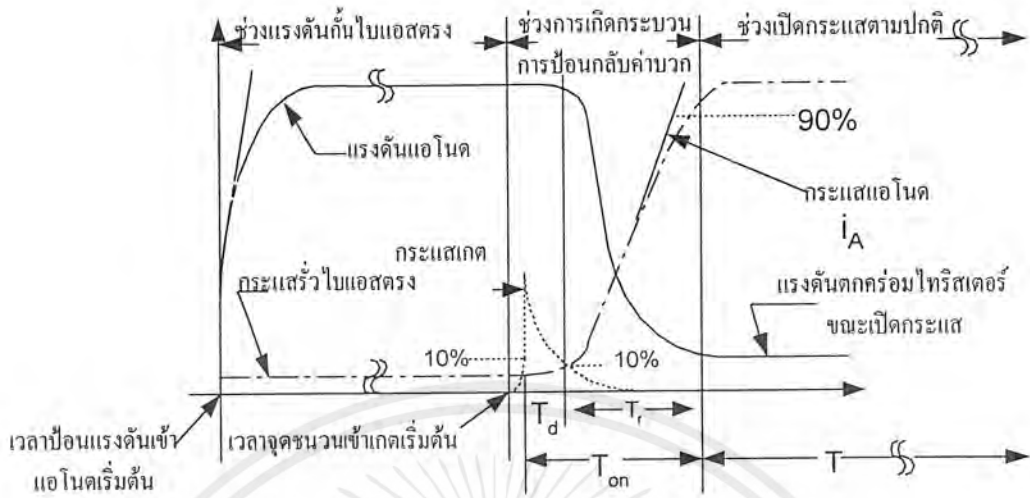
บริเวณที่สอง แสดงด้วยเส้นแรงเงาที่ๆ เป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กับบริเวณแรกซึ่งแสดงตำแหน่งของชุดจุดชนวนต่างๆ ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิล้อมรอบด้วยแรงดันเกต และกระแสเกตที่มีค่าต่ำสุดที่ต้องใช้ในการจุดชนวนไทรสเตอร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิของรอยต่อมีอัตราต่ำสุดหรือเป็นอาณาบริเวณของชุดจุดชนวนต่ำสุดที่แท้จริงของไทรสเตอร์ทุกตัว โดยถ้าใช้ชุดจุดชนวน อยู่ในบริเวณนี้วงจรเกตต้องการกำลังสูง เมื่ออุณหภูมิของรอยต่อยังมีค่าต่ำลง เกตก็ยิ่งต้องการกำลังป้อนเข้าแรงขึ้น เพื่อเปิดให้ไทรสเตอร์นำกระแสบริเวณนี้จึงไม่ควรใช้เพราะว่าสัญญาณในบริเวณนี้ไม่สามารถจุดชนวนไทรสเตอร์ทุกตัวเสมอไป หรืออาจไม่สามารถจุดชนวนไทรสเตอร์ใดๆ แม้แต่ตัวเดียวก็เป็นได้

บริเวณที่สาม แสดงด้วยเส้นแรงเงาต่างๆ เป็นบริเวณแสดงตำแหน่งของชุดจุดชนวนที่ใช้ได้ดีและทำงานเชื่อถือได้ จึงเป็นบริเวณที่ชอบใช้ขับวงจรเกต ซึ่งมีเส้นล้อมรอบ A, B, C และ D โดย A เป็นเส้นขีดจำกัดต่ำของกระแสเกต B เป็นเส้นขีดจำกัดสูงของกระแสเกต C เป็นเส้นที่ระบุถึงค่าแรงดันเกตอัตราสูงสุดในทิศทางไบแอสตรงและ D เป็นเส้นขีดจำกัดของกำลังสูญเสียกระจายอัตราสูงสุดของเกต ถ้าชุดของการจุดชนวนอยู่ในบริเวณนี้ไทรสเตอร์จะเปิดกระแสเสมอ ถ้าชุดจุดชนวนอยู่ในส่วนล่างซ้ายมือของบริเวณจะเป็นจุดที่เหมาะสมในการใช้งาน ถ้าชุดจุดชนวนอยู่ทางส่วนบนขวามือของอาณาบริเวณ จะทำให้ไทรสเตอร์เปิดกระแสอย่างรวดเร็ว แต่ต้องการกระแสเกตสูงซึ่งอาจต้องการใช้ในวงจรบางชนิด ถ้าหากชุดจุดชนวนอยู่นอกบริเวณนี้จะทำให้ไทรสเตอร์เกิดชำรุดเสียหาย

เมื่อไทรสเตอร์ได้เปิดกระแสจะต้องการเวลาชั่วครู่หนึ่งจึงจะสิ้นสุดกระบวนการนี้โดยจะมีสัปดาห์พร้อมไทรสเตอร์เปลี่ยนแปลงจากแรงดันพังทะลุลดลงสู่สัปดาห์พร้อมไทรสเตอร์ขณะเปิดกระแส (ซึ่งมีค่าต่ำประมาณ 1 ถึง 1.5 โวลต์) และมีกระแสที่เปลี่ยนแปลงจากค่าน้อยขึ้นไปหาค่ามาก ซึ่งจะถูกจำกัดไว้ด้วยความต้านทานภาระดังแสดงในรูป 2.18 และมีนิยามเกี่ยวกับเวลาในการเปิดกระแสต่างๆ



รูป 2.18 วงจรไทรสเตอร์กับโหลด



รูปที่ 2.19 การเปลี่ยนแปลงกระแสและการเปลี่ยนแปลงแรงดันของทรินสเตอร์ขณะเปิดกระแส

จากรูปที่ 2.19 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงชั่วคราวของแรงดันและกระแสในระหว่าง ทรินสเตอร์เปิดกระแสซึ่งเราสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงคือ

ช่วงแรกเป็นช่วงที่ทรินสเตอร์อยู่ในสถานะแรงดันกั้นทิศทางไบแอสตรงซึ่งเป็นสถานะที่ เกิดขึ้นตอนเริ่มต้นของการป้อนแรงดันเข้าทรินสเตอร์แต่ยังไม่จุดชนวนประจุต่างๆ ในทรินสเตอร์จะ มีการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งรอยต่อต่างๆ เข้าสู่สถานะคงที่ที่จะทำให้แรงดันเปลี่ยนแปลง จากศูนย์ไปสู่ค่าแรงดันที่ป้อนเข้า ถ้าแรงดันนี้มีค่าไม่สูงเกินกว่าแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ จึงยังไม่มี การเปิดกระแส มีแต่เพียงกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อย โดยรอยต่อ J_2 อยู่ในสถานะไบแอสกลับ ค่าความ เก็บประจุของรอยต่อ J_2 จะช่วยส่งกระแสจำนวนมากผ่านเข้าสู่ชั้น P_3 ซึ่งเป็นชั้นที่มีขั้วเกตเข้าต่อ จึง อาจเป็นผลทำให้ทรินสเตอร์เปิดกระแสได้โดยเราไม่ต้องการ เพื่อให้ทรินสเตอร์ทำงานได้ถูกต้อง เรา ต้องพิจารณา อัตรา $\frac{dv}{dt}$ สูงสุดที่ทรินสเตอร์สามารถทนได้

ช่วงที่สองเป็นช่วงที่ทรินสเตอร์อยู่ในสถานะการป้อนกลับค่าบวกซึ่งเกิดขึ้นเมื่อป้อน สัญญาณจุดชนวนเข้าที่เกต ซึ่งจะเป็ผลทำให้ทรินสเตอร์เปิดกระแส การเปิดกระแสจะเริ่มต้นขึ้นที่ บริเวณเล็กๆ ของชั้นตรงที่เกตเข้าต่อติด แล้วแผ่ขยายออกไปด้วยอัตราเร็วประมาณ 0.1 มิลลิเมตรต่อ ไมโครวินาที ถ้าบริเวณเกตมีพื้นที่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร จะต้องการเวลาประมาณ 100 ไมโครวินาที ที่จะเปิดกระแสได้เต็มพื้นที่ของเกต ในขณะที่นั้นแรงดันทิศทางไบแอสตรงสามารถเข้า สถานะคงที่ได้ก่อนกระแส ทั้งนี้เพราะว่าการเปิดกระแสเริ่มต้นที่บริเวณเล็กมากกระแสจึงมีความหนาแน่นสูงมาก ถ้าอัตราของการเพิ่มกระแสมีค่าสูงมากด้วย ก็จะเป็นสาเหตุให้มีความร้อนเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบริเวณเล็กๆ นั้นซึ่งสามารถทำให้ทรานซิสเตอร์ชำรุดเสียหายได้จึงทำให้เราต้องพิจารณาถึงอัตรา $\frac{dv}{dt}$ สูงสุดขณะเปิดกระแสของทรานซิสเตอร์ด้วย

ช่วงที่สามเป็นช่วงที่ทรานซิสเตอร์เปิดกระแสตามปกติ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อการเปิดกระแสได้แผ่ขยายไปทั่วอาณาบริเวณของชั้น P_3 ทั้งหมด

การเปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแสดังกล่าวข้างต้น ทำให้นิยามได้ว่า

เวลาประวิง เป็นช่วงเวลาระหว่างเวลาที่กระแสพัลส์ของเกตมีค่า 10% ของค่าสูงสุดไปถึงเวลาที่กระแสแอนโอดในทิศทางไบแอสตรงมีค่าสูงถึง 10% ของค่าสูงสุด ในระหว่างที่ ทรานซิสเตอร์เปลี่ยนสถานะจากสภาวะปิดกระแสเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสเมื่อวงจรมีภาระเป็นความต้านทาน

เวลาเพิ่มค่าขึ้น เป็นช่วงเวลาของกระแสแอนโอดในทิศทางไบแอสตรงระหว่างเวลาที่กระแสแอนโอดมีค่า 10% เพิ่มค่าสูงขึ้นไปถึง 90% ของค่าสูงสุด ในระหว่างที่ทรานซิสเตอร์เปลี่ยนสถานะจากสภาวะกระแสเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสเมื่อวงจรมีภาระเป็นความต้านทาน

เวลาเปิดกระแส เป็นช่วงเวลาการเปิดกระแสของทรานซิสเตอร์ โดยนับตั้งแต่ตอนเริ่มต้นของเวลาประวิงไปจนถึงตอนสิ้นสุดของเวลาเพิ่มค่าขึ้น $T_{ON} = T_d + T_r$ หรือหมายถึง เวลาที่เริ่มต้นของการจุดชนวนไปจนถึงเวลาที่ประจุต่างๆ ได้เข้าสู่สมดุลตลอดทั่วตัวทรานซิสเตอร์ พร้อมกันนั้นแรงดันตกคร่อมในทิศทางไบแอสตรงได้เข้าสู่สถานะคงตัว

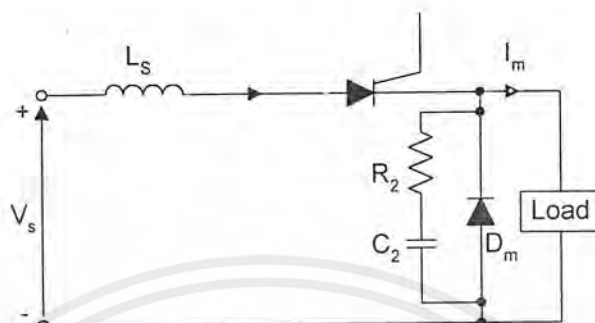
ขอให้เราสังเกตว่า ทรานซิสเตอร์ทั่วไป มีเวลาเพิ่มค่าขึ้นสั้น ทำให้มีอัตราการเพิ่มค่ากระแส $\frac{dv}{dt}$ มีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งทรานซิสเตอร์ทั่วไปที่ค่า $\frac{dv}{dt}$ สูงสุดประมาณ 3 ถึง 30 แอมแปร์ต่อไมโครวินาที แต่ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในกิจการพิเศษบางอย่างอาจมีค่า $\frac{dv}{dt}$ สูงสุดได้ถึง 1,000 แอมแปร์ต่อไมโครวินาที หรือ 1 แอมแปร์ต่อนาโนวินาที อัตรา $\frac{dv}{dt}$ มีค่าสูงอาจทำให้ทรานซิสเตอร์ชำรุดได้ ซึ่งเราจะต้องมีวิธีการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อทรานซิสเตอร์ได้

2.5.1 การป้องกัน $\frac{dv}{dt}$

ทรานซิสเตอร์ใช้เวลาน้อยที่สุดในการแพร่กระแสนำไฟฟ้าให้ทั่วทั้งรอยต่อ ถ้าอัตราการเพิ่มของกระแสแอนโอดเร็วมาก เมื่อเทียบกับความเร็วของการแพร่ในขบวนการนำกระแส จะเกิดจุดของความร้อนความร้อนจะเกิดขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นกระแสมีค่ามาก ทรานซิสเตอร์อาจเสียหายได้เนื่องจากอุณหภูมิสูงเกิน เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลามากเกินไป

ในทางปฏิบัติต้องป้องกันค่า $\frac{dv}{dt}$ ที่สูงเกินไป ดังตัวอย่าง พิจารณาวงจรรูป 2.20 ภายใต้อสถานะคงตัว D นำกระแสเมื่อทรานซิสเตอร์ T ไม่นำกระแส ถ้า T ใหม่ เมื่อ D ยังคงนำกระแส

$\frac{dv}{dt}$ จะมีค่าสูงมาก และสามารถจำกัดได้โดยเพิ่มค่าอินดักแตนซ์ของวงจร ในทางปฏิบัติ $\frac{dv}{dt}$ จะลดลงโดยการอนุกรมตัวเหนี่ยวนำ L ดังรูป 2.20



รูปที่ 2.20 วงจรสับไฟฟ้าที่มีตัวเหนี่ยวนำจำกัดค่า $\frac{dv}{dt}$

2.5.2 การป้องกัน $\frac{di}{dt}$

$\frac{di}{dt}$ หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกคร่อมไทรสเตอร์ต่อเวลา ถ้าสวิทช์ S

ดังรูป 2.21(ก) ปิดที่เวลา $t = 0$ จะมีแรงดันสแตป้อนคร่อมไทรสเตอร์ t และ $\frac{di}{dt}$ อาจมีค่าสูงเพียงพอที่จะนำกระแสได้ $\frac{di}{dt}$ จะถูกจำกัดโดยการต่อ C ดังรูป 2.21(ก) เมื่อไทรสเตอร์ T นำกระแส กระแสคายประจุของ C จะถูกจำกัดโดย R ดังรูป 2.21(ข) การต่อ R และ C เข้าไปขนานกับไทรสเตอร์ เรียกว่า วงจรสับเบอรั

เมื่อนำวงจร RC ที่รู้จักในนามวงจรสับเบอรัเพิ่มเข้าไปป้องกันไทรสเตอร์ แรงดันคร่อมไทรสเตอร์จะเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียล ดังรูป 2.21 (ค) และวงจร $\frac{di}{dt}$ หาได้จากสมการที่ 2.10

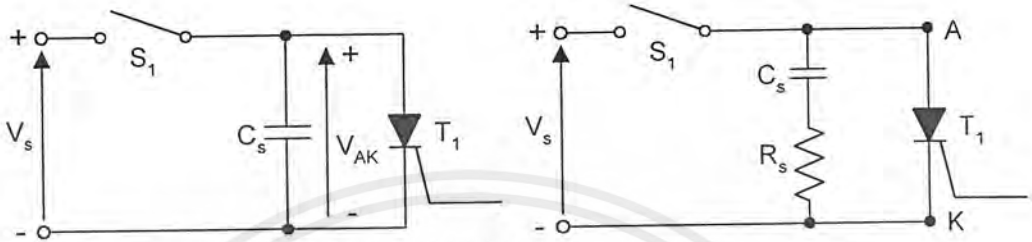
$$\frac{dv}{dt} = \frac{0.632V_s}{\tau} = \frac{0.632V_s}{R_s.C_s} \quad (2.10)$$

ค่าคงที่เวลาของสับเบอรั $\tau = RC$ หาได้จากสมการ สำหรับค่า $\frac{di}{dt}$ ค่า R หากจากกระแสคายประจุ I_{TD}

$$R_s = \frac{V_s}{I_m} \quad (2.11)$$

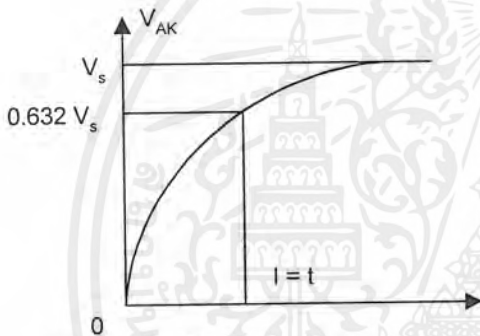
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นไปได้ที่จะใช้ความต้านทานมากกว่า 1 ตัว สำหรับ $\frac{di}{dt}$ และคายประจุ ดังรูป 2.21(ง)
 ค่า $\frac{di}{dt}$ จำกัดโดยค่า R และ C จำกัดกระแสคายประจุเพื่อให้โหลดสามารถอนุกรมกับวงจร
 สนับเบอร์ ดังรูป 2.21(จ)

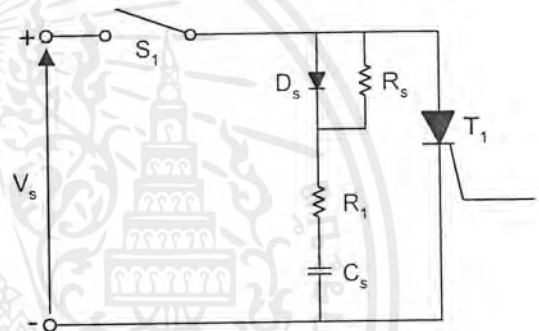


(ก) การใช้ตัวเก็บประจุ

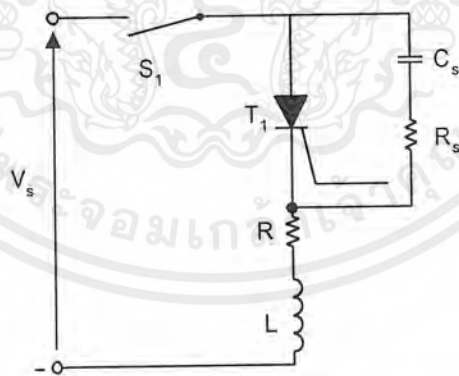
(ข) การใช้ตัวเก็บประจุและตัวความต้านทาน



(ค) ความสัมพันธ์ในการทำงานของวงจร



(ง) วงจรการป้องกัน $\frac{di}{dt}$ แบบที่ 1



(จ) วงจรป้องกัน $\frac{di}{dt}$ แบบที่ 2

รูปที่ 2.21 วงจรป้องกัน $\frac{di}{dt}$ ด้วยสับเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วงจรจุดชนวนไทริสเตอร์

เนื่องจากการจุดชนวนไทริสเตอร์ที่เรานิยมมากเป็นวงจรไฟฟ้าที่ออกแบบให้ได้ตามความต้องการต่อไปนี้

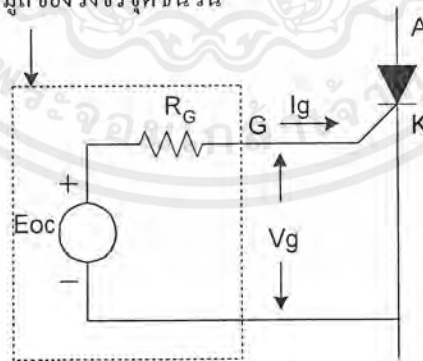
1. ต้องสามารถจุดชนวนได้ ถึงแม้ว่าจะเปลี่ยนไทริสเตอร์เป็นตัวอื่น
2. ต้องมีแรงดันและกำลังไม่สูงเกินกว่าจะทนทานได้
3. ต้องแน่ใจได้ว่า การจุดชนวนจะต้องไม่เกิดจากสัญญาณอื่น ๆ

โดยความต้องการดังกล่าวข้างบนนี้ เราจึงออกแบบวงจรจุดชนวนที่มีวงจรสมมูลดังในรูปที่ 2.22(ก) ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันเปิดวงจร E_{OC} มีความต้องการภายใน R_G และมีเส้นโค้งลักษณะสมบัติดังแสดงในรูปที่ 2.17 โดยเราเขียนเส้นภาระ จากจุด E_{OC} ซึ่งอยู่บนแกนตั้งของรูปที่ 2.17 ผ่านเส้นบริเวณที่นิยมใช้ขั้ววงจรซึ่งเป็นบริเวณที่สามของรูปที่ 2.17 มายังจุดของกระแสลัดวงจรของวงจรจุดชนวน I_{SC} ซึ่งอยู่บนแกนนอนของรูปที่ 2.17 ดังได้นำมาเขียนใหม่ในรูปที่ 2.22(ข) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเปิดวงจร E_{OC} กับกระแสลัดวงจร

สำหรับไทริสเตอร์ขนาด 100 แอมแปร์ทั่วๆ ไป ควรมีวงจรที่สามารถให้แรงดันเปิดวงจร 6 โวลต์และมีความต้านทานภายใน 12 โอห์ม สามารถเขียนเส้นภาระดังเส้นประในรูปที่ 2.22(ข)

ถ้าแหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจรจุดชนวนมีแรงดันเป็นฟังก์ชันเป็นคาบเวลา คือ $E_{OC} = e_{ST}$ แล้วเส้นประที่เขียนได้จะเป็นเส้นที่เคลื่อนที่กวาดไปตามเส้นกราฟ โดยเริ่มต้นจากจุดกำเนิดไปสู่ตำแหน่งสูงสุด คือ เส้นภาระที่แรงดันเอาต์พุตสูงสุดของวงจรจุดชนวน

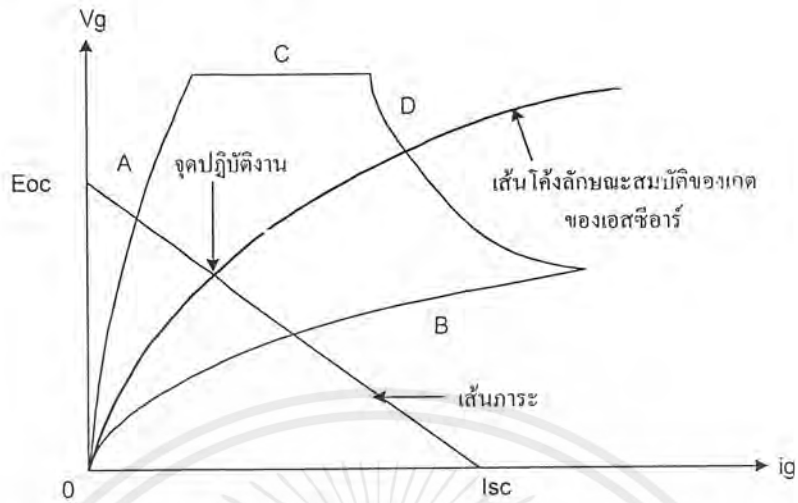
วงจรสมมูลของวงจรจุดชนวน



(ก) วงจรสมมูลของวงจรจุดชนวนของเกต

รูปที่ 2.22 วงจรสมมูลการจุดชนวนและเส้นภาระของเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) การเขียนเส้นภาระ

รูปที่ 2.22 วงจรสมมูลการจุดชนวนและเส้นภาระของเอสซีอาร์

การเลือกใช้เส้นโค้งกำลังของเกตจะขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ย หรือขีดจำกัดค่าสูงสุดที่สามารถยอมให้ได้ของค่ากำลังสูญเสียกระจายของเกต ถ้าเราใช้พัลส์เข้าจุดชนวนเราต้องเลือกใช้เส้นโค้งกำลังสูญเสียกระจายของเกตซึ่งเป็นเส้น D ที่เขียนไว้ในรูปที่ 2.17 สำหรับสัญญาณเกตที่มีรูปคลื่นอยู่กลางๆ ระหว่างสัญญาณสี่เหลี่ยมกับพัลส์เราต้องใช้เส้นโค้งขีดจำกัดของกำลังสูญเสียกระจายที่สามารถยอมให้ได้ของเกต ที่คำนวณได้จากวัฏจักรหน้าที่ ของสัญญาณจุดชนวน

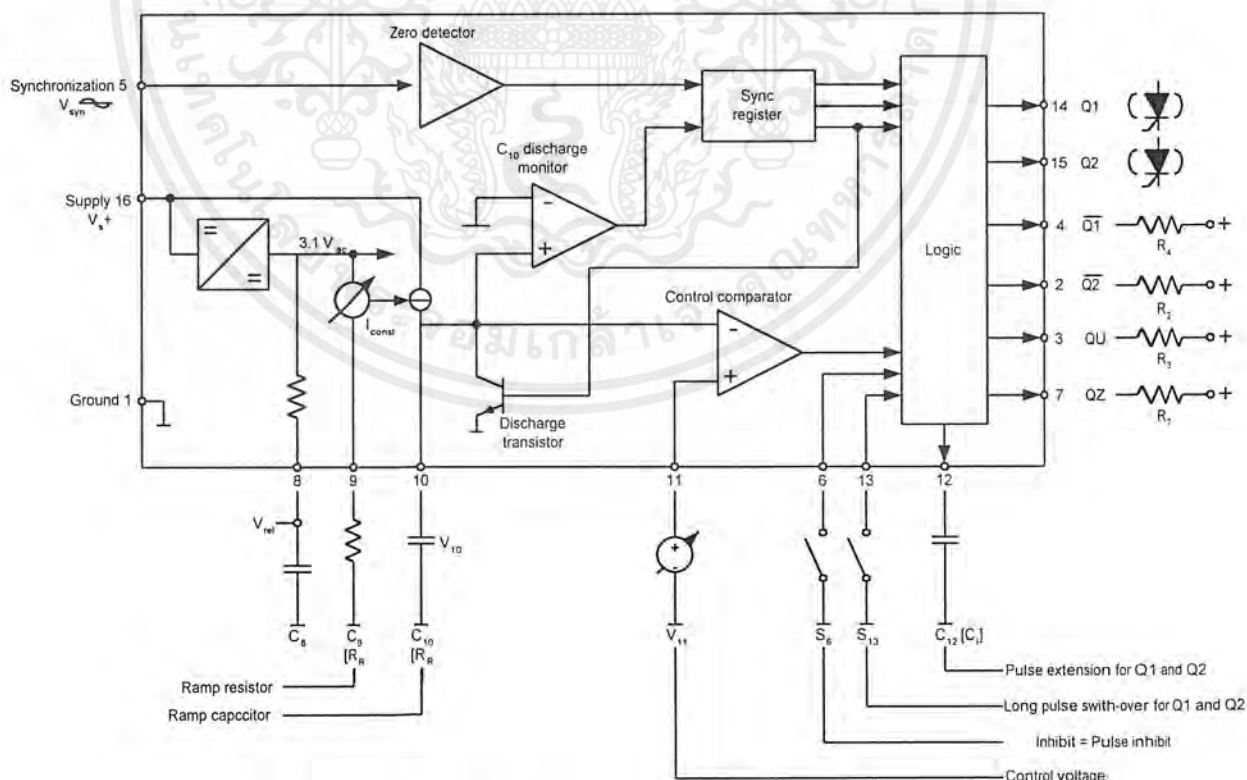
2.6.1 การจุดชนวนเกตไทรสเตอร์ด้วยวงจรรวมสำหรับควบคุมเฟสเบอร์ TCA785

1. คุณสมบัติของวงจรรวม TCA785 วงจรรวมเบอร์ TCA785 ผลิตโดยบริษัท Siemens ประเทศสหพันธรัฐเยอรมัน ใช้ในงานควบคุมเฟสโดยเฉพาะ หรือใช้ได้กับวงจร Line commutated converter ใช้ได้กับระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส สามารถปรับมุมจุดชนวนเกตได้ตั้งแต่ 0 ถึง 180 องศา และสามารถสร้างลักษณะของพัลส์ได้หลายรูปแบบ ตามลักษณะของโหลด เช่น Single short pulse, Continuous pulse, Long pulse เป็นต้น ใช้งานได้ดีในย่านความถี่ระหว่าง 10 Hz ถึง 500 Hz ต้องการไฟเลี้ยงกระแสตรงขนาด 8 Vdc ถึง 18 Vdc ใช้งานได้ดีในย่านอุณหภูมิ -25°C ถึง $+85^{\circ}\text{C}$ กินกระแสไฟประมาณขนาด 4.5 mA – 10 mA อินเตอร์เฟสได้โดยตรงกับลอจิกเกตที่ใช้แรงดัน + 15 Vdc (เช่น CMOS) สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้านอกของวงจรที่ขา 14 และ 15 ได้ประมาณ 250 mA สัญญาณด้านออกมีทั้งแบบปกติและแบบกลับสัญญาณ มี Inhibit function ควบคุมการกำเนิดสัญญาณ และสามารถใช้งานได้ในลักษณะ Zero crossing ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

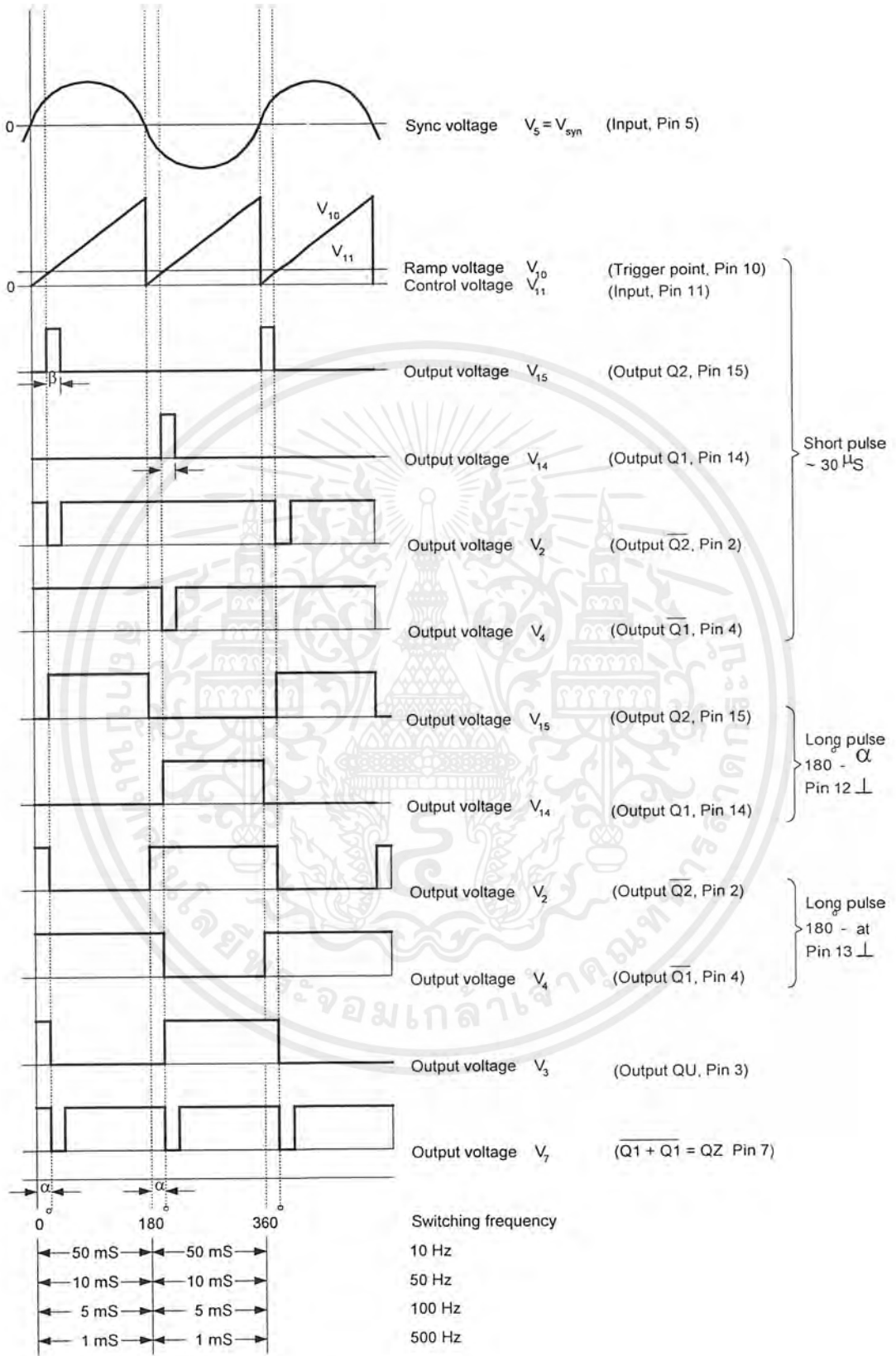
2. การทำงานของวงจรรวม TCA785 พิจารณาแผนภาพกรอบโครงสร้างภายในของ TCA785 ซึ่งเป็นวงจรรวมแบบ LSI มี 16 ขา บรรจุแบบตัวถังพลาสติกดังรูปที่ 2.23 จะเห็นขา 16 คือ +Vs รับแรงดันไบแอสในย่าน + 8 Vdc ถึง + 18 Vdc โดยขา 1 เป็นจุดดิน แรงดันควบคุมภายในเป็นแรงดันอ้างอิง คือ V_{ref} ประมาณ 3.1 V วัดได้ที่ขา 8 โดยตัว C_s ทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวน ขา 5 คือขาที่รับแรงดันซิงโครไนซ์ (V_{syn}) ซึ่งเป็นแรงดันไฟสลับจากแหล่งจ่ายไฟสลับที่ต่อกับภาคกำลัง โดยต่อนิวตรอนกับขา 1, R₉ คือ ตัวต้านทานสร้างสัญญาณลาดเอียงและ C₁₀ คือ ตัวเก็บประจุสัญญาณลาดเอียงต่อกับขา 9 และขา 10 ตามลำดับค่าของ C₁₀ มีค่าในย่าน 500 pF ถึง 1 μF และ R₉ มีค่าเหมาะสมในย่าน 3 kΩ - 300 kΩ

ถ้า R₉ และ C₁₀ จะเป็นตัวกำหนดขนาดของสัญญาณลาดเอียง (V₁₀) จะมีค่ามากตามไปด้วย ขา 11 ของ TCA785 คือขาที่ต่อแรงดันควบคุมเป็นแรงดันไฟตรงปรับค่าได้ แรงดันควบคุม (V₁₁) นี้จะป้อนเข้าขาบวก (+) ของออปแอมป์เปรียบเทียบสัญญาณควบคุมในรูป 2.23 โดยเทียบกับแรงดัน V₁₀ เพื่อกำหนดขนาดของมุมจุดชนวนที่ด้านออกของวงจร ดังรูป 2.24 จะเห็นว่าสัญญาณด้านออกของวงจรอยู่ที่ขา 14 และขา 15 โดยพัลส์ที่ขา 15 จะทำงานช่วงเวลา ωt = 0 - 180 องศา และพัลส์ที่ขา 14 จะทำงานที่ ωt = 180 - 360 องศา ขนาดความกว้างของพัลส์ด้านออกคือ β ปกติถ้าไม่ต่อ C₁₂ ต่อเข้าที่ขา 12 ดังแสดงความสัมพันธ์ของค่า C₁₂ กับค่า β ในตาราง ที่ 2.1



รูปที่ 2.23 โครงสร้างภายในของวงจรรวม TCA785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 รูปคลื่นสัญญาณด้านเข้าและด้านออกที่สำคัญของวงจรรวมเบอร์ TCA 785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

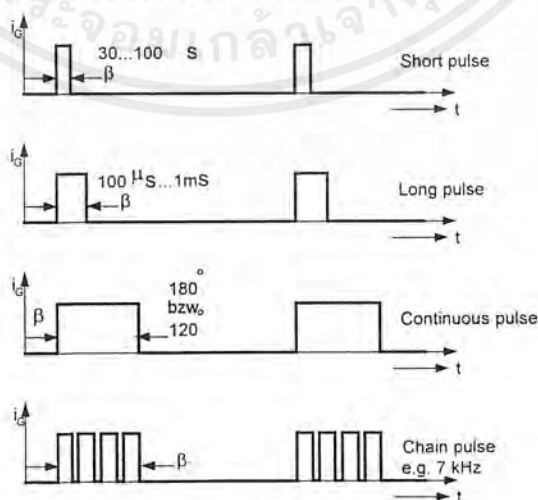
สำหรับขา 2 และขา 4 คือ สัญญาณกลับของ V_{15} และ V_{14} สัญญาณลักษณะพัลส์เดี่ยวที่มี $\beta = 30 \mu\text{s}$ นั้น จะเกิดได้เมื่อไม่มีการต่อ C_{12} เข้าที่ขา 12 แต่ถ้าต้องการให้พัลส์ด้านนอกเป็นพัลส์ยาว ทำได้โดยการต่อขา 12 กับจุดดิน และถ้าต้องการให้สัญญาณด้านนอกที่ขา 2 และ 24 เป็นพัลส์ยาวด้วยจะต้องต่อขา 13 เข้ากับจุดดิน ดังรูปคลื่นที่แสดงในรูป 2.24

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของความกว้างของพัลส์ด้านนอกกับค่า C_{12}

C_{12} (pF)	0	150	220	330	680	1000
Pulse width (μS)	30	93	137	205	422	620

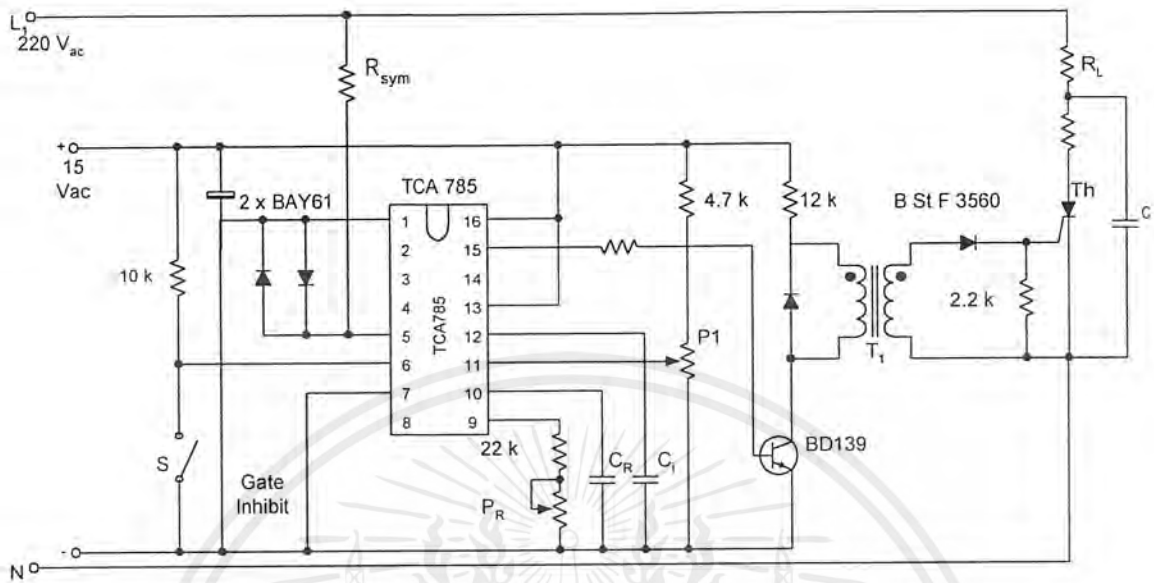
3. ลักษณะของพัลส์ด้านออกชนิดต่าง ๆ การสร้างพัลส์ด้านออกให้มีรูปร่างแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของโหลดในวงจรกำลังที่ทรานซิสเตอร์นั้นต่อควบคุมกับ โหลดอยู่ลักษณะของพัลส์มีหลายแบบดังรูปที่ 2.6.4 มีรายละเอียดดังนี้

1. Short pulse ($\beta = 30 - 100 \mu\text{s}$) สำหรับโหลดตัวความต้านทาน
2. Long pulse ($\beta = 100 \mu\text{s} - 1\text{ms}$) สำหรับโหลดตัวความต้านทานที่กินกระแสสูงๆ หรือโหลดตัวเหนี่ยวนำ
3. Continuous pulse ($\beta = 180 - \alpha$) สำหรับโหลดตัวเหนี่ยวนำที่มีค่า L สูงมาก ๆ
4. Combined pulse สำหรับวงจรที่มีการเปลี่ยนแปลงของกระแสเกต ($\frac{dv}{dt} = 1$ ถึง $3A/\mu\text{s}$) หรือสำหรับจุดชนวนเกต ทรานซิสเตอร์ที่ต่ออนุกรมกัน
5. Double pulse ใช้สำหรับวงจรจุดชนวน ทรานซิสเตอร์ในวงจร 3 เฟส บริดจ์



รูปที่ 2.25 ลักษณะของพัลส์จุดชนวนเกตของ ทรานซิสเตอร์แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

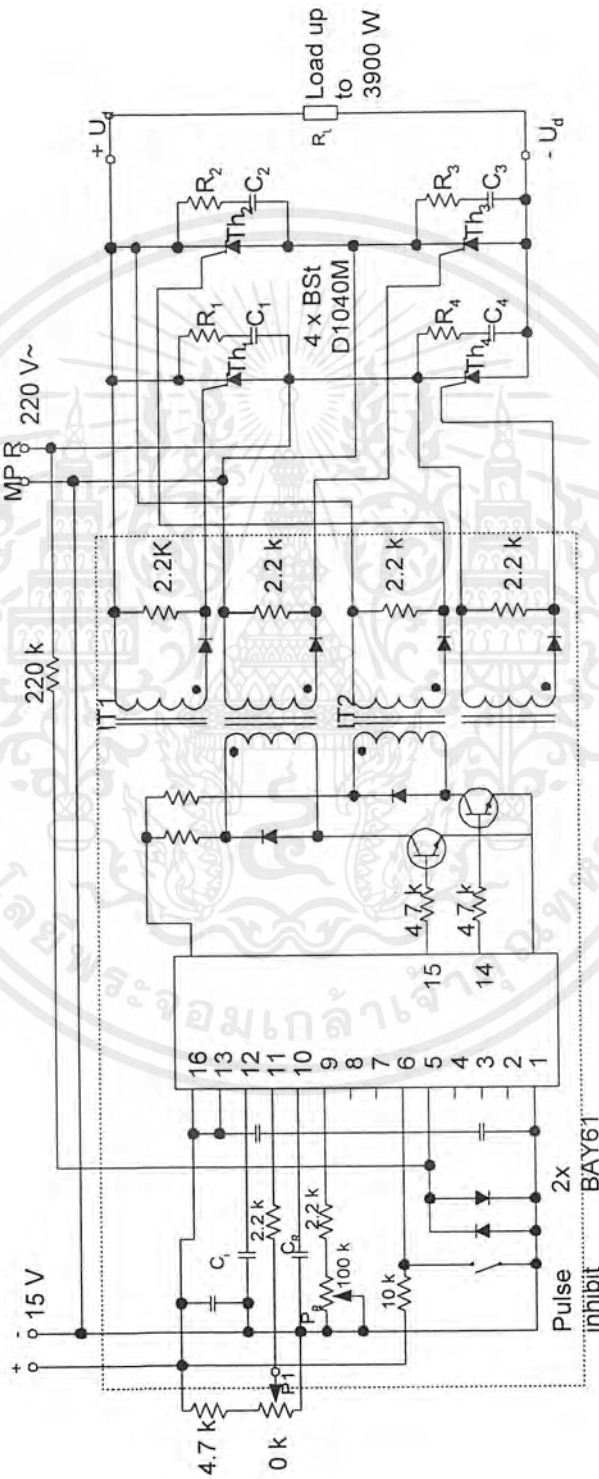


รูปที่ 2.27 การจุดชนวนโดยใช้หม้อแปลงขยายสัญญาณ

วงจรในรูป 2.27 สัญญาณค่านอกที่ขา 15 ของวงจรจะผ่านทรานซิสเตอร์สวิตช์เบอร์ BD139 เพื่อขยายสัญญาณกระแสผ่านหม้อแปลงพัลส์จุดชนวน T_1 เพื่อจ่ายพัลส์จุดชนวนให้กับ ไทริสเตอร์ให้ได้รับกระแสเพียงพอ การใช้หม้อแปลงพัลส์เพื่อแยกการเชื่อมโยงทางไฟฟ้า ระหว่างภาคควบคุมกับภาคกำลัง สามารถป้องกันวงจรควบคุมได้เป็นอย่างดี

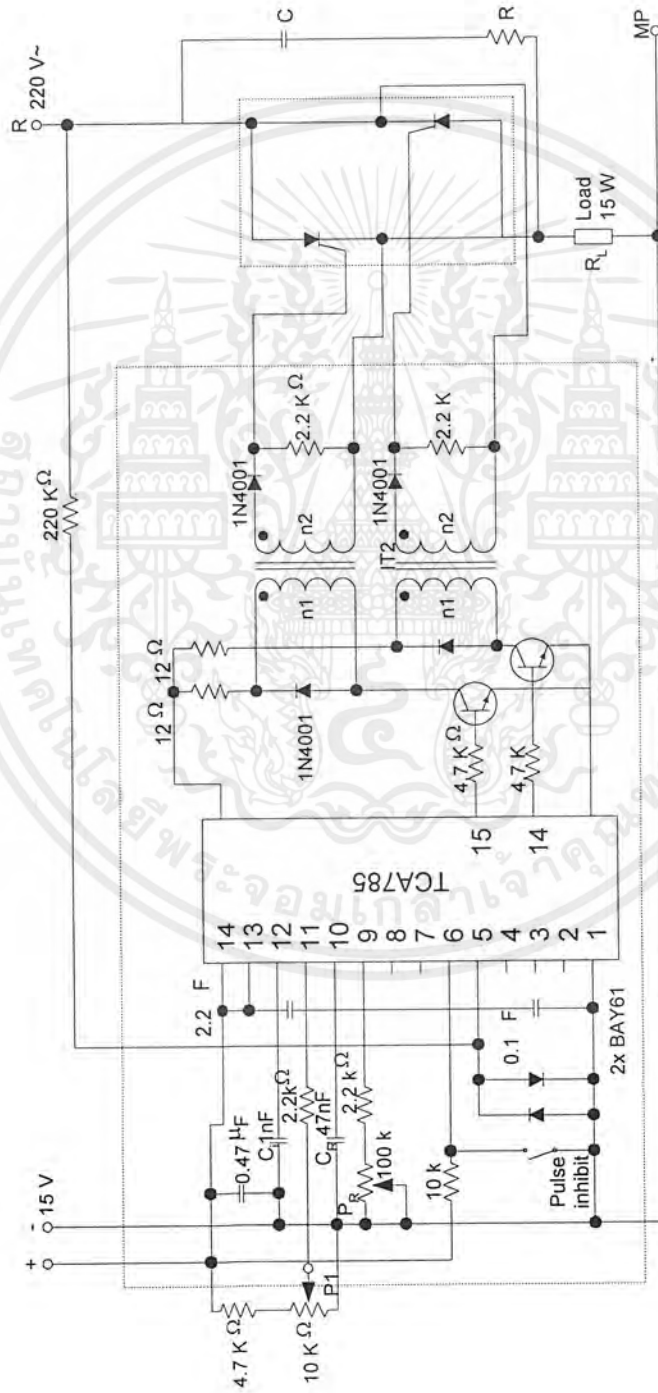
การจุดชนวนของวงจรเรียงกระแส 1 เฟส ที่ควบคุมเต็มบริดจ์ ต้องใช้วงจรจุดชนวนที่จ่ายพัลส์ได้ 2 ชุด ที่แยกจุดแคโทดให้ไทริสเตอร์ที่ต้องทำงานพร้อมกัน จากวงจรในรูป 2.28 ไทริสเตอร์ Th_1 และ Th_3 ต้องทำงานพร้อมกันที่เวลา $\omega t = 0 - 180$ และไทริสเตอร์ Th_2 และ Th_4 ต้องทำงานพร้อมกันที่เวลา $\omega t = 180 - 360$ ดังนั้นการแยกพัลส์การจุดชนวนเป็น 2 ชุด ทำได้โดยการใช้หม้อแปลงพัลส์ที่มีขดลวดทุติยภูมิ 2 ขด จึงทำงานได้อย่างปลอดภัย ดังรูป 2.28

การจุดชนวนไทริสเตอร์ 2 ตัว ในวงจรควบคุมไฟสลับ 1 เฟส แสดงดังรูป 2.29 จะเห็นว่าหม้อแปลงจุดชนวนในวงจรนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ชนิดที่มีขดลวดทุติยภูมิ 2 ขด เหมือนวงจรบริดจ์ ลักษณะของรูปคลื่นแรงดัน โหลดและกระแสโหลดแสดงในรูป 2.30



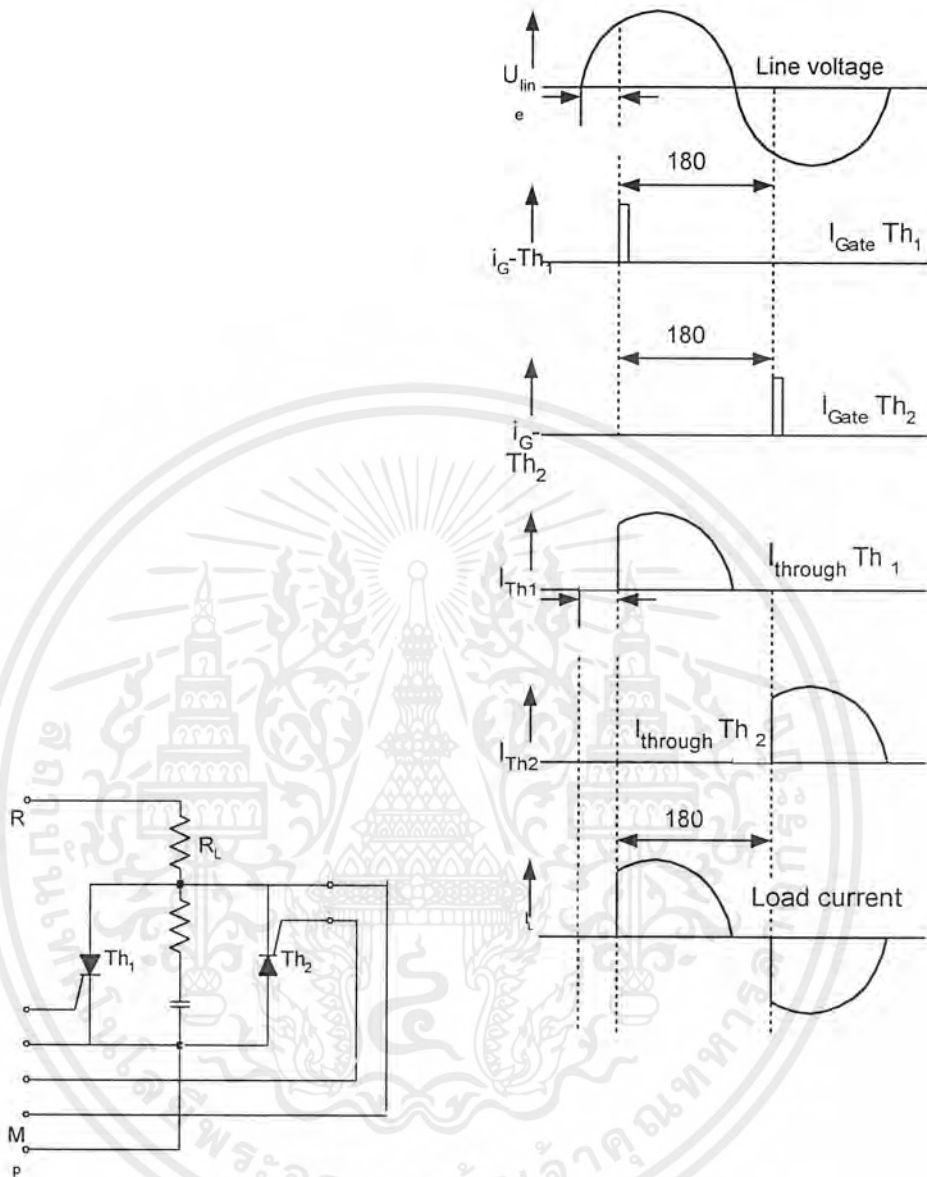
รูปที่ 2.28 วงจรจุดชนวนเกณฑ์พัลส์เตอร์ในวงจรเรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่นที่ควบคุมได้แบบบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 การลดขนาดวงจรควบคุมแรงดันไฟสลับ 1 เฟส ด้วย TCA785

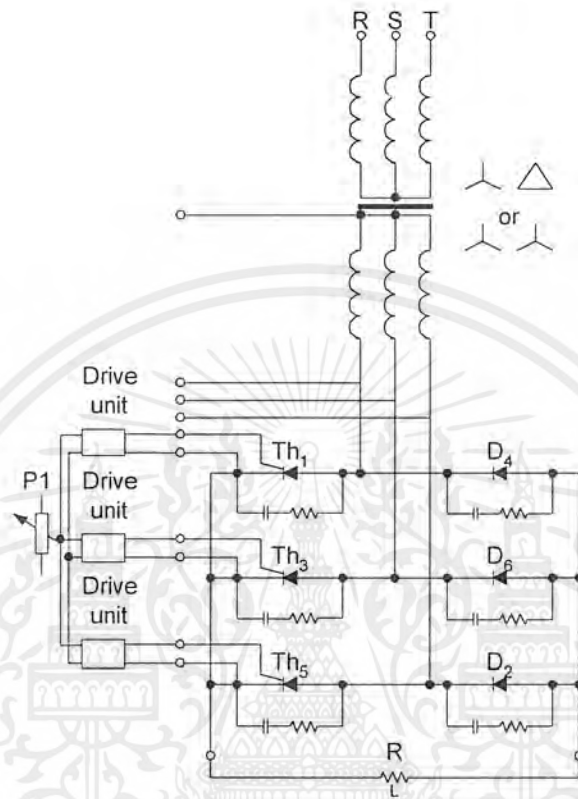
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 รูปคลื่นกระแสและแรงดัน โหลดของวงจร

5. วงจร 3 เฟสที่ควบคุมด้วย TCA785 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสที่ควบคุมด้วย TCA785 เช่น วงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมครึ่งบริดจ์ และวงจรเรียงกระแส 3 เฟส ครึ่งคลื่น จะใช้วงจรจุดชนวนวงจรวัดเดียวกัน เพราะมีไทรสเตอร์ทำงานบนสายไฟสลับ 3 เฟส เฟสละ 1 ตัว ลักษณะของวงจรจุดชนวนจะใช่วงจรรวม TCA785 3 ตัว แต่ละตัวทำงานควบคุมไทรสเตอร์ ตัวละ 1 เฟส โดย TCA785 ที่รับแรงดัน V_{syn} จากสายเฟส R จะจ่ายพัลส์จุดชนวนให้กับไทรสเตอร์ที่ทำงานบนเฟส R และสำหรับเฟส S และ T ก็เช่นเดียวกัน ดังวงจรตัวอย่างในรูป 2.31 คือวงจรเรียงกระแส 3 เฟส เต็มคลื่นที่ควบคุมครึ่งบริดจ์ จะเห็นว่าใช้ตัวต้านทาน R_1 เพียงตัวเดียวต่อแรงดันควบคุม (V_{11}) ให้กับวงจรวัดทั้ง 3 ตัวควบคุมพร้อมๆ กัน

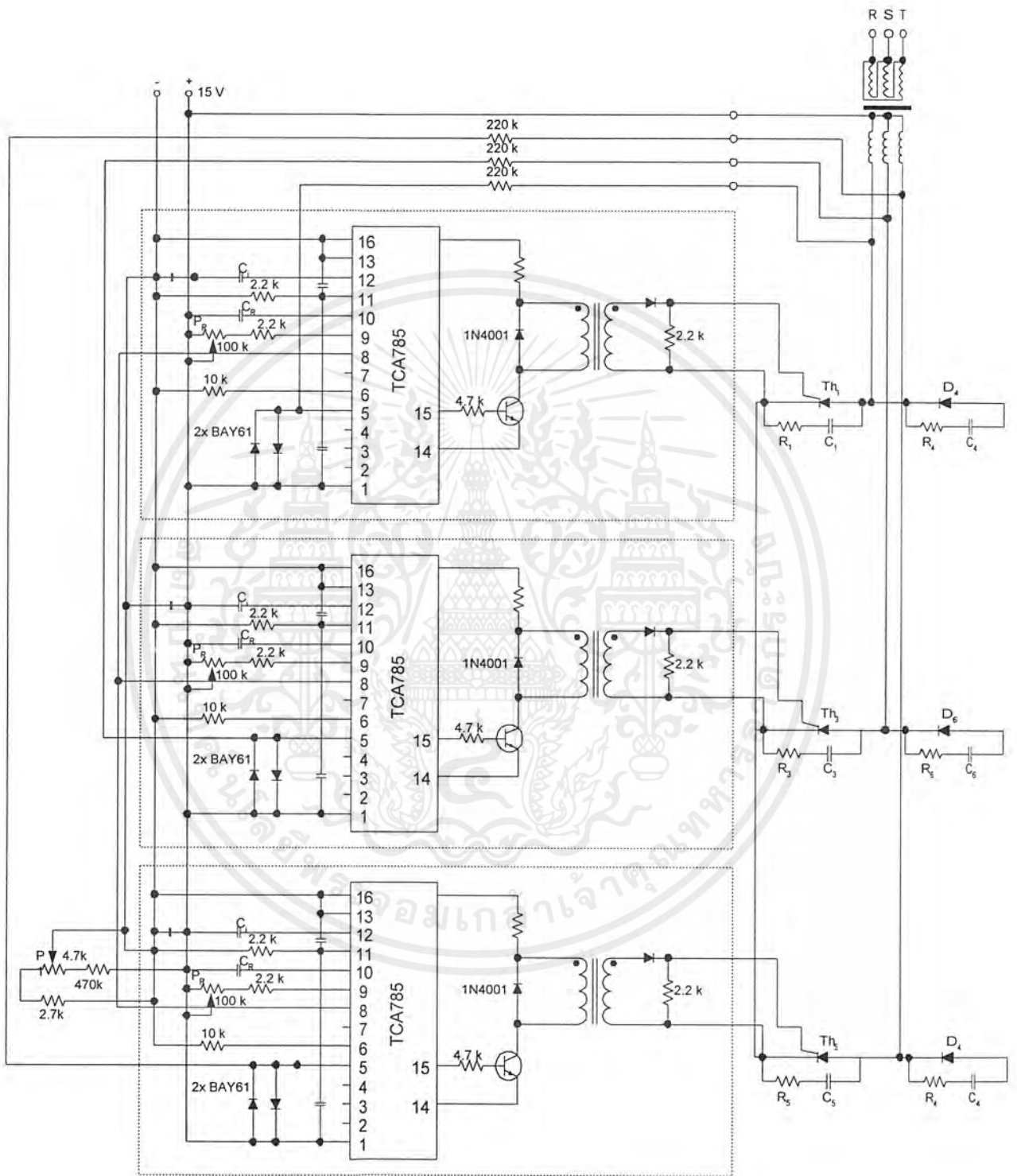
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 การจุดชนวนวงจร 3 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมครึ่งบริดจ์ โดยใช้ TCA785 3 ตัว

เมื่อพิจารณาวงจรในรูป 2.31 โดยรายละเอียดจะได้ดังรูป 2.32 จะเห็นว่าแรงดัน V_{syn} ที่ต่อเข้าขา 5 ของ TCA785 แต่ละตัวต้องต่อผ่าน R_{syn} ขนาด 220 k Ω และวงจรที่ใช้แหล่งจ่ายไฟตรงภายนอกขนาด +15 Vdc ต่อเข้าที่ขา 16 และลบต่อเข้านิวตรอนของหม้อแปลง 3 เฟส การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดควบคุมโดยตัวต้านทาน P_1

สำหรับวงจรตัวอย่างในรูป 2.32 คือวงจรเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง ใช้ในวงจรควบคุมการเชื่อมแบบ MIG/MAG ซึ่งต้องใช้แรงดันคงที่ขณะทำการเชื่อม การเชื่อมแบบ MIG/MAG ดังกล่าวต้องใช้กระแสขนาด 50 A ถึง 650 A และแรงดันไฟฟ้าตรงต้องสามารถปรับค่าได้ระหว่าง 22 V ถึง 46 V โดยการปรับมุมจุดชนวน (α) ได้ระหว่างย่าน $\alpha = 0^\circ - 150^\circ$



รูป 2.32 วงจรจุดชนวนเกตของไทรสเตอร์ 3 ตัว และวงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นควบคุมได้ แบบบริดจ์ด้วย TCA785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

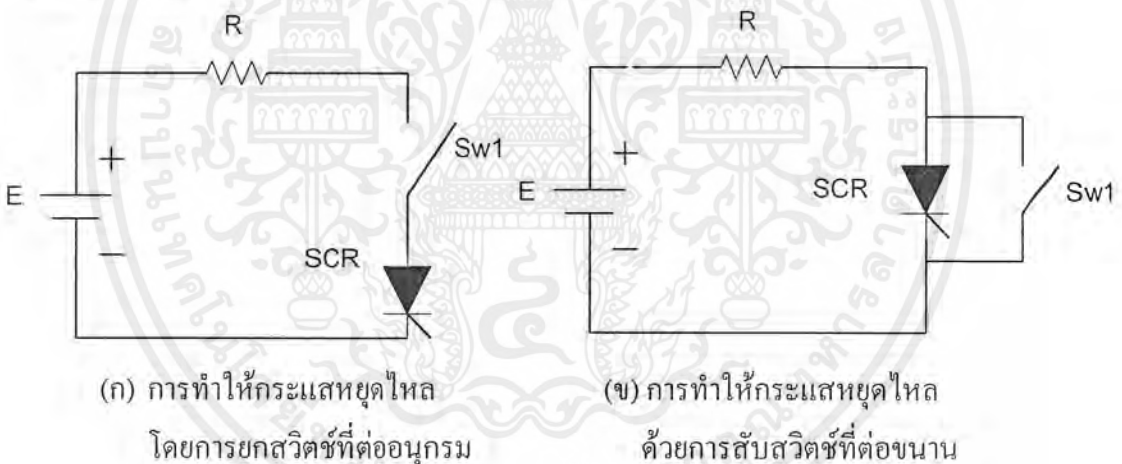
2.7 การปิดกระแสของไทรสเตอร์

การปิดกระแสของไทรสเตอร์ มีความหมายถึงการหยุดนำกระแสในทิศทางไบแอสตรงทั้งหมดของไทรสเตอร์โดยที่ป้อนแรงดันกลับคืนเข้ากับแอโนดใหม่และไม่ป้อนสัญญาณเกดอีกแล้วจะไม่มีกรเปิดกระแสขึ้นอีกการปิดกระแสของไทรสเตอร์เป็นกระบวนการที่ยู่ยากซึ่งจะอธิบายข้างล่างนี้ โดยเราแบ่งออกเป็นวิธีใหญ่ๆ 2 วิธีคือ

2.7.1 การทำให้กระแสหยุดไหลตามธรรมชาติ

ถ้าเราต้องการปิดให้ไทรสเตอร์หยุดนำกระแส เราอาจทำได้โดยการลดกระแสแอโนดให้ต่ำกว่าค่ากระแสยึดของไทรสเตอร์ (อัตรากระแสแอโนดปกติมีค่าใหญ่กว่ากระแสยึดประมาณ 1000 เท่า) ซึ่งเราอาจทำได้ 2 วิธีคือ

- (1) สับสวิตช์ SW_1 ที่ต่ออนุกรมกับไทรสเตอร์ให้เปิดออก ดังรูปที่ 2.33 (ก)
- (2) สับสวิตช์ SW_2 ที่ต่อขนานกับไทรสเตอร์ให้ปิดลงเพื่อตัดวงจรให้กระแสไม่ไหลเข้าไปในไทรสเตอร์แล้วไทรสเตอร์จะปิดกระแส ดังรูปที่ 2.33 (ข)



รูปที่ 2.33 การทำให้กระแสหยุดไหลตามธรรมชาติ

2.7.2 การทำให้กระแสหยุดไหลด้วยแรงดันกลับ

โดยการป้อนแรงดันเข้าระหว่างแอโนด และแคโทด (คือป้อนแรงดันให้แคโทดมีศักย์เป็นบวกโดยเทียบกับแอโนด) ของไทรสเตอร์จะทำรอยต่อถูกไบแอสกลับกับของกรณีไทรสเตอร์เปิดกระแสโดยรอยต่อ J_1 กับ J_2 จะถูกไบแอสกลับแต่รอยต่อ J_2 จะถูกไบแอสตรงพาหะต่างๆ จะไหลสวนทางกับกรณีไทรสเตอร์เปิดกระแส ทำให้กระแสไหลกลับจากแคโทดสู่แอโนดกระแสนี้จะไหลกระชาก และถูกจำกัดค่า $\frac{di}{dt}$ ด้วยค่าความต้านทานของวงจรภายนอกซึ่งคงจะไหลอยู่ชั่วระยะเวลา

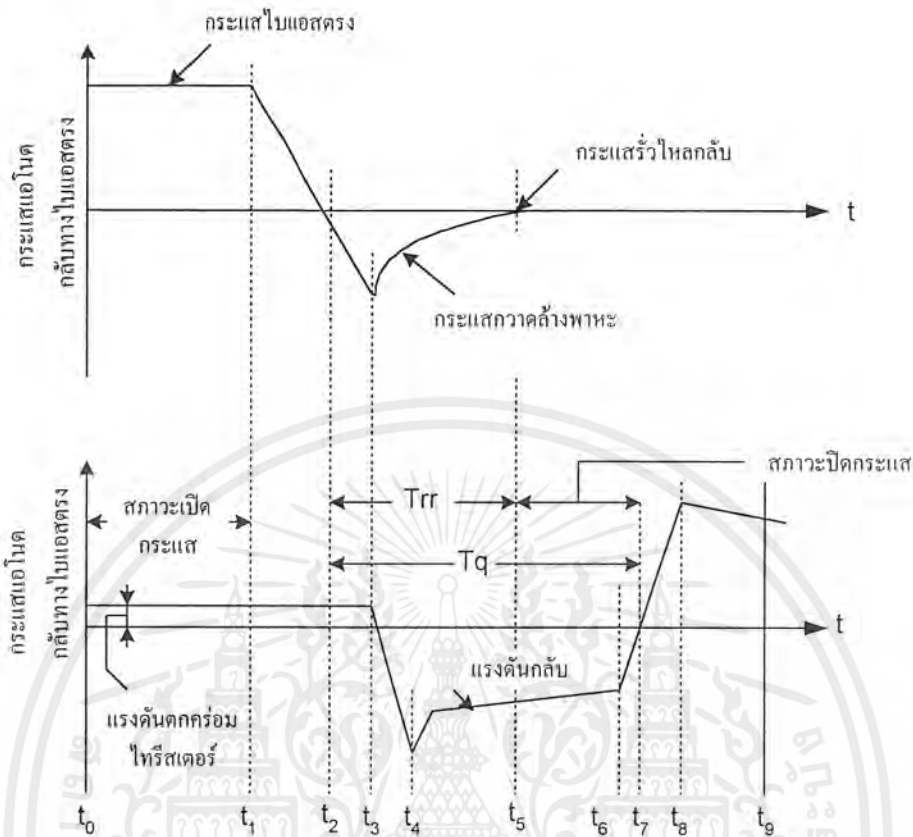
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่ง จนกระทั่งส่วนใหญ่ของพาหะที่รอย ต่อ J_1 และ J_3 ได้เคลื่อนที่ออกไปจนหมด เป็นผลให้ รอยต่อ J_1 และ J_3 อยู่ในสถานะกั้นกระแส ทำให้กระแสที่รอยต่อทั้งสองนี้ลดค่าลงเป็นศูนย์ ขณะ เดียวกันรอยต่อ J_2 ถูกไบแอสตรง และมีประจุจำนวนมากตกค้างอยู่ที่รอยต่อนี้พาหะที่เป็น อิเล็กตรอนและโฮลจะกลับเข้าร่วมกัน เป็นผลให้การป้อนกลับค่าบวกลดค่าลงต่ำเป็นศูนย์ในเวลาชั่ว ครู่หนึ่งแล้ว ไทริสเตอร์ก็เข้าสู่ภาวะปิดกระแสถ้าอุณหภูมิรอยต่อมีค่าสูงหรือสาเหตุอื่นดังจะกล่าวต่อ ไป การกลับเข้าร่วมตัวของอิเล็กตรอนและโฮลจะกินเวลานานออกไปทำให้ไทริสเตอร์ใช้เวลาปิด กระแสเนิ่นนานออกไปด้วย วิธีการนี้แบ่งออกเป็น 2 วิธีย่อยๆ คือ

(1) การทำให้กระแสหยุดไหลด้วยเฟสหรือด้วยแรงดันของสายไฟฟ้ากระแสสลับ โดยอาศัย แรงดันค่าลบทุกๆ ครึ่งลบของวัฏจักรของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเลี้ยงวงจรทำหน้าที่ ไบแอสกลับ ให้กับไทริสเตอร์แล้ว ไทริสเตอร์จะเข้าสู่ภาวะปิดกระแส วิธีนี้เป็นที่นิยมในการปฏิบัติมากสำหรับ กรณีที่ไฟฟ้าเลี้ยงวงจรเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

(2) การทำให้กระแสหยุดไหลด้วยวิธีบีบบังคับ โดยอาศัยการเก็บประจุจำนวนมากไว้บนตัว เก็บประจุเมื่อถึงเวลา ที่เราต้องการจะปิดไทริสเตอร์ให้หยุดนำกระแส เราก็ใช้วิธีการทาง อิเล็กทรอนิกส์เข้าบังคับให้ตัวเก็บประจุจ่ายประจุผ่านไทริสเตอร์ในทิศทาง ไบแอสกลับอย่าง รวดเร็วเป็นกระแสอิมพัลส์ เมื่อกระแสอิมพัลส์นี้มีค่าใหญ่กว่ากระแสแอนโอดในทิศทางไบแอสตรง แล้ว ไทริสเตอร์จะปิดกระแสลง วิธีนี้ให้เวลาปิดกระแสสั้นมาก เป็นวิธีที่นิยมใช้กับกรณีที่ไฟฟ้าเลี้ยง วงจรเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

เมื่อ ไทริสเตอร์กำลังอยู่ในสถานะเปิดกระแสอยู่แล้วถ้าเราทำให้ปิดกระแสด้วยวิธีการดัง กล่าวข้างต้น (โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้วิธีการปิดกระแสด้วยแรงดันกลับ) เราจะได้รูปคลื่นของ แรง ดันและรูปคลื่นของกระแสดังรูปที่ 2.34 เราจะเห็นได้ว่ามีกระแสไหลกลับค่าใหญ่อยู่ชั่วครู่หนึ่งแล้ว ค่อยๆ ลดค่าเล็กลงสู่สถานะคงตัวโดยมีพฤติกรรมเหมือนกระแสกวาดล้างพาหะในไดโอด ซึ่งทำให้ สามารถนิยามค่าที่เกี่ยวข้องกับเวลาปิดกระแสดังนี้



รูปที่ 2.34 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสของไทรสเตอร์ในช่วงเปิดกระแส

เวลาปิดกระแส เป็นช่วงเวลาที่สั้นที่สุดอยู่ระหว่างเวลาที่กระแสทิศทางไปแอสตรงมีค่าเป็นศูนย์ (t_2) ถึงเวลาที่ไทรสเตอร์สามารถกั้นแรงดันทิศทางไปแอสตรงที่ป้อนกลับเข้าไปใหม่ ไทรสเตอร์กลับสู่สภาวะเปิดกระแสอีก (t_7)

เวลาปิดกระแสของวง เป็นช่วงเวลาที่ปิดกระแสของวงจรมีอิทธิพลต่อการปิดกระแสของไทรสเตอร์ โดยเวลาปิดกระแสของวงจร (t_9) จะต้องใหญ่กว่าเวลาปิดกระแสของไทรสเตอร์มีฉะนั้น ไทรสเตอร์จะกลับคืนเข้านำกระแสอีก

เวลาฟื้นตัวกลับ เป็นเวลาจากกระแสที่มีค่าเท่ากับศูนย์ (t_2) ไปจนถึงเวลาที่กระแสไหลกลับผ่านไทรสเตอร์ได้ลดค่าลงจากค่าสูงสุดไปถึงค่า ค่าหนึ่งตามแต่จะระบุเอาไว้ (ตามปกติเป็นค่า 10 % ของค่าสูงสุดของกระแสไหลกลับทาง)

กระแสที่ไหลกลับทางในช่วงเวลาฟื้นตัวกลับอาจเรียกเป็นกระแสฟื้นตัวกลับซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่สำคัญทางทฤษฎีแต่มีความสำคัญทางประยุกต์ของไทรสเตอร์ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) ในวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ใช้ไทรสเตอร์เป็นตัวเรียงกระแส กระแสพื้นตัวกลับของไทรสเตอร์ตัวหนึ่งจะเข้าไปไหลในทิศทางไบแอสตรงของไทรสเตอร์ที่ต่อคู่กัน กระแสนี้เป็นผลให้ไทรสเตอร์ที่ต่อคู่กันเปิดกระแสขึ้น โดยมีค่าใหญ่มาก

(2) ในวงจรอินเวอร์เตอร์บางชนิด ที่ทำงานบนหลักการที่ว่าเมื่อไทรสเตอร์ตัวหนึ่งปิดกระแสจะไปทำให้ไทรสเตอร์อีกตัวเปิดกระแส กระแสไหลกลับของไทรสเตอร์ตัวแรกจะไปทำให้ไทรสเตอร์ตัวที่สองเปิดกระแสด้วยค่าใหญ่มาก

(3) การทำให้กระแสพื้นตัวกลับหยุดอย่างรวดเร็วด้วยวิธีใดก็ตาม จะทำให้เกิดแรงดันชั่วครู่ที่มีอันตรายต่อไทรสเตอร์ และมีคลื่นไฟฟ้าแม่เหล็กไปรบกวนวิทยุ

(4) เมื่อไทรสเตอร์อนุกรมกันหลายตัว แรงดันกลับที่แจกจ่ายไปตกคร่อมไทรสเตอร์ต่างๆ มีค่าไม่เท่ากันทำให้ผลต่อเวลาที่พื้นตัวกลับมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นไทรสเตอร์จะปิดกระแสไม่พร้อมกัน ทำให้ไทรสเตอร์บางตัวมีแรงดันกลับสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการชำรุดขึ้นได้

2.8 การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ คือการนำสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไทรสเตอร์ หรือ ไทโรนแอค ไปใช้ในการแปรผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ จากแหล่งจ่ายไฟสลับ ที่มีแรงดันไฟฟ้าคงที่ และความถี่คงที่ ให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ปรับค่าได้แต่มีความถี่คงที่ เป็นวิธีการแปรผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แบบหนึ่ง นิยมใช้กันมากในงานอุตสาหกรรม

หลักการควบคุมสำหรับวงจรที่ใช้ควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่โหลดทั้งกรณีใช้กับแหล่งจ่ายไฟสลับ 1 เฟส และ 3 เฟส คือเทคนิคการควบคุมการจุดชนวนของไทรสเตอร์ในวงจรแบ่งออกได้ 2 วิธีคือ

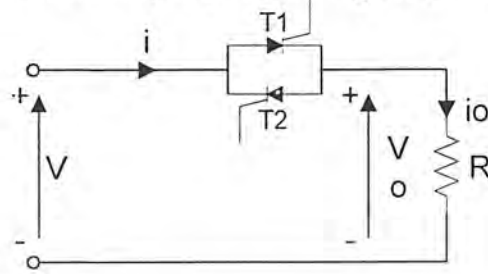
1. การควบคุมแบบปิด - เปิด
2. การควบคุมเฟส

2.8.1 การควบคุมแบบปิด - เปิด

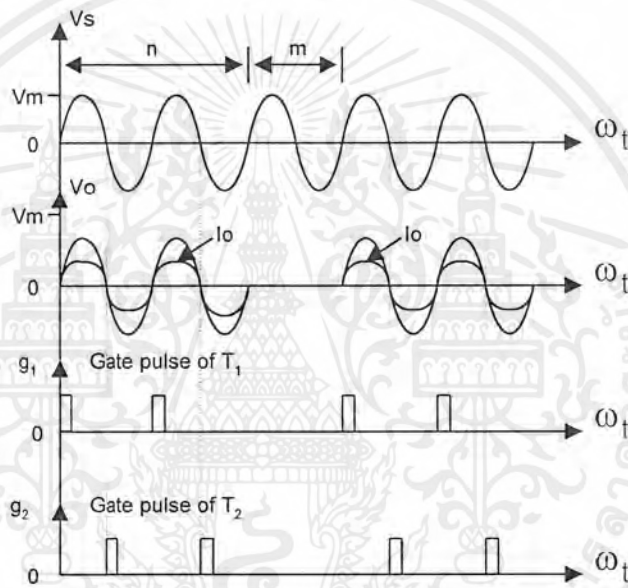
หลักการควบคุมแบบปิด - เปิด อธิบายได้จากวงจรควบคุมไฟสลับแบบ 1 เฟส ดังรูป 2.35 (ก) โดยวงจรจะใช้ไทรสเตอร์ 2 ตัวต่อกลับหลัง โดยให้ไทรสเตอร์ T_1 ทำงานในครึ่งวัฏจักรบวกของแหล่งจ่ายไฟสลับ (V) และไทรสเตอร์ T_2 ทำงานในช่วงครึ่งวัฏจักรลบของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (V) โดยไทรสเตอร์ทั้ง 2 ตัวจะได้รับสัญญาณจุดชนวนเกต g_1 และ g_2 ดังแสดงในรูป 2.35(ข) โดยสัญญาณ g_1 จะจุดชนวนเกตของ T_1 ที่แรงดันโพลมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นเวลาเดียวกันกับ $\omega t = 0$ ของแต่ละวัฏจักรและสัญญาณจุดชนวนเกต g_2 จะจุดชนวนเกตของ T_2 ที่เวลา $\omega t = 0 + \pi$ แต่จะมีการกำหนดจำนวนพัลส์จุดชนวนว่าต้องให้ไทรสเตอร์ทั้งสองทำงานจำนวน n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

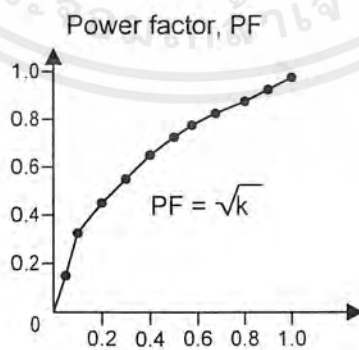
วิภูจักร และให้หยุดทำงานจำนวน m วิภูจักร จากรูป 2.35(ข) กำหนดให้ไทรสเตอร์ทั้ง 2 ตัวทำงาน (ON) จำนวน 2 วิภูจักร และไม่ทำงาน (OFF) จำนวน 1 วิภูจักร ($n = 2$ วิภูจักร, $m = 1$ วิภูจักร)



(ก) Circuit



(ข) Wave forms



(ค) Power factor

รูปที่ 2.35 วงจรควบคุมแรงดันไฟสลับโดยวิธีควบคุมแบบ ปิด - เปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรในรูป 2.35 (ก) กำหนดให้

$$v = V_m \sin \omega t \text{ (แรงดันชั่วขณะของแหล่งจ่ายไฟสลับ)}$$

n = จำนวนวัฏจักรที่ไทรสเตอร์ทำงาน (ON - cycle)

m = จำนวนวัฏจักรที่ไทรสเตอร์ไม่ทำงาน (OFF - cycle)

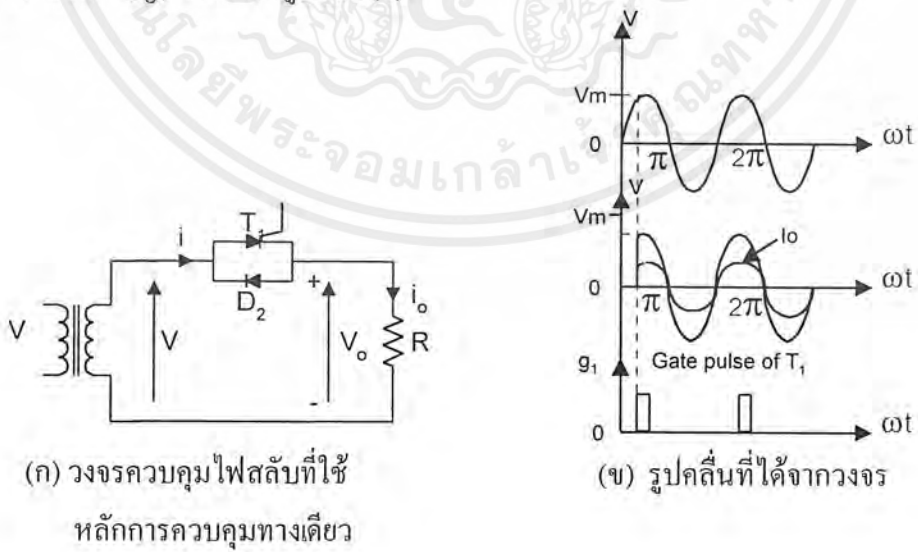
การควบคุมแบบปิด - เปิดนี้ ค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งานด้านออกของวงจร และค่าตัวประกอบกำลังแปรไปตามค่าวัฏจักรหน้าที่ (K) ค่าตัวประกอบกำลังจะมีค่าเมื่อค่า \sqrt{K} มีค่าต่างๆ ดังรูป 2.35 (ค)

2.8.2 การควบคุมเฟส

วงจรการใช้งานไทรสเตอร์ควบคุมเฟส เพื่อควบคุมขนาดของแรงดันไฟฟ้าใช้งานด้านออกของวงจร อาจใช้ไทรสเตอร์ 2 ตัวต่อกลับกันดังรูป 2.36(ก) เรียกว่าวงจรควบคุมสองทาง หรืออาจใช้ไทรสเตอร์ 1 ตัวและไดโอด 1 ตัวแทนได้ เรียกว่าวงจร ควบคุมทางเดียวดังรูป 2.36 (ก)

หลักการควบคุมเฟสคือ สร้างสัญญาณจุดชนวนของไทรสเตอร์ในวงจร ให้ไทรสเตอร์ตัวที่นำกระแสในครึ่งวัฏจักรบวกของแหล่งจ่ายไฟสลับทำงานที่มุมจุดชนวนระหว่าง $0 - 180$ องศา ($0 - \pi$) และการควบคุมให้ไทรสเตอร์ที่นำกระแสในครึ่งวัฏจักรลบของแหล่งจ่ายไฟสลับทำงานที่มุมจุดชนวนระหว่าง $180 - 360$ องศา ลักษณะของการควบคุมทางเดียวนั้น จะควบคุมขนาดแรงดันไฟฟ้าใช้งานขาออกของวงจรได้ในช่วง 70.7% ถึง 100% จึงเหมาะที่จะใช้กับโหลดที่เป็นตัวความต้านทานที่กระแสไฟใช้งานต่ำๆ เท่านั้น

1. วงจรควบคุมทางเดียว ลักษณะของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าใช้งานที่โหลด $V_{O(RMS)}$ และกระแสด้านออก (I_o) แสดงในรูป 2.36(ข)

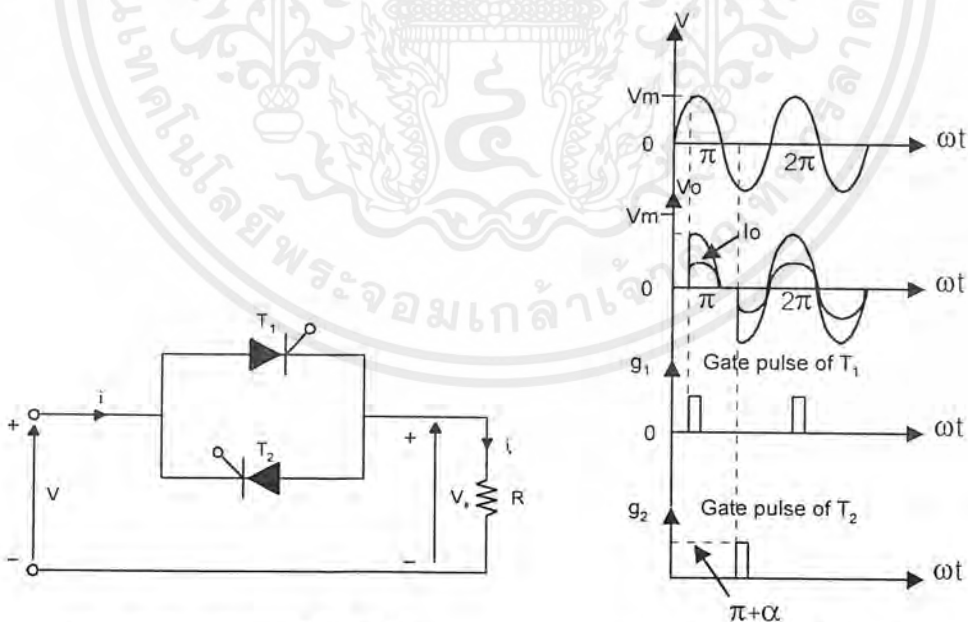


รูปที่ 2.36 วงจรควบคุมไฟสลับที่ใช้หลักการควบคุมมุมเฟส ทำการควบคุมทางเดียว มีโหลดเป็นตัวความต้านทาน ที่มุมจุดชนวน (α)
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรรูป 2.36 ไทริสเตอร์ T_1 จะทำงานในครึ่งวัฏจักรบวก โดยมีสัญญาณจุดชนวนเกต (g_1) ที่ควบคุมได้ในย่าน $\alpha = 0$ ถึง $\alpha = \pi$ และไทริสเตอร์ T_2 เมื่อถูกจุดชนวนที่มุม α ใดๆ แล้วจะหยุดนำกระแสเองโดยธรรมชาติที่ $\omega t = \pi$ ในกรณีที่โหลดเป็นตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว

2. วงจรควบคุมสองทาง ลักษณะของวงจรควบคุมสองทางจะใช้ไทริสเตอร์ 2 ตัวดังรูป 2.37(ก) โดยไทริสเตอร์ T_1 ทำงานในเวลา $\omega t = 0 - \pi$ และไทริสเตอร์ T_2 ทำงานในเวลา $\omega t = \pi - 2\pi$ โดยมีสัญญาณจุดชนวนเกตของไทริสเตอร์ T_1 และ T_2 (g_1 และ g_2) ดังแสดงในรูปที่ 2.38(ข) ถ้าสัญญาณจุดชนวนเกตของไทริสเตอร์ T_1 เท่ากับ α สัญญาณจุดชนวนเกตของไทริสเตอร์ T_2 จะเท่ากับ $\pi + \alpha$ การวิเคราะห์หาค่าแรงดันไฟฟ้าใช้ อาร์เอ็มเอส ที่โหลด และกระแสไฟอาร์เอ็มเอส ที่โหลดนั้นขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของโหลดชนิดต่างๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 กรณีโหลดเป็นตัวความต้านทาน เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทานจะเป็นผลให้ไทริสเตอร์ T_1 ที่ถูกจุดชนวนเกตที่มุม $\omega t = \alpha$ เริ่มนำกระแส และหยุดนำกระแสเองโดยธรรมชาติ เมื่อแรงดันของแหล่งจ่ายเป็นมุม $\omega t = \pi$ ในเวลาถัดไป ไทริสเตอร์ T_2 จะถูกจุดชนวนให้นำกระแสที่มุม $\omega t = \pi + \alpha$ และจะหยุดนำกระแสเองเช่นกันที่มุม $\omega t = 2\pi$ ดังรูปที่ 2.38(ข) จะเป็นผลให้สามารถควบคุมขนาดแรงดันไฟสลับกลับที่โหลดได้ เพราะพื้นที่ของรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของมุมจุดชนวนเกตของไทริสเตอร์ทั้งสอง



(ก) วงจรควบคุมแรงดันไฟสลับ

(ข) รูปคลื่นที่ได้จากวงจร

แบบควบคุมสองทาง

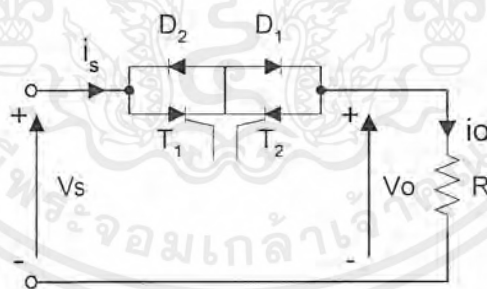
รูปที่ 2.37 วงจรควบคุมแรงดันไฟสลับ 1 เฟส ควบคุมสองทางวิธีควบคุมเฟส เมื่อจุดชนวนเกตของ T_1 ที่มุม α และ T_2 ที่มุม $\pi + \alpha$ มีโหลดเป็นตัวความต้านทานเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

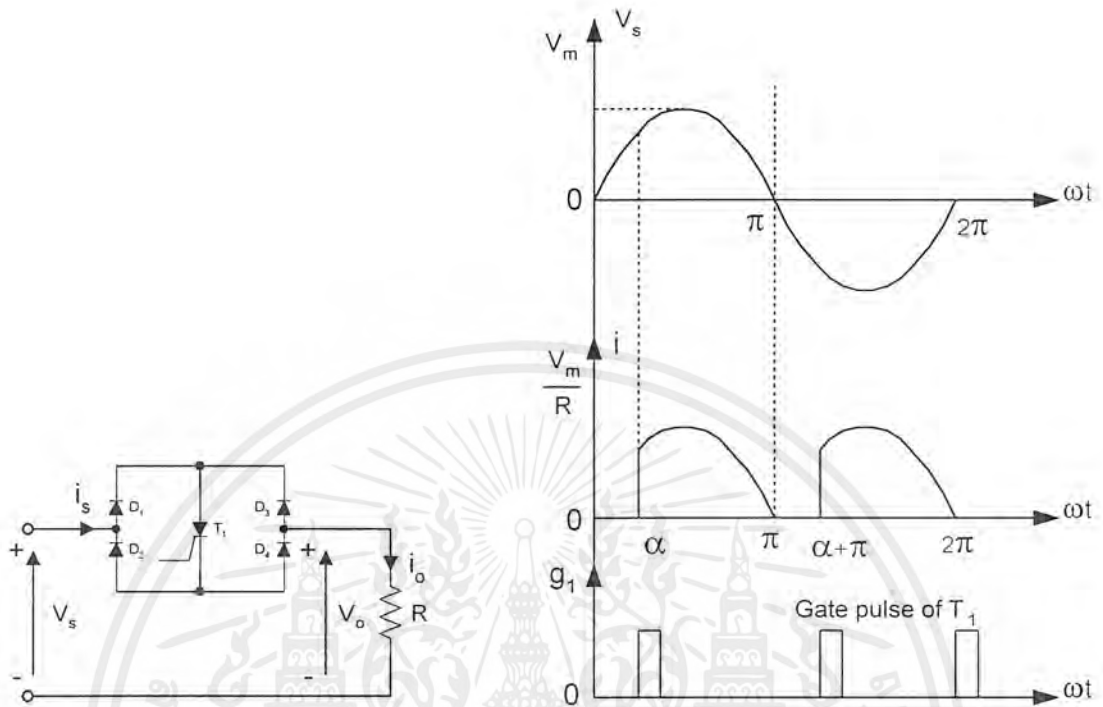
เนื่องจากโหลดเป็นตัวความต้านทานเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการหาค่ากระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสที่โหลดจึงได้จากสมการที่ 2.12

$$I_o(rms) = \frac{V_o(rms)}{R} \quad (2.12)$$

วงจรควบคุมแรงดันไฟสลับที่ควบคุมสองทาง ดังรูปที่ 2.38(ก) นั้นวงจรการจุดชนวนต้องเป็นวงจรชนิดมีชนวนกันระหว่างแคโทด เพราะถ้าไม่มีชนวนกันไทรสเตอร์ทั้ง 2 ตัวจะไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากไทรสเตอร์ทั้ง 2 ตัวถูกลัดวงจรระหว่างแอโนดกับแคโทด ในกรณีที่วงจรจุดชนวนเกิดไม่มีชนวนกันระหว่างแคโทด ต้องหลีกเลี่ยงไปใช้ในวงจรกำลังแบบอื่นๆ เช่น วงจรควบคุมแรงดันไฟสลับที่ต่อแคโทดร่วมดังรูป 2.39(ก) วงจรนี้ต้องมีไดโอด D_1 และ D_2 ต่อเพิ่มเข้าไปในวงจรเพื่อให้กระแสในครึ่งวัฏจักรบวกไหลผ่าน T_1 และ D_1 และให้กระแสในครึ่งวัฏจักรลบไหลผ่าน T_2 และ D_2 หรือวงจรควบคุมแรงดันไฟสลับที่ใช้ไทรสเตอร์ตัวเดียวดังรูป 2.39(ข) จะมีผลให้กระแสในครึ่งวัฏจักรบวกไหลผ่าน D_1 , T_1 และ D_2 เมื่อจุดชนวน T_1 ที่เวลา $\omega t = 0 - \pi$ และกระแสในครึ่งวัฏจักรลบจะไหลผ่านโหลดได้โดยผ่าน D_2 , T_1 และ D_1 เมื่อจุดชนวน T_1 ที่เวลา $\omega t = 0 - 2\pi$ จะเห็นว่าไทรสเตอร์ T_1 นำกระแสทั้งในวัฏจักรบวกและวัฏจักรลบ



รูปที่ 2.38 การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสเต็มคลื่น



รูปที่ 2.39 การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเต็มคลื่น

การคำนวณค่ากระแสที่ผ่านไทรสเตอร์ พิจารณาจากวงจร 2.38 กระแสเฉลี่ย (I_A) ที่ไหลผ่านไทรสเตอร์แต่ละตัวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.13

$$I_A = \frac{1}{2\pi R} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d\omega t$$

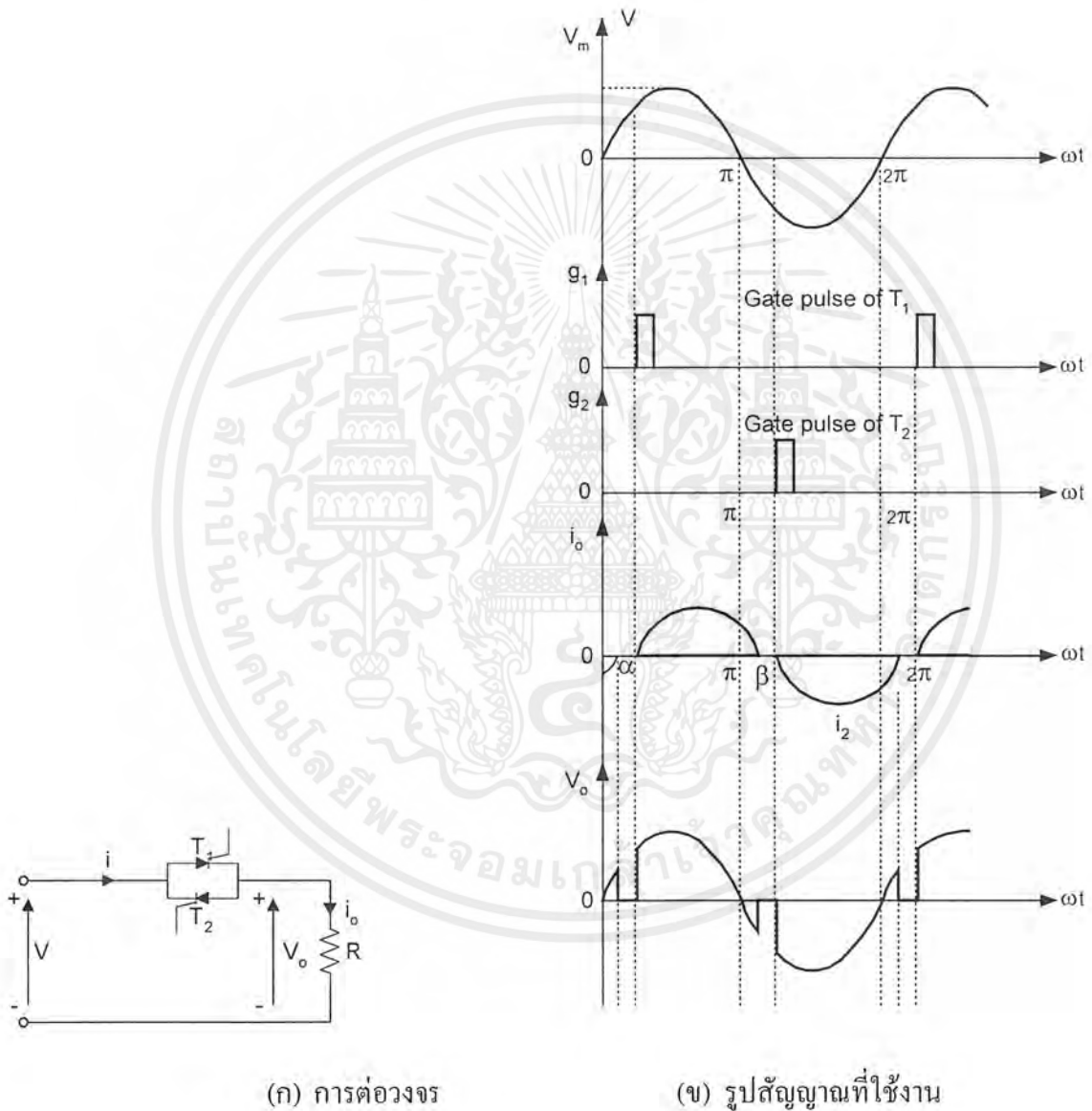
$$I_A = V_m(1 + \cos \alpha) \quad (2.13)$$

2.2 กรณีโหลดเป็นตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ มุมเฟสโหลด (ϕ) จะมีค่ามากกว่าศูนย์ ในกรณีนี้ค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งานที่โหลดจะมีค่าสูงสุดเมื่อปรับมุมจุดชนวนเกิด (α) เท่ากับมุมเฟสของโหลด (ϕ) สิ่งที่ต้องระวังสำหรับการสร้างสัญญาณจุดชนวนเกิดในวงจรนั้นคือ ถ้าเป็นสัญญาณพัลส์เดี่ยวเมื่อปรับมุมจุดชนวน (α) เล็กกว่ามุมเฟสของโหลด (ϕ) จะเป็นผลให้ไทรสเตอร์นำกระแสได้เพียงตัวเดียวเท่านั้น แรงดันตกคร่อมโหลดจะกลายเป็นแรงดันไฟตรง ถ้านำวงจรไปประยุกต์ใช้งานในการควบคุมแรงดันต้านปฏิกิริยาของหม้อแปลงจะมีผลให้ไทรสเตอร์ หรือหม้อแปลงเสียหายได้เมื่อปรับมุมจุดชนวน (α) น้อยกว่ามุมเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของโหลด (ϕ) ในทางปฏิบัติจะใช้พัลส์ในต่อเนื่องในการจุดชนวนเกตแทนเพื่อป้องกันการเสียหายดังกล่าว ลักษณะของพัลส์ต่อเนื่องแสดงในรูป 2.40(ข) หรือเป็นพัลส์ที่มีความกว้างมาก ดังรูป 2.41

ลักษณะของโหลดเมื่อโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำแสดงในรูป 2.40(ก) และรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าใช้งาน และกระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอส ที่โหลดแสดงในรูป 2.40(ข)



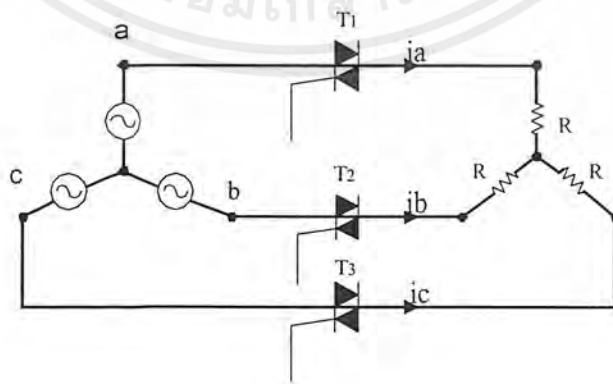
รูปที่ 2.40 การต่อวงจรและรูปสัญญาณของกระแสและแรงดันที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.41 สัญลักษณ์ของวงจรควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับจุดชนวนเกตที่มุม $\alpha > \phi$ ด้วยพัลส์เดี่ยว และพัลส์แบบอื่นๆ

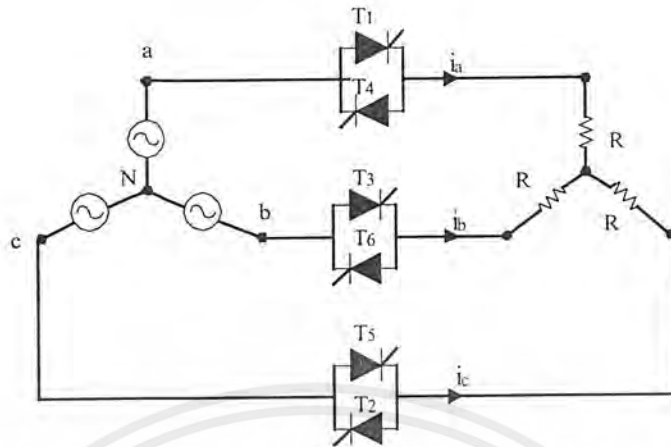
2.9 การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

หลักการควบคุมแรงดันไฟสลับ 3 เฟส คือใช้วงจร 1 เฟส 3 วงจร แต่ละวงจรทำงานในแต่ละเฟสของแหล่งจ่ายไฟฟ้าดังรูปที่ 2.42 เป็นวงจรที่ใช้ไทรแอก หรืออาจใช้ ไทริสเตอร์ 6 ตัวแทนได้ดังรูป 2.43



รูปที่ 2.42 วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่ใช้ไทรแอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.43 วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่ใช้เอสซีอาร์

พิจารณาจากวงจรรูป 2.43 ไทริสเตอร์ T_1, T_3, T_5 จะทำงานในครึ่งวัฏจักรบวกของ แรงดันแหล่งจ่ายเฟส a, b และ c ตามลำดับ และไทริสเตอร์ T_4, T_6, T_2 จะทำงานในครึ่งวัฏจักรลบของแหล่งจ่ายตามลำดับเฟส a, b และ c เช่นกันดังนั้นลักษณะของสัญญาณจุดชนวนเกของไทริสเตอร์ทั้ง 6 ตัวจึงเหมือนกับการจุดชนวนเกของวงจรเรียงกระแส 3 เฟสที่ควบคุมได้อย่างไรก็ตามพัลส์ที่เหมาะสมสำหรับวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าสลับ 3 เฟส คือพัลส์ต่อเนื่องหรือพัลส์ที่มีความกว้างมากๆ เท่านั้น

เมื่อโหนดเป็นตัวความต้านทาน การควบคุมแรงดันไฟฟ้าสลับที่โหนด 3 เฟส ทำได้โดยการควบคุมมุมจุดชนวนเกของไทริสเตอร์ (α) ย่านของการควบคุมแรงดันไฟฟ้าสลับที่โหนด จากค่าศูนย์จนถึงค่าสูงสุดอยู่ในย่านที่กำหนด ($0 \leq \alpha \leq 150$)

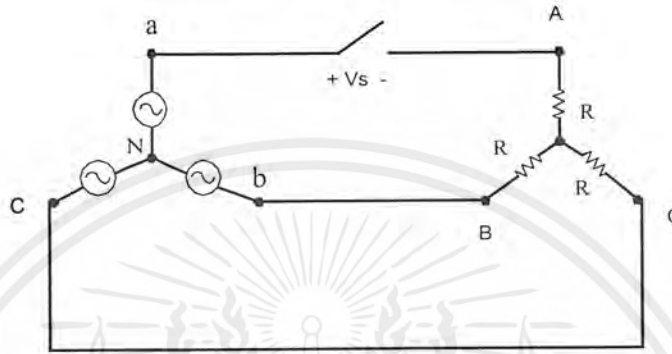
การทำงานของวงจรแบ่งออกเป็น 3 ย่านของวงจรการควบคุมคือ

1. มุมจุดชนวนที่มีค่า $0 \leq \alpha \leq 60$ เมื่อจุดชนวนเกที่มุม $\alpha < 30$ กระแสโหนดจะมีค่าคงที่เพราะเป็นย่านที่แรงดันระหว่างเฟสซ้อนทับกันจึงเป็นย่านที่ควบคุมได้ แต่ถ้าจุดชนวนเกที่มุม $\alpha < 60$ ไทริสเตอร์จะทำงานในสภาวะที่นำกระแสพร้อมกัน 2 ตัว หรือนำกระแสพร้อมกัน 3 ตัว โดยไทริสเตอร์แต่ละตัวจะหยุดนำกระแสเมื่อได้รับไบแอสกลับจากการทำงานของไทริสเตอร์ตัวอื่นๆ ในลำดับเฟสเดียวกัน
2. มุมจุดชนวนมีค่า $60 \leq \alpha \leq 90$ เมื่อจุดชนวนเกที่มุม α ระหว่าง 60 แต่ไม่เกิน 90 จะเป็นผลให้ไทริเตอร์เพียง 2 ตัวเท่านั้นทำงานในวงจรตลอดย่านของมุมจุดชนวนดังกล่าว
3. มุมจุดชนวนมีค่า $90 \leq \alpha \leq 150$ เมื่อจุดชนวนเกที่มุม α ระหว่าง 90 แต่ไม่เกิน 150 จะเป็นผลให้ไทริเตอร์ 2 ตัวเช่นกัน ทำงานในวงจรตลอดย่านของมุมจุดชนวนดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแรงดันพิกัด ของไทรสเตอร์ที่ใช้ในวงจรสามารถพิจารณาได้จากสวิตช์ (S) ในเฟส A ดังรูป 2.44 สมมติว่าสวิตช์ (S) เปิดวงจรแรงดันคร่อมสวิตช์จะมีค่าเท่ากับสมการที่ 2.14

$$V_s = V_{an} + V_{bn} + V_{cn} \tag{2.14}$$



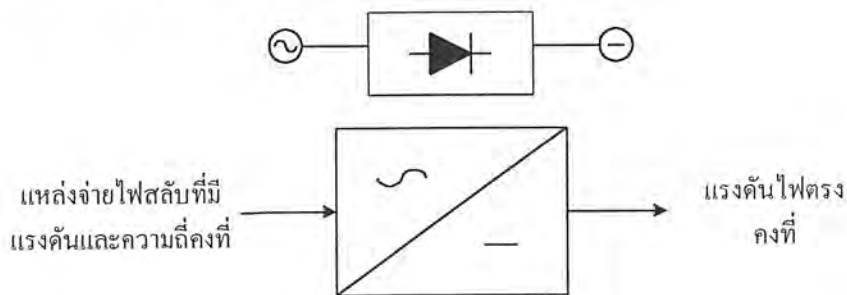
รูปที่ 2.44 วงจรสามเฟสที่ใช้หาค่าพิกัดแรงดันของไทรสเตอร์

ถ้าสวิตช์ (S) เปิดวงจร จะทำให้ V_{BO} มีค่าเท่ากับ $\frac{V_{BC}}{2}$ ดัง สมการที่ 2.15

$$V_s = 1.5V_{CH} \tag{2.15}$$

2.10 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสหมายถึง วงจรที่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังคือ ไดโอดกำลังมาเป็น สวิตช์ ทำการแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับทั้งชนิด 1 เฟส และ 3 เฟส มาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดควบคุมแรงดันไม่ได้ ดังรูปที่ 2.45

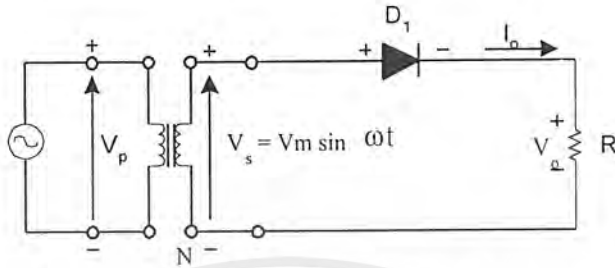


รูปที่ 2.45 แผนภาพกรอบการแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

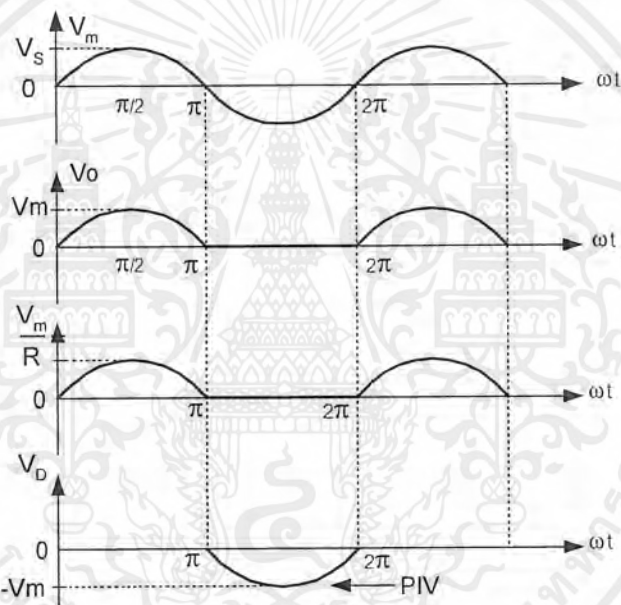
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสครึ่งคลื่น

เมื่อพิจารณากรณีโหลดเป็นตัวความต้านทาน



(ก) วงจรเรียงกระแส 1 เฟสครึ่งคลื่น โหลดเป็นตัวความต้านทาน



(ข) รูปคลื่นที่ส่วนต่างๆ ของวงจร

รูปที่ 2.46 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสครึ่งคลื่น เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน

เนื่องจากแรงดันดันออกที่ตกคร่อมโหลด ประกอบด้วยปริมาณไฟฟ้า 2 ปริมาณ คือ

1. แรงดันไฟตรง (DC Component)
2. แรงดันพลิว (Ripple หรือ Ac Componen)

ค่าประสิทธิผล (RMS) ของ Ac Component ของแรงดันเอาต์พุตคือสมการที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{ac} = \sqrt{V_o^2(rms) - V_o^2(avg)} \quad (2.16)$$

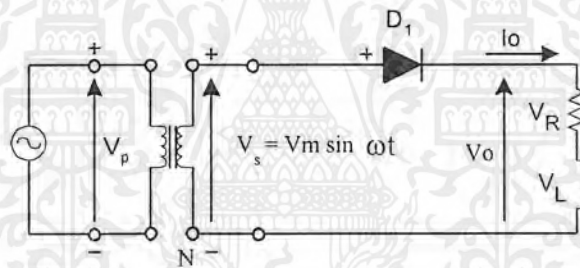
ค่าฟอร์มแฟกเตอร์ (Form Factor) วิเคราะห์โดยรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุต คือ

$$FF = V_o(rms) / V_o(avg) \quad (2.17)$$

ค่าตัวประกอบฮาร์มอนิก ถ้ากำหนดให้ ϕ เป็นมุมต่างเฟส ระหว่างกระแส และแรงดันทาง
ด้านเข้า มุม ϕ เรียกว่า Displacement angle และค่า $\cos \phi$ เรียกว่า Displacement Factor หรือ
 DF

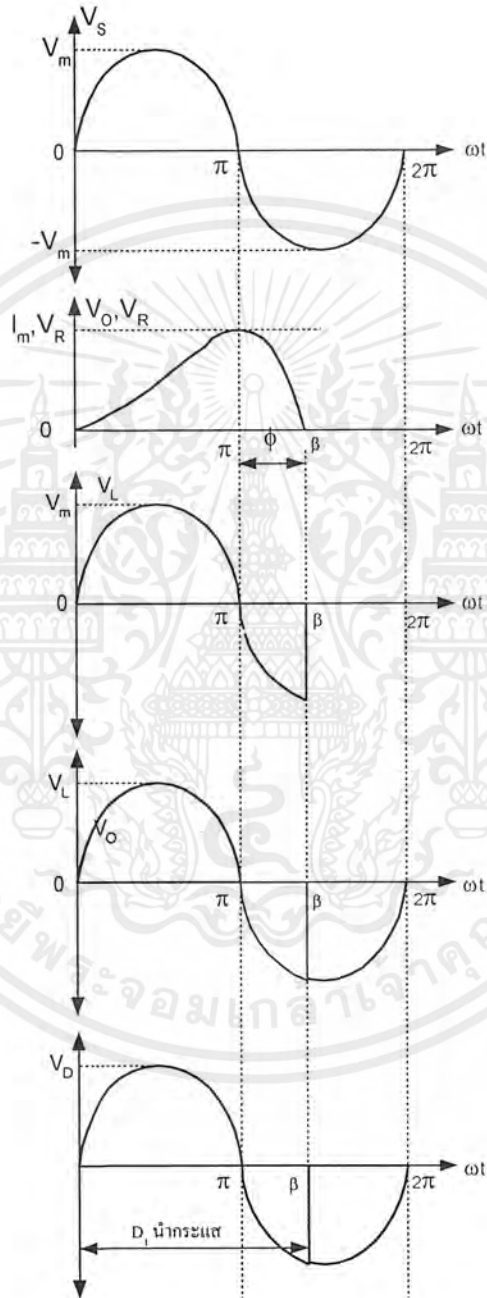
เมื่อพิจารณาโหลดเป็นตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ

ดังรูปที่ 2.47 และ 2.48



รูปที่ 2.47 วงจรของโหลดตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.48 สัญญาณคลื่นแรงดัน และกระแสที่จุดต่างๆ ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน สำหรับแรงดันเฉลี่ยตกคร่อมโหลด (V_o) จะมีรูปคลื่นไซน์ด้านลบ ปรากฏที่เวลา $\omega t = \beta - \pi$ ดังนั้นค่าแรงดันเฉลี่ยตกคร่อมโหลดตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ จึงได้จากสมการที่ 2.18

$$V_{O(\text{avg})} = \frac{V_m}{\pi} [1 - \cos(\pi + \phi)] \quad (2.18)$$

ในการทำงานเดียวกันค่าแรงดันตกคร่อมโหลดตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ เมื่อพิจารณา ในรูปของค่า อาร์เอ็มเอส ($V_{O(\text{RMS})}$) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.19

$$V_{O(\text{rms})} = \frac{V_m}{2\sqrt{\pi}} \sqrt{(\beta - \frac{1}{2}(\sin 2\beta))} \quad (2.19)$$

การคำนวณหาค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลดชนิดตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ ทั้งค่า กระแส $I_{o(\text{avg})}$ และค่ากระแส $I_{o(\text{RMS})}$ เนื่องจากวงจรไฟสลัปที่มีภาระเป็นตัวเหนี่ยวนำ เมื่อมีการสวิตช์ เพื่อจ่ายแรงดันไฟสลัปให้กับโหลด จะเกิดองค์ประกอบของกระแส 2 ปริมาณ คือ

1. Forced component ในสถานะคงตัว
2. Natural component เกิดในสถานะชั่วขณะ

กระแสด้านออกชั่วขณะที่ผ่านโหลดตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำที่เวลาใดๆจะเท่ากับ สมการที่ 2.20

$$i(t) = \left(\frac{V_m}{Z}\right)(\sin(\omega t - \phi) + (\sin \phi)e^{-\left(\frac{R}{\omega L}\right)\omega t}) \quad (2.20)$$

จากสมการเป็นสมการทั่วไปของ $i(t)$ ที่ใช้หาค่ากระแสชั่วขณะที่ผ่านโหลดตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำที่เวลา t ใดๆ โดยมีเงื่อนไขว่า

$$0 < \omega t < \beta$$

(เมื่อ β คือมุมหยุดนำกระแสของไดโอด)

ความสัมพันธ์ระหว่างมุม ϕ และมุม β มุม ϕ คือมุมต่างเฟสระหว่างกระแส และแรงดัน ในวงจรเรียงกระแสที่มีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำหาได้จาก $\phi = \tan^{-1}(\omega L/R)$ และมุม β คือมุมหยุดนำกระแสของไดโอด ซึ่งพิจารณาจากสมการที่ 2.21

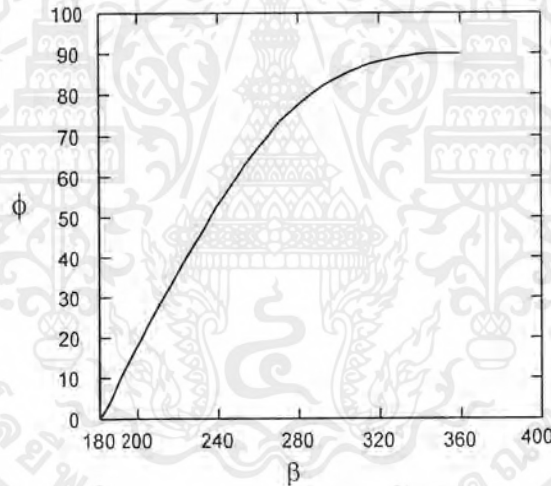
$$i(t) = \left(\frac{Vm}{Z}\right)(\sin(\omega t - \phi) + (\sin \phi)e^{-\left(\frac{R}{\omega L}\right)\omega t}) \quad (2.21)$$

ถ้าให้ $\beta =$ มุมหุคนำกระแสของไดโอด จะเห็นว่า $I = 0$ ที่ $\omega t = \beta$ แทนค่า $\omega t = \beta$

$$\text{ได้จากสมการที่ 2.21} \quad 0 = \left(\frac{Vm}{Z}\right)(\sin(\omega t - \phi) + (\sin \phi)e^{-\left(\frac{R}{\omega L}\right)\omega t})$$

$$-\sin(\beta - \phi) = (\sin \phi)e^{-\left(\frac{R}{\omega L}\right)\beta} \quad (2.22)$$

จากสมการ 2.22 เมื่อแทนค่า ที่มุมใด ๆ ระหว่าง 0 - 90 องศา แล้วจะให้ความสัมพันธ์ของ β ดังรูปที่ 2.49



รูปที่ 2.49 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ และมุม β

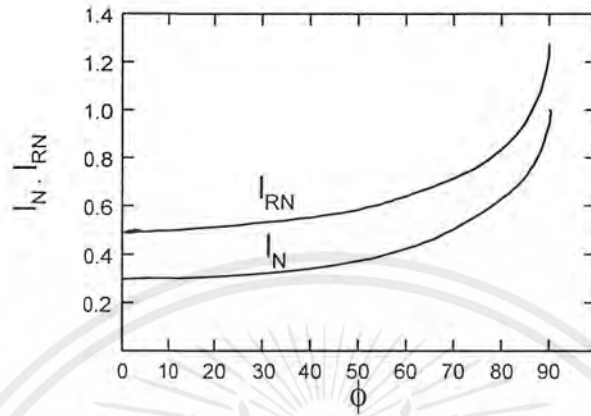
ในการคำนวณค่ากระแสเฉลี่ยและกระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสนั้น คำนวณได้ยุ่งยากมาก เนื่องจากมีตัวแปรที่ซับซ้อนมาก วิธีที่สะดวกวิธีหนึ่งคือการกำหนดค่ากระแสต่อหน่วยด้วยรูปแสดงความสัมพันธ์ของค่ากระแสต่อหน่วยกับค่ามุมต่างเฟสของโหลด ดังรูปที่ 2.50

กำหนดให้ $I_N =$ Normalized Value ของกระแสเฉลี่ย $I_{o(avg)}$

และให้ $I_{RN} =$ Normalized Value ของกระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอส ($I_{o(RMS)}$)

เมื่อความสัมพันธ์ของกระแส I_N และ I_{RN} กับค่ามุมต่างเฟส ϕ ของโหลดโดยกำหนดให้มุม ϕ แปรค่าตั้งแต่ 0 - 90 องศา จะได้ดังรูปที่ 2.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.50 ความสัมพันธ์ของ I_N และ I_{RN} กับมุม ϕ

สมการคำนวณค่า $I_{o(avg)}$ และ $I_{o(RMS)}$ จากค่า I_N และ I_{RN} ดังสมการที่ 2.23 และ 2.24

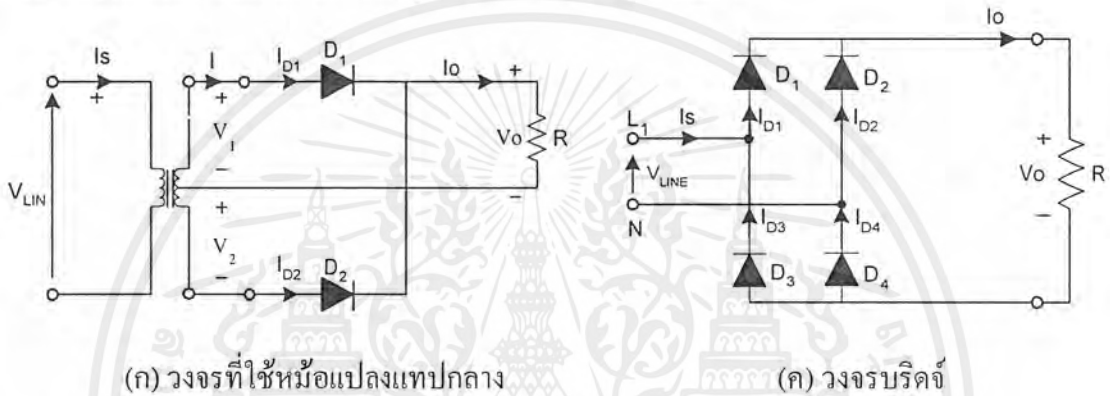
$$I_{o(avg)} = Vm \cdot I_N / Z \quad (2.23)$$

$$I_{o(RMS)} = Vm \cdot I_{RN} / Z \quad (2.24)$$

จากรูปที่ 2.50 เมื่อสามารถทราบค่า ϕ ก็สามารถที่จะหาค่า I_N และ I_{RN} ได้จากรูปและนำไปแทนในสมการเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยที่ผ่านโหลด $I_{o(avg)}$ และค่ากระแสอาร์เอ็มเอส $I_{o(RMS)}$ ที่ผ่านโหลด

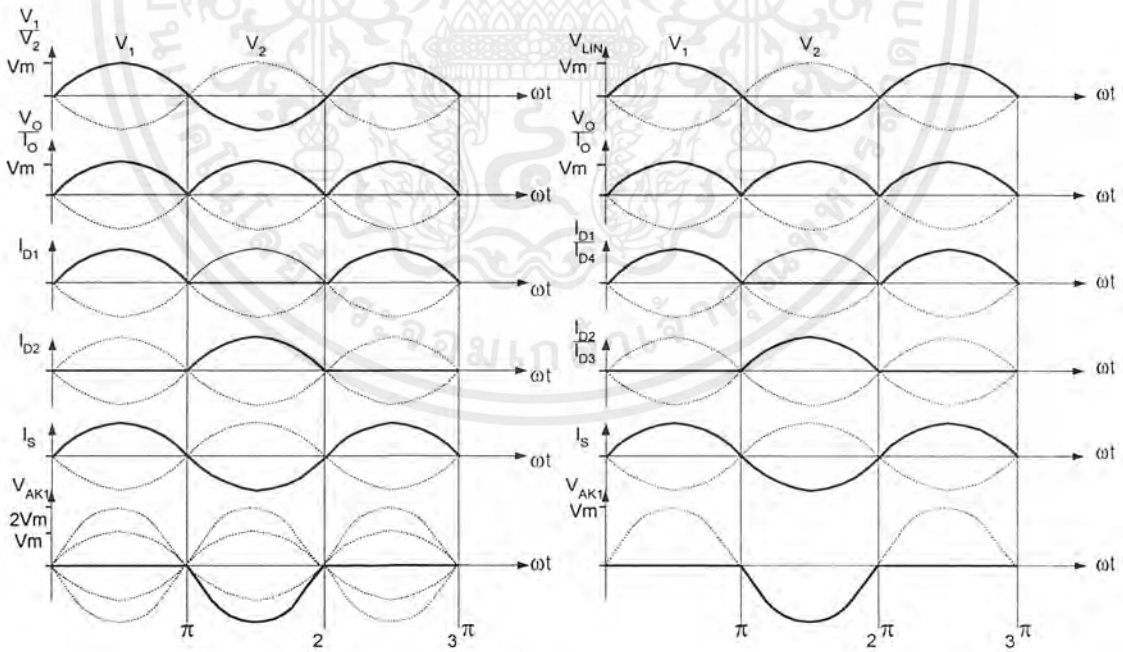
2.10.2 วงจรเรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่น

แบ่งตามลักษณะการต่อวงจรได้ 2 แบบคือ วงจรเรียงกระแสที่ใช้หม้อแปลงมีแทปกกลาง และวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ดังรูปที่ 2.51 (ก), (ข), (ค) และ (ง)



(ก) วงจรที่ใช้หม้อแปลงแทปกกลาง

(ค) วงจรบริดจ์



(ข) รูปคลื่นส่วนต่างๆ ของวงจร

(ง) รูปคลื่นส่วนต่างๆ ของวงจร

รูปที่ 2.51 วงจรเรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่นทั้ง 2 แบบเมื่อมีโหลดเป็นตัวความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือค่า $PIV = 2 V_m$ เมื่อ PIV คือ Peak Inverse Voltage ดังนั้นราคาของไดโอดในวงจรนี้จึงมีราคาแพงกว่าไดโอดที่ใช้ในวงจรบริดจ์ เพราะแรงดัน PIV ของไดโอดที่ใช้ในวงจรบริดจ์มีค่าเพียง 1 เท่าของแรงดันสูงสุดเท่านั้น ($PIV = V_m$)

เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน รูปคลื่นของกราฟ และแรงดันโหลดจะเหมือนกันทั้ง 2 วงจร ดังนั้นเมื่อต้องการหาค่าแรงดันเฉลี่ยตกคร่อมโหลด $V_{o(avg)}$ และแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานที่โหลด $V_{o(RMS)}$ หาได้จากสมการที่ 2.25 และ 2.26

$$V_{o(avg)} = \frac{2V_m}{\pi} \quad (2.25)$$

$$V_{o(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (2.26)$$

ในการทำงานเดียวกันการหาค่ากระแสเฉลี่ย ($I_{o(avg)}$) และกระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน ($I_{o(RMS)}$) ที่โหลดสามารถหาได้จากสมการที่ 2.27 และ 2.28

$$I_{o(avg)} = \frac{V_{o(avg)}}{R} \quad (2.27)$$

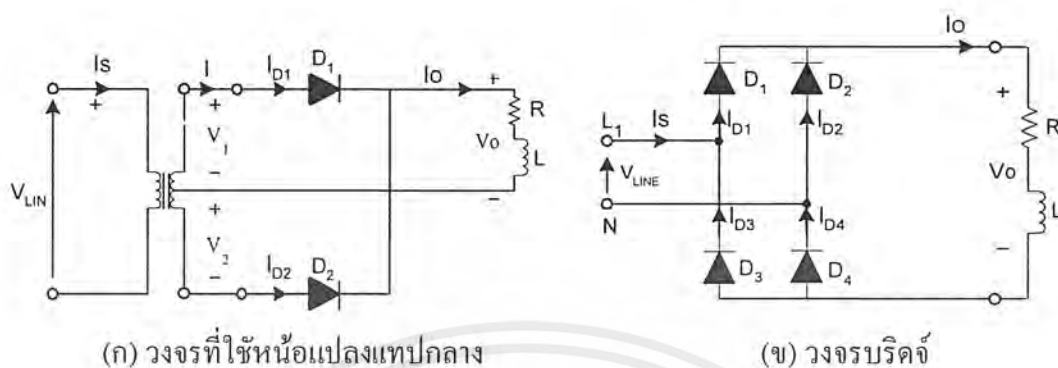
$$I_{o(rms)} = \frac{V_{o(rms)}}{R} \quad (2.28)$$

เมื่อโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำหรือตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

การคำนวณหาค่าแรงดันตกคร่อมโหลด ดังนั้นเมื่อพิจารณาเฉพาะสมการแรงดันตกคร่อมโหลดทั้งกรณีแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ($V_{o(avg)}$) และแรงดันไฟฟ้าใช้งาน ($V_{o(RMS)}$) จะมีค่าดังสมการ และทั้งในกรณีที่โหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำหรือตัวความต้านทาน แต่สมการกระแสเฉลี่ยและกระแสไฟฟ้าใช้งาน ($I_{o(avg)}$, $I_{o(RMS)}$) ไม่สามารถใช้สมการ และคำนวณเพราะรูปคลื่นกระแส และรูปคลื่นแรงดันไม่เหมือนกัน ดังสมการที่ 2.29 และ 2.30

$$V_{o(avg)} = \frac{2V_m}{\pi} \quad (2.29)$$

$$V_{o(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (2.30)$$



รูปที่ 2.52 วงจรเรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่นทั้ง 2 แบบ เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ

การคำนวณหาค่ากระแสโหลด การหาค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลด เมื่อพิจารณาค่ากระแสเฉลี่ยไฟฟ้าเฉลี่ย $I_{o(avg)}$ และค่ากระแสไฟฟ้าใช้งาน $I_{o(RMS)}$

เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำและตัวเหนี่ยวนำ ไม่สามารถใช้หากระแสได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้วิธีการช่วยในการคำนวณหาค่ากระแสโดยใช้ในรูปที่ 2.50 ซึ่งเป็นรูปเดียวกันกับวงจรเรียงกระแส 1 เฟสครึ่งคลื่น

นั่นคือการหาค่ากระแสเฉลี่ยต่อหน่วย (I_N) และค่ากระแสไฟฟ้าใช้งาน (I_{RN}) ต่อหน่วย แต่ค่าที่ได้จากรูปที่ 2.50 ในกรณีหาค่ากระแสเฉลี่ย (I_N) จะต้องคูณด้วย 2 เมื่อใช้กับวงจรแบบครึ่งคลื่น และค่าอาร์เอ็มเอส (I_{RN}) จะต้องคูณด้วย $\sqrt{2}$

2.10.3 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสครึ่งคลื่น

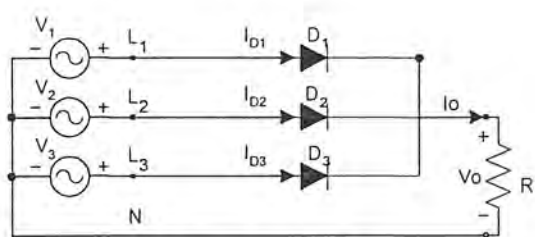
วงจรประกอบด้วยไดโอด 3 ตัวคือ D_1, D_2, D_3 ต่อเข้ากับสายของแหล่งจ่าย L_1, L_2, L_3 ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.53 (ก), (ข) ไดโอดแต่ละตัวทำหน้าที่แปลงไฟสลับครึ่งวัฏจักรบวกของแหล่งจ่าย 3 เฟส มาเรียงเป็นไฟตรงดังนั้นจึงเกิด รูปคลื่นของแรงดันจำนวน 3 ลูกคลื่นใน 1 วัฏจักร ดังรูปที่ 2.53 (ค), (ง) สำหรับขั้วนิวตรอน (N) ของแหล่งจ่ายไฟสลับต่อเข้ากับขั้วลบของโหลด เพื่อเป็นทางเดินกระแสจากโหลดไปยังแหล่งจ่าย ไดโอดแต่ละตัวจึงนำกระแสเพียง 120 องศาเท่านั้น กล่าวคือ

ไดโอด D_1 นำกระแสที่มุม $\omega t = 30 - 150$ องศา

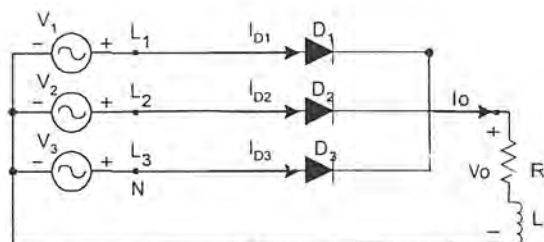
ไดโอด D_2 นำกระแสที่มุม $\omega t = 150 - 270$ องศา

ไดโอด D_3 นำกระแสที่มุม $\omega t = 270 - 30$ องศา

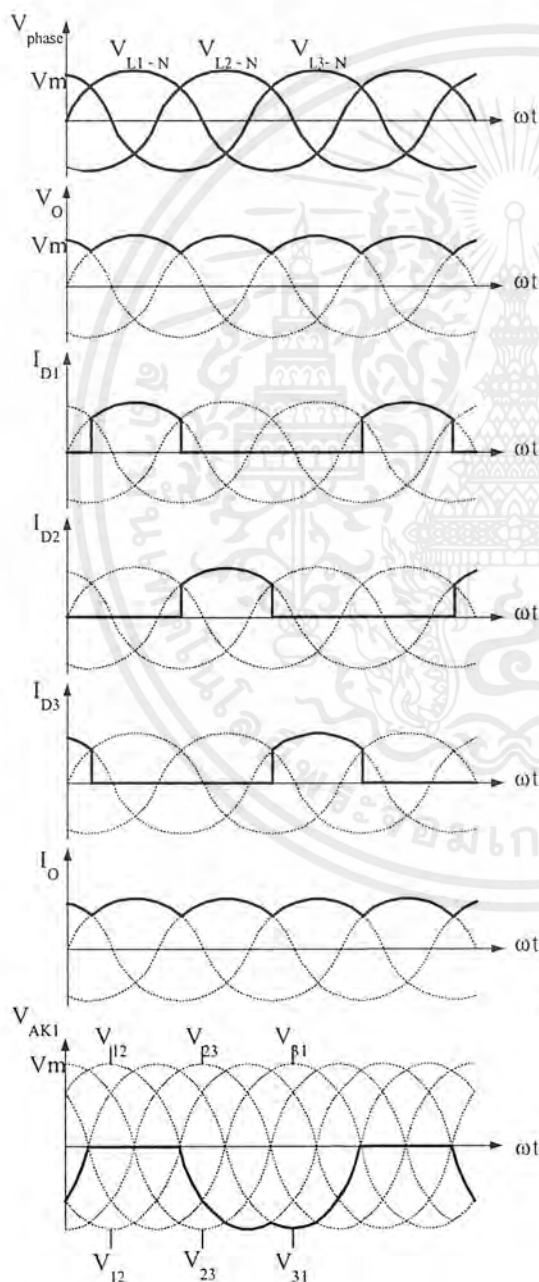
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



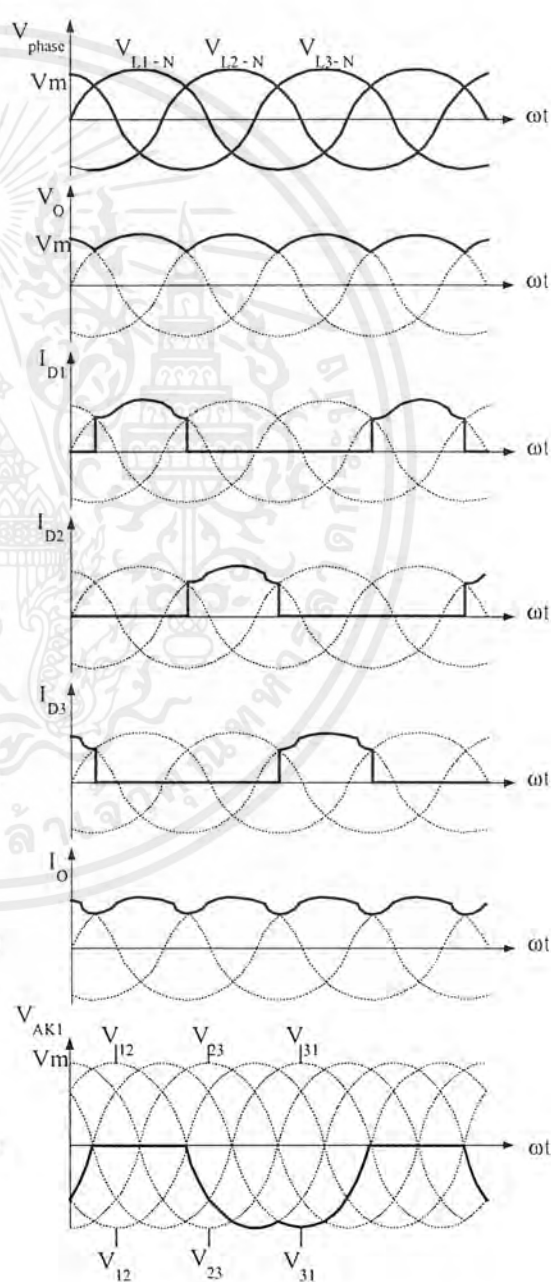
(ก) วงจรเมื่อโหลดตัวความต้านทาน



(ค) วงจรเมื่อโหลดตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ



(ข) รูปคลื่นส่วนต่างๆ ของวงจร



(ง) รูปคลื่นส่วนต่างๆของวงจร

รูปที่ 2.53 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสครึ่งคลื่นเมื่อมีโหลดเป็นตัวความต้านทานหรือตัวความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นใบโฆษณาหรือการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรในรูป 2.53 จะเห็นว่าโหลดของวงจรเป็นเพียงตัวความต้านทานหรือจะเป็นตัวเหนี่ยวนำ หรือจะเป็นตัวความต้านทาน หรือตัวเหนี่ยวนำก็ตาม รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดยังคงเหมือนกันทุกกรณี แต่รูปคลื่นกระแสเท่านั้นที่แตกต่างกัน กล่าวคือกระแสผ่านไดโอดในวงจรที่เป็นโหลดตัวเหนี่ยวนำจะเรียกว่าโหลดตัวความต้านทาน เพราะตัวเหนี่ยวนำจะลดการเปลี่ยนแปลงของกระแสในวงจรตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตามไดโอดแต่ละตัวยังคงนำกระแสเพียง 120 องศา

การคำนวณค่าแรงดันตกคร่อมโหลด เมื่อต้องการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ($V_{o(avg)}$) และแรงดันไฟฟ้าใช้งาน ($V_{o(RMS)}$) ที่โหลดทั้งกรณีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ หรือเป็นตัวความต้านทาน หรือเป็นตัวความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ สามารถหาได้จากสมการ 2.31 และ 2.32

$$V_{o(avg)} = \frac{3\sqrt{3}Vm}{2\pi} \quad (2.31)$$

$$= 0.827Vm$$

$$V_{o(RMS)} = \sqrt{0.707V^2m} \quad (2.32)$$

$$= 0.84Vm$$

การคำนวณค่ากระแสโหลด เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทานดังรูป 2.53(ก) กระแสโหลดเฉลี่ย $I_{o(avg)}$ จะมีค่าเท่ากับกระแสที่ผ่านไดโอดแต่ละตัวรวมกัน คือ $I_{o(avg)} = I_{D1(avg)} + I_{D2(avg)} + I_{D3(avg)}$ และเมื่อจะคำนวณหากระแสโหลดเฉลี่ย และค่ากระแสไฟฟ้าใช้งานที่ผ่านโหลด ($I_{o(RMS)}$) เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทานได้ ดังสมการที่ 2.33 และ 2.34

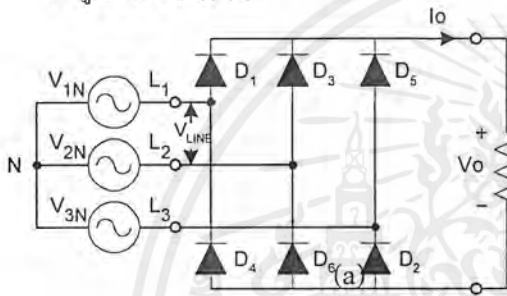
$$I_{o(avg)} = \frac{3\sqrt{3}Vm}{2\pi R} \quad (2.33)$$

$$I_{o(RMS)} = \frac{0.84Vm}{R} \quad (2.34)$$

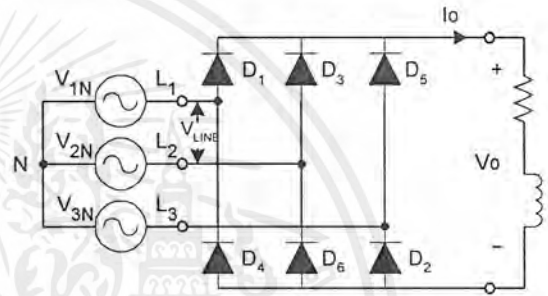
เมื่อโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ หรือเป็นตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ ดังรูปที่ 2.53(ค) ค่ากระแสเฉลี่ยและกระแสใช้งาน ต้องใช้กราฟในรูปที่ 2.50 หาเช่นเดียวกัน แต่กระแส I_N ที่หาได้จากกราฟจะต้องคูณด้วย 3 และในทำนองเดียวกัน กระแส I_{RN} ที่หาได้จากกราฟจะต้องคูณด้วย $\sqrt{3}$

2.10.4 วงจรเรียงกระแส 3 เฟส เต็มคลื่น

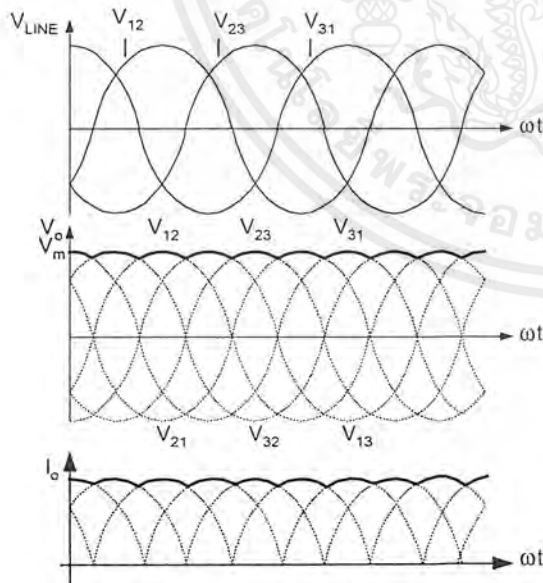
คือวงจรแปลงผันไฟสลับเป็นไฟตรงชนิด 3 เฟส ที่ต่อไดโอด 6 ตัวแบบบริดจ์ เพื่อเรียงกระแสไฟสลับทั้งครึ่งบวกและครึ่งลบแต่ละเฟสให้เป็นแรงดันไฟตรง ทำให้ได้คลื่นไฟตรงจำนวน 6 คลื่นใน 1 วัฏจักร ไดโอดแต่ละตัวนั้นจะนำกระแสตัวละ 120 องศาเช่นกัน ลักษณะของวงจรบริดจ์แบบ 3 เฟสและลักษณะของรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและคลื่นของกระแสไหลต เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทานดังรูปที่ 2.54 (ก), (ข) เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำดังรูป 2.54 (ค), (ง)



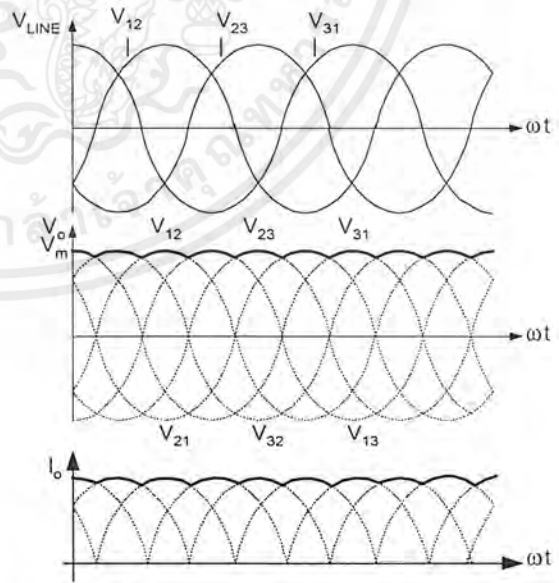
(ก) วงจรที่มีโหลดเป็นตัวความต้านทาน



(ค) วงจรที่มีโหลดเป็นตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ



(ข) รูปคลื่นสัญญาณในส่วนต่างๆ ของวงจร



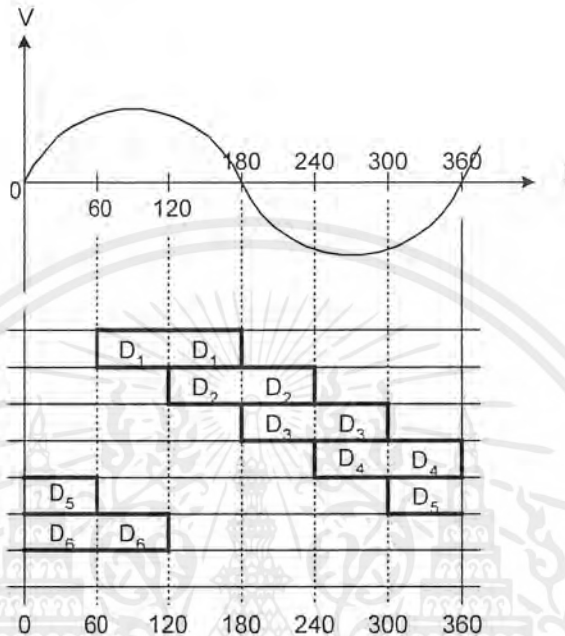
(ง) รูปคลื่นสัญญาณในส่วนต่างๆ ของวงจร

รูปที่ 2.54 วงจรบริดจ์ 3 เฟสและรูปคลื่นแรงดัน และกระแสที่ผ่านโหลดเมื่อโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นตัวความต้านทาน และโหลดเป็นตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

จากวงจรในรูป 2.54 (ก) และ (ค) ไดโอดแต่ละตัวจะนำกระแสตัวละ 120 องศา มีลำดับการทำงานดังรูป 2.55



รูปที่ 2.55 ช่วงมุมนำกระแสของไดโอดในรอบ 1 วัฏจักรของวงจรเรียงกระแส 3 เฟสแบบบริดจ์

จากรูปที่ 2.55 จะเห็นว่าช่วงมุม 0 - 60 องศา ไดโอด D_5 และ D_6 จะนำกระแสพร้อมกัน และที่มุม 60 - 120 องศา ไดโอด D_1 และ D_6 นำกระแสพร้อมกันที่มุม 120 - 180 องศา ไดโอด D_1 และ D_2 นำกระแสพร้อมกัน สำหรับช่วงมุม 180 - 240 องศา ไดโอด D_2 และ D_3 นำกระแสพร้อมกันช่วงมุม 240 - 300 องศา ไดโอด D_3 และ D_4 นำกระแสพร้อมกันในช่วงมุม 300 - 360 องศา ไดโอด D_4 และ D_5 จะนำกระแสพร้อมกัน

การคำนวณค่าแรงดันตกคร่อมโหลด เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน หรือเมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ รูปคลื่นของแรงดันตกคร่อมโหลดจะเหมือนกันดังรูป 2.55 ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการเดียวกันในการคำนวณหาค่าแรงดันตกคร่อมโหลดจากสมการ 2.35 และ 2.36

$$\begin{aligned} V_{o(avg)} &= \frac{3V_{L(m)}}{\pi} \\ &= 0.95V_{L(m)} \end{aligned} \quad (2.35)$$

$$V_{o(RMS)} = \sqrt{0.914V_{L(m)}^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.965V_{L(m)} \quad (2.36)$$

การคำนวณหาค่ากระแสไหลอด เมื่อไหลอดเป็นตัวความต้านทานค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลอด ($I_{o(avg)}$) และค่ากระแสไฟฟ้าใช้งานที่ไหลอด ($I_{o(RMS)}$) สามารถหาได้จากสมการ 3.37 และ 2.38

$$I_{o(avg)} = \frac{3V_{L(m)}}{\pi R} \quad (2.37)$$

$$I_{o(RMS)} = \frac{0.956V_{L(m)}}{R} \quad (2.38)$$

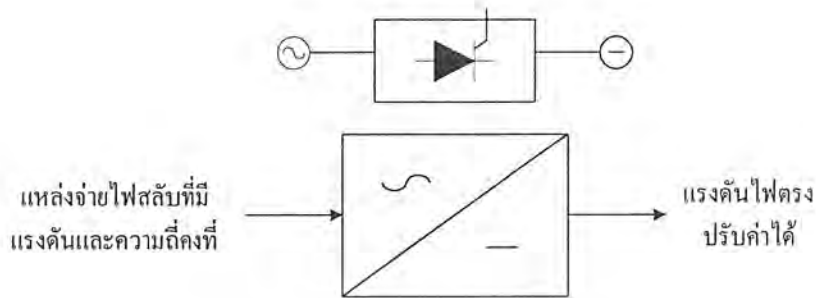
เมื่อไหลอดเป็นตัวเหนี่ยวนำ หรือเป็นตัวความต้านทานหรือตัวเหนี่ยวนำ ดังรูปที่ 2.54(ค) ค่ากระแสเฉลี่ย และค่ากระแสไฟฟ้าใช้งานต้องใช้กราฟในรูป 2.50 ช่วยในการคำนวณหาเช่นเดียวกันกับวงจร 1 เฟส แต่ค่ากระแส I_N ที่หาได้จากกราฟจะต้องคูณด้วย 6 และในทำนองเดียวกันค่ากระแส I_{RN} ที่หาได้จากกราฟจะต้องคูณด้วย $\sqrt{6}$ การใช้กราฟรูป 2.50 เพื่อคำนวณค่ากระแสเฉลี่ย และค่ากระแสใช้งานเมื่อใช้กับวงจร 1 เฟสและ 3 เฟส แบบต่างๆ วงจรใดใช้ตัวคูณเท่าใดจะสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวคูณของค่ากระแส I_N และ I_{RN} ที่ได้จากกราฟ 2.50

ตัวคูณกระแส	วงจร 1 เฟส		วงจร 3 เฟส	
	ครึ่งคลื่น	เต็มคลื่น	เต็มคลื่น	ครึ่งคลื่น
I_N	1	2	3	6
I_{RN}	$\sqrt{1}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{3}$	$\sqrt{6}$

2.11 วงจรเรียงกระแสที่มีการควบคุม

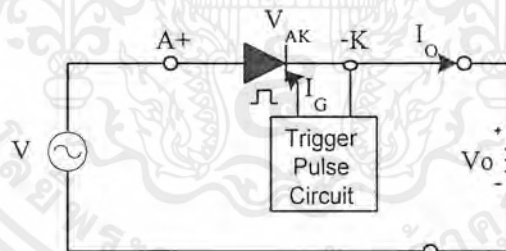
หมายถึงวงจรแปลงผันไฟสลับเป็นไฟตรงที่ใช้ไทรสเตอร์ เช่น เอสซีอาร์ เป็นสวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์กำลังแทนไดโอดทำให้สามารถกำหนดมุมจุดชนวนเกิดของไทรสเตอร์ได้ การควบคุมมุมจุดชนวนเกิดของไทรสเตอร์นั้น จะเป็นผลให้เกิดการควบคุมกระแสที่ไหลผ่านไหลอดได้นั้น สามารถควบคุมแรงดันที่ไหลอดได้หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ดังรูปที่ 2.56



รูปที่ 2.56 ภาพกรอบแสดงการแปลงผันไฟสลับเป็นไฟตรงชนิดควบคุมแรงดันได้

2.11.1 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสครึ่งคลื่นที่ควบคุมได้

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในการควบคุมการแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ไหลลัด ซึ่งสามารถปรับค่าแรงดันไฟตรงที่ไหลลัดได้ ต้องใช้ไทรสเตอร์ เช่น เอสซีอาร์แทนไดโอดในวงจร 1 เฟสครึ่งคลื่น แสดงในรูป 2.57 การควบคุมไทรสเตอร์ในวงจรจะต้องควบคุมโดยการป้อนพัลส์จุดชนวนเกิดของไทรสเตอร์ โดยวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์จุดชนวน ซึ่งสามารถควบคุมมุมจุดชนวนของเกิดของไทรสเตอร์ (มุม α) ได้ระหว่างมุม 0 ถึง 180 ($0 < \alpha < 180$)



รูปที่ 2.57 วงจร 1 เฟสครึ่งคลื่นที่ควบคุมแรงดันได้

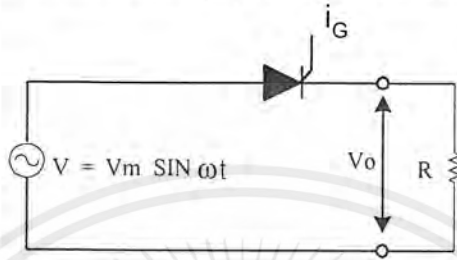
ในการศึกษาคุณลักษณะของวงจรเรียงกระแสที่ควบคุมได้ กระแส และแรงดันที่เกิดขึ้นกับโหลดจะขึ้นอยู่กับลักษณะโหลดว่าเป็นโหลดชนิดใด การวิเคราะห์หาสมการ การคำนวณค่ากระแส และแรงดันดังกล่าว จึงต้องแยกพิจารณากรณีโหลดที่แตกต่างกันกล่าวคือกรณีโหลดเป็นตัวความต้านทานกรณีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ และกรณีโหลดเป็นตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

กรณีโหลดตัวความต้านทาน ลักษณะของรูปคลื่นกระแส และแรงดันส่วนต่างๆ ของวงจร แสดงในรูป 2.58 และ 2.59 โดยกำหนดให้มุมจุดชนวนเกิดของไทรสเตอร์ คือมุมแอลฟา (α)

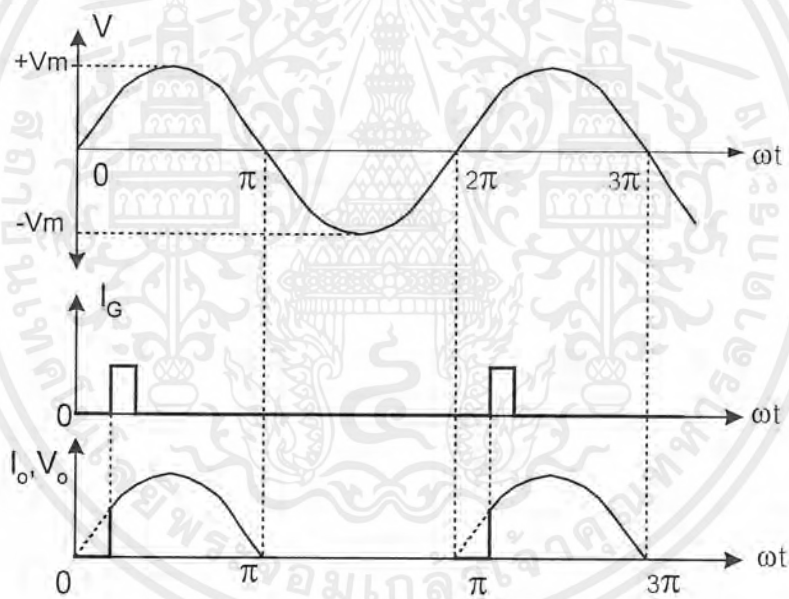
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแรงดันดังกล่าว จึงต้องแยกพิจารณากรณีโหนดที่แตกต่างกันกล่าวคือกรณีโหนดเป็นตัวความต้านทานกรณีโหนดเป็นตัวเหนี่ยวนำ และกรณีโหนดเป็นตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

กรณีโหนดตัวความต้านทาน ลักษณะของรูปคลื่นกระแส และแรงดันส่วนต่างๆ ของวงจร แสดงในรูป 2.58 และ 2.59 โดยกำหนดให้มุมจุดชนวนเกิดของไทรสเตอร์ คือมุมแอลฟา (α)



รูปที่ 2.58 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้โหนดความต้านทาน



รูปที่ 2.59 คลื่นกระแสและแรงดันที่โหนดเมื่อมุมจุดชนวนคือมุม α

เนื่องจากรูปคลื่นของ V_o และ I_o ร่วมเฟสกัน (Inphase) เพราะโหนดเป็นตัวความต้านทาน การคำนวณค่า V_o และ I_o จึงคำนวณได้จากการหาค่าเฉลี่ยของ พื้นที่ใต้เคิร์ฟไซน์ตามลิมิตของมุมจุดชนวน (α) จนถึงมุมหยุดนำกระแส (π)

คำนวณหาค่า เฉลี่ยของแรงดัน และกระแส ได้จากสมการที่ 2.39 และ 2.40

$$V_{o(avg)} = \frac{V_m}{2\pi} [1 + \cos \alpha] \tag{2.39}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

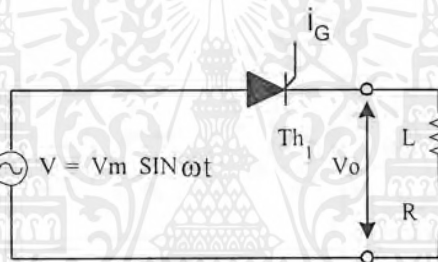
$$I_{o(avg)} = \frac{V_m}{2\pi R} [1 + \cos \alpha] \tag{2.40}$$

คำนวณหาค่าอาร์เอ็มเอส ของแรงดัน และกระแสได้จากสมการที่ 2.41 และ 2.42

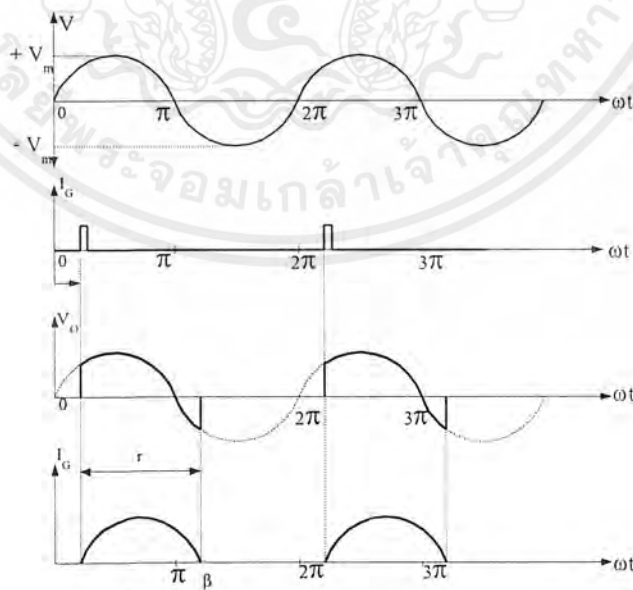
$$V_{O(RMS)} = \frac{V_m}{2\sqrt{\pi}} \sqrt{(\pi - \alpha + \frac{1}{2}(\sin 2\alpha))} \tag{2.41}$$

$$I_{O(RMS)} = \frac{V_m}{2\sqrt{\pi R}} \sqrt{(\pi - \alpha + \frac{1}{2}(\sin 2\alpha))} \tag{2.42}$$

กรณีโหลดเป็นตัวต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ



(ก) วงจรเมื่อโหลดเป็นตัวต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ

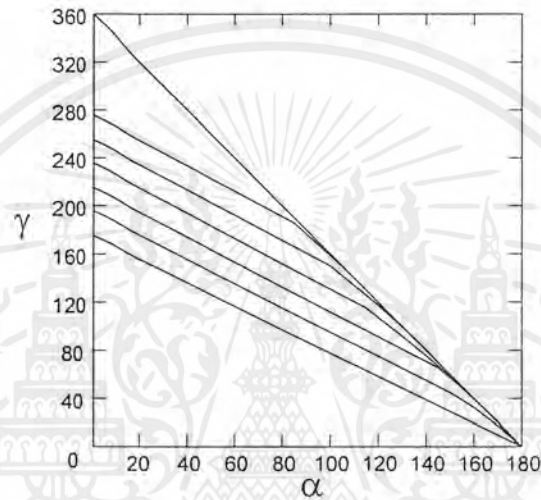


(ข) คลื่นกระแส และแรงดันส่วนต่างๆ ของวงจร

รูปที่ 2.60 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสครึ่งคลื่น เมื่อ โหลดเป็นตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีโหนดตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำจะพบว่ามุมเริ่มนำกระแสของไทรสเตอร์เท่ากับมุมจุดชนวน (α) เหมือนกรณีโหนดตัวความต้านทาน แต่มุมหยุดนำกระแสไม่เท่ากับมุม π เนื่องจากกระแสจะล้าหลังแรงดัน มุมหยุดนำกระแสจะเลยมุม π มาที่มุม β โดยกำหนดให้จำนวนมุมที่ไทรสเตอร์นำกระแสทั้งหมดคือมุม γ ความสัมพันธ์ระหว่างมุม α, β และ γ ($\beta = \gamma + \alpha$)

เมื่อนำความสัมพันธ์ของมุม γ และ α มาพล็อตกราฟ เมื่อค่ามุมต่างเฟสเปลี่ยนแปลงไปจาก $\phi = 0$ จนถึง $\phi = 90$ จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.61



รูปที่ 2.61 ความสัมพันธ์ของ γ และ α เมื่อมุมต่างเฟส ϕ เปลี่ยนไป

กรณีที่ป็นวงจรเรียงกระแสแบบควบคุมได้เฟสครั้งคลื่น โดยมีโหนดเป็นตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ เมื่อจะคำนวณหากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผ่านโหนดคำนวณได้จากสมการที่ 2.43

$$I_{O(avg)} = \frac{V_m}{2\pi Z} \int_{\alpha}^{\beta} \left[\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha}{\omega - t}\right)} \right] d\omega t \quad (2.43)$$

และหาค่ากระแส อาร์เอ็มเอส ได้จากสมการที่ 2.44

$$I_{O(RMS)} = \sqrt{\frac{V_m}{2\pi Z} \int_{\alpha}^{\beta} \left[\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha}{\omega - t}\right)} \right]^2 d\omega t} \quad (2.44)$$

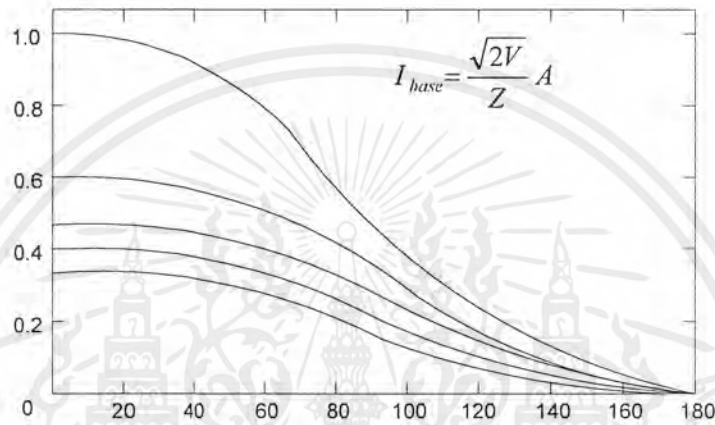
จากสมการที่ 2.44 เมื่อยกเว้นการพิจารณาค่าคงที่ของสมการคือจะเรียกสมการใหม่นี้ว่า

สมการกระแส I_N ดังสมการที่ 2.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_N = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta+\gamma} \left[\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha}{\omega-t}\right)} \right] d\omega t \quad (2.45)$$

ค่า I_N จะแปรไปตามค่าของ ϕ และค่าของมุมจุดชนวน α เมื่อนำค่าของมุม ϕ ตั้งแต่ 0 จนถึง 90 องศา มาแทนค่าจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า I_N และมุม α ดังกราฟรูปที่ 2.62



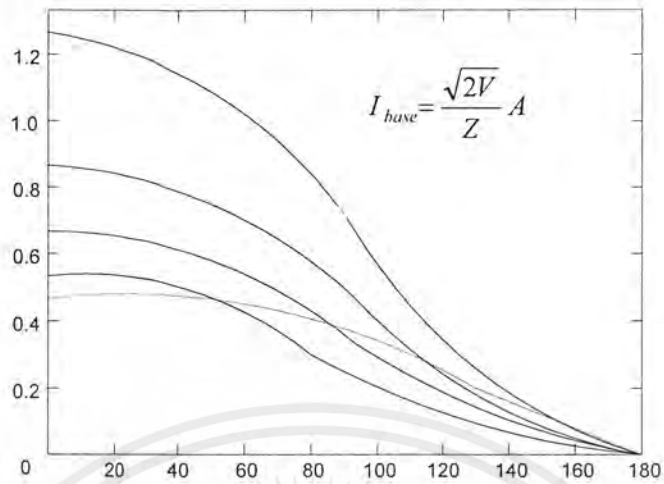
รูปที่ 2.62 เส้น $I_N = f(\alpha)$ เมื่อ $\phi = 0$ องศา ถึง $\phi = 90$ องศา

ในการทำงานเดียวกันค่าของ $I_{O(RMS)}$ ก็แปรเป็นสมการ I_{RN} ได้ดังสมการ 2.46

$$I_{RN} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \left[\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha}{\omega-t}\right)} \right] d\omega \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.46)$$

เมื่อนำค่าของ ϕ ตั้งแต่ 0 - 90 องศา และค่ามุมจุดชนวน α ตั้งแต่ 0 - 180 องศา แทนค่า ลงไปจะได้ค่า I_{RN} ตามรูปที่ 2.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.63 เส้น $I_{RN} = f(\alpha)$ เมื่อ $\phi = 0$ ถึง $\phi = 90$

ค่ากระแสหาได้จากสมการที่ 2.47 และ 2.48

$$I_{O(RMS)} = \frac{Vm}{Z} \cdot I_{RN} \quad (2.47)$$

$$I_{O(avg)} = \frac{Vm}{Z} \cdot I_N \quad (2.48)$$

การคำนวณค่าแรงดันและกระแสที่ตกคร่อมโหลด เมื่อพิจารณารูปคลื่นแรงดันตกคร่อม โหลดตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยและแรงดันอาร์เอ็มเอส ที่ตกคร่อม โหลด คือสมการที่ 2.49, 2.50, 2.51, และ 2.52

$$V_{O(avg)} = \frac{Vm}{2\pi} (\cos \alpha - \cos \beta) \quad (2.49)$$

$$I_{O(avg)} = \frac{Vm}{\omega L} \cdot I_N \quad (2.50)$$

$$V_{O(RMS)} = \frac{Vm}{2\sqrt{\pi}} \sqrt{\beta - \alpha + \frac{1}{2} (\sin 2\alpha - \sin 2\beta)} \quad (2.51)$$

$$I_{O(RMS)} = \frac{Vm}{\omega L} \cdot I_{RN} \quad (2.52)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

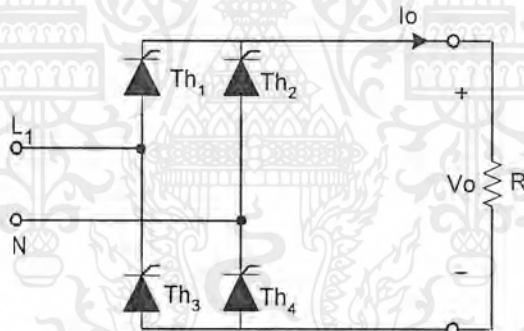
2.11.2 วงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมได้

วงจรเรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่นแบบบริดจ์แบ่งออกเป็น 2 วงจรคือวงจรควบคุมเต็มบริดจ์ และวงจรควบคุมครึ่งบริดจ์

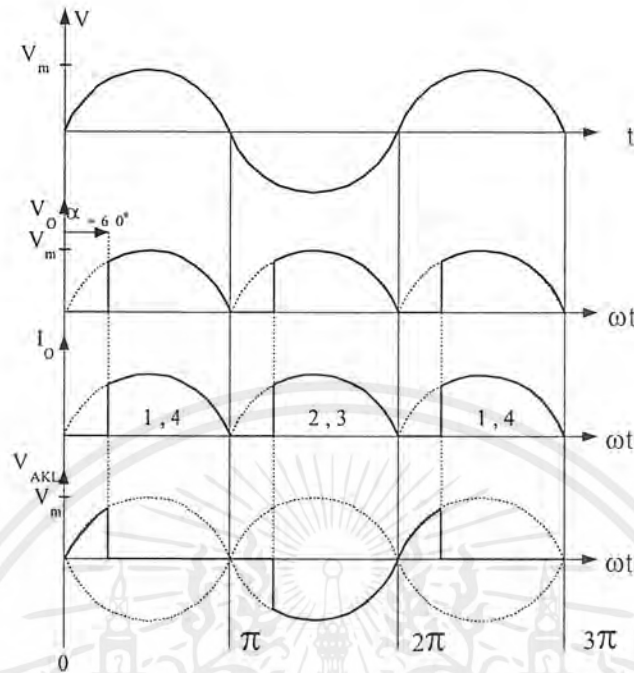
วงจรควบคุมเต็มบริดจ์ วงจรเต็มบริดจ์จะใช้ไทรสเตอร์ 4 ตัวมีข้อดีคือ สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าจำนวนมากๆ ให้กับโหลดเพราะไม่ต้องมีหม้อแปลง ข้อเสียคือ การใช้ไทรสเตอร์ 4 ตัวทำให้การออกแบบวงจรควบคุมการจุดชนวนเกด ซับซ้อมมาก เพราะต้องจุดชนวนไทรสเตอร์ 2 ตัวให้ทำงานพร้อมกัน

การพิจารณาสมการการคำนวณค่าแรงดันตกคร่อม โหลดและกราฟโหลด จะต้องพิจารณาแยกตามลักษณะของโหลดที่แตกต่างกันดังนี้

เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน ดังรูปที่ 2.64 เมื่อจุดชนวนเกดของไทรสเตอร์ Th_1 และ Th_4 ที่เวลา $\omega t = \alpha$ และจุดชนวนเกดของไทรสเตอร์ Th_2 และ Th_3 ที่เวลา $\omega t = \pi + \alpha$ จะเกิดรูปคลื่นของแรงดัน และกระแสในวงจร ดังรูป 2.65 สมมุติว่าจุดชนวนที่มุม $\alpha = 60$



รูปที่ 2.64 วงจรบริดจ์เมื่อ โหลดเป็นตัวความต้านทาน



รูปที่ 2.65 รูปคลื่นกระแส และแรงดันในวงจรของรูป 2.64

สมการคำนวณค่าแรงดันตกคร่อมโหลด คือแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย $V_{o(avg)}$ และแรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอส สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.53 และ 2.54

$$V_{o(avg)} = \frac{V_m}{\pi} [1 + \cos \alpha] \quad (2.53)$$

$$V_{o(RMS)} = \frac{V_m}{\sqrt{2\pi}} \left(\pi - \alpha + \frac{1}{2} (\sin 2\alpha) \right) \quad (2.54)$$

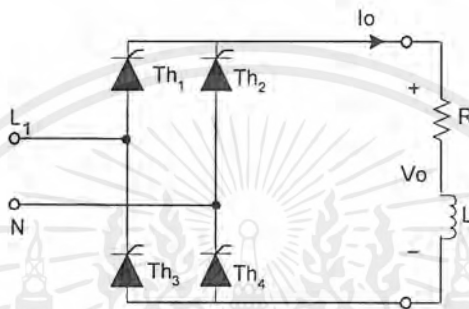
สมการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย และกระแสไฟฟ้า ใช้งานของวงจรบริดจ์เมื่อโหลดเป็น ตัวความต้านทานดังสมการที่ 2.55 และ 2.56

$$I_{o(avg)} = \frac{V_m}{\pi R} [1 + \cos \alpha] \quad (2.55)$$

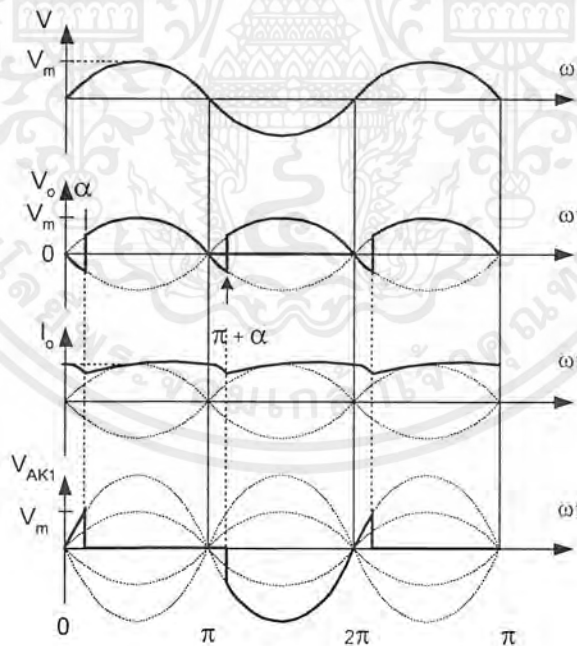
$$I_{o(RMS)} = \frac{V_m}{\sqrt{2\pi R}} \left(\pi - \alpha + \frac{1}{2} (\sin 2\alpha) \right) \quad (2.56)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ เมื่อพิจารณารูปที่ 2.66 การควบคุม วงจรการทำงานของวงจรนี้ เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำจะควบคุมได้ 2 กรณี คือกรณีที่กระแสไหลต่อเนื่องเมื่อจุดชนวนมุม α น้อยกว่ามุมเฟสของโหลด ($\alpha < \phi$) และกรณีที่กระแสไหลไม่ต่อเนื่องเมื่อมุมจุดชนวนมุม α มากกว่ามุมเฟสของโหลด ($\alpha > \phi$) รูปคลื่นกระแสและแรงดันของวงจรในรูป 2.66 (ข) และรูปที่ 2.67



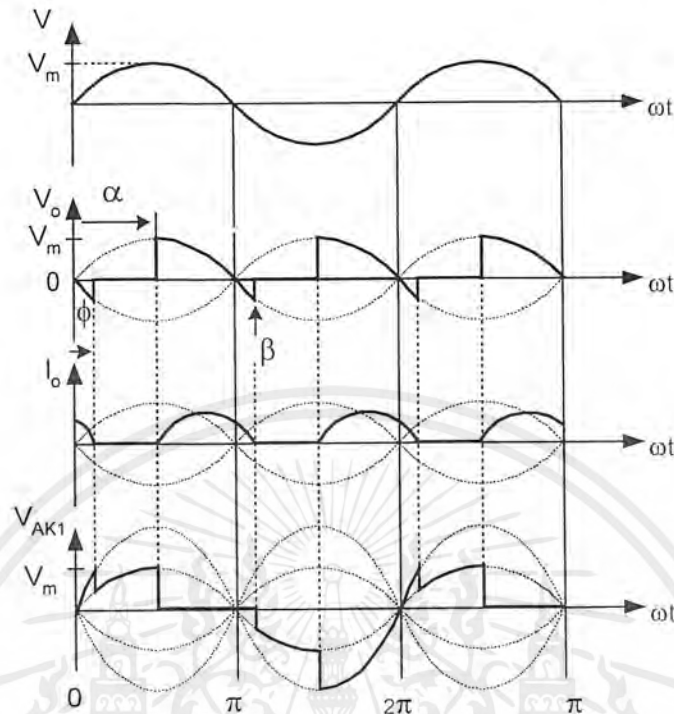
(ก) วงจรบริดจ์เมื่อ โหลดเป็นตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ



(ข) เมื่อมุม $\alpha < \phi$ (กระแสไหลต่อเนื่อง)

รูปที่ 2.66 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ควบคุมได้เมื่อ โหลดเป็นตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.67 รูปคลื่นกระแส และแรงดันเมื่อมุม $\alpha < \phi$

การคำนวณค่าแรงดันตกคร่อมโหลด

กรณีที่ 1 เมื่อมุม $\alpha < \phi$ กระแสไหลต่อเนื่อง สมการแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย และแรงดันไฟฟ้าใช้งาน คือสมการที่ 2.57 และ 2.58

$$V_{o(avg)} = \frac{2V_m}{\pi} [\cos \alpha] \quad (2.57)$$

$$V_{O(RMS)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (2.58)$$

กรณีที่ 2 เมื่อมุม $\alpha > \phi$ กระแสไหลตลอดไม่ต่อเนื่องสมการแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยและแรงดันไฟฟ้าใช้งานคือสมการที่ 2.59 และ 2.60

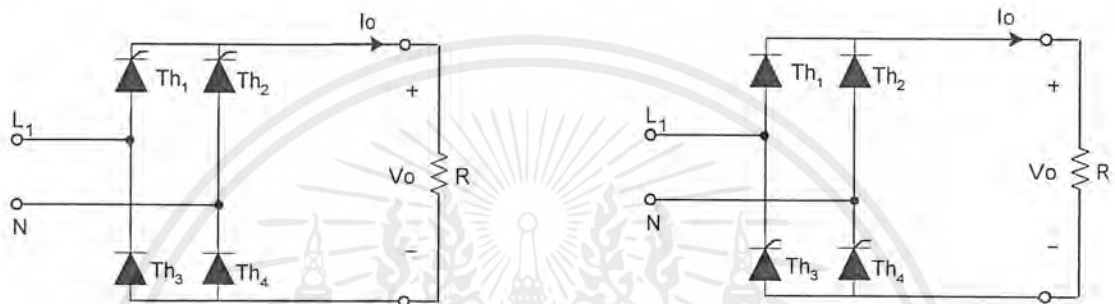
$$V_{O(avg)} = \frac{V_m}{\pi} (\cos \alpha - \cos \beta) \quad (2.59)$$

$$V_{O(RMS)} = \frac{V_m}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\beta - \alpha + \frac{1}{2}(\sin 2\alpha - \sin 2\beta)} \quad (2.60)$$

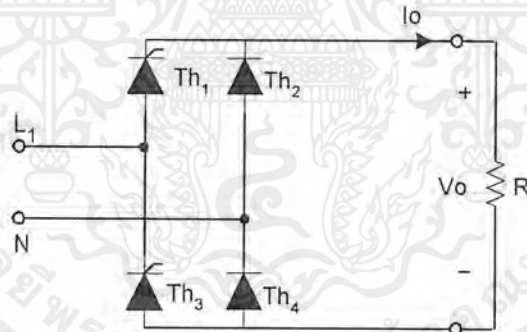
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณกระแสที่ไหลผ่านโหลด จะใช้กราฟรูปที่ 2.62 และ 2.63 เพื่อหาค่ากระแส I_N และ I_{RN} จากนั้นจึงนำมาคูณกับค่าในตารางที่ 2.50 จากนั้นจึงจะนำไปแทนค่าในสมการของกระแสไฟฟ้า

วงจรควบคุมครึ่งบริดจ์ (Half Control Bridge) วงจรควบคุมครึ่งบริดจ์นี้จะประกอบด้วย ไทริสเตอร์ 2 ตัว ไดโอด 2 ตัว สามารถต่อวงจรได้ 2 แบบคือวงจรไทริสเตอร์ขนาน และวงจรไทริสเตอร์อนุกรม ดังรูป 2.68



(ก) วงจรไทริสเตอร์ขนานต่อวงจรได้ 2 แบบ

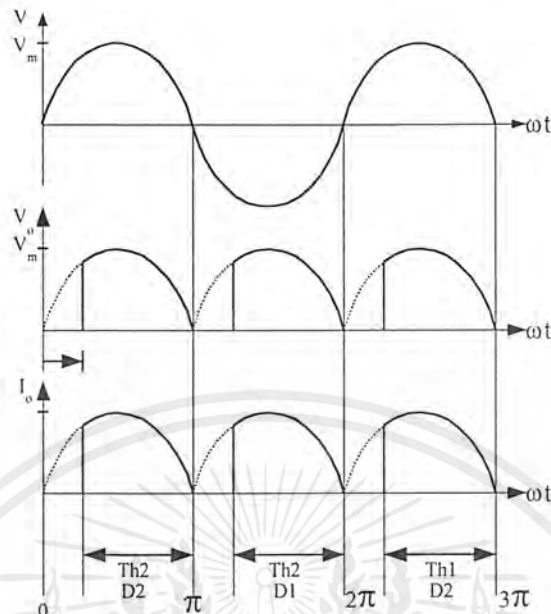


(ข) วงจรไทริสเตอร์อนุกรม

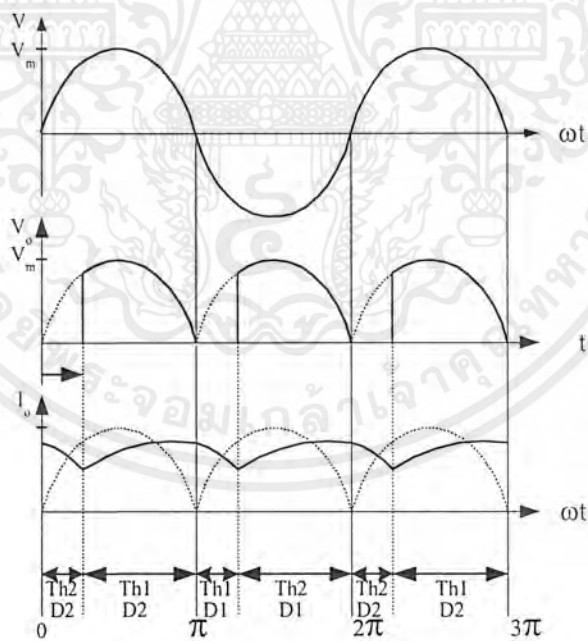
รูปที่ 2.68 วงจรควบคุมครึ่งบริดจ์แบบต่างๆ

การทำงานของวงจร การทำงานของวงจรไทริสเตอร์ขนาน ดังรูป 2.68 (ก) เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน ไทริสเตอร์ (Th_1) จะทำงานในครึ่งวัฏจักรบวกของแหล่งจ่ายไฟสลับ และถูกจุดชนวนที่มุม α กระแสโหลดจะไหลผ่าน Th_1 และ D_2 และกระแสหยุดไหลที่เวลา $\omega t = \pi$ สำหรับครึ่งวัฏจักรลบของแหล่งจ่าย Th_3 ถูกจุดชนวนที่มุม $\alpha + \pi$ จะมีกระแสไหลผ่านโหลดโดยผ่าน Th_3 และ D_1 ดังรูป 2.69 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) รูปคลื่นของวงจรไทรสเตอร์ขนาน เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน



(ข) รูปคลื่นของวงจรไทรสเตอร์ขนาน เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ

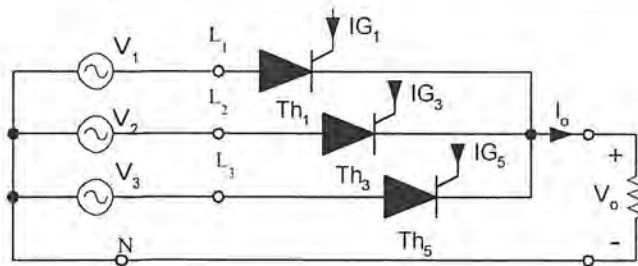
รูปที่ 2.69 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด และกระแสโหลดของวงจรควบคุม
ครึ่งบริดจ์ที่ต่อไทรสเตอร์ขนานเมื่อโหลดชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโหลดของวงจร 2.68 (ก) เป็นตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ หรือเป็นตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณารูปคลื่นจากรูป 2.69 (ข) ในขณะที่อยู่ในครึ่งวัฏจักรบวกของ แหล่งจ่ายไทรสเตอร์ (Th_1) ถูกจุดชนวนที่มุม α กระแสไหลจะไหลจากแหล่งจ่ายผ่าน D_2 และ Th_1 กระแสยังคงไหลผ่านโหลดจนที่เวลา $\omega t = \pi$ ขณะที่แรงดันแหล่งจ่ายเป็นศูนย์ ดังนั้นไดโอดจึงหยุดนำกระแส และเนื่องจากโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำจึงยังมีกระแสไหลผ่าน Th_1 อยู่แม้แหล่งจ่ายจะให้ไบแอสกลับต่อ Th_1 ก็ตาม ขณะนำกระแสไหลจะไหลผ่าน D_1 และ Th_1 แทนเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านกลับของโหลด เปรียบกับว่า Th_1 และ D_1 ทำหน้าที่เป็นไดโอดโพลาไรซ์นั่นเอง และเมื่อไทรสเตอร์ Th_2 ถูกจุดชนวนในครึ่งวัฏจักรลบของแหล่งจ่าย ไฟสลับที่มุม $\pi + \alpha$ และเป็นผลให้ Th_1 หยุดทำงานทันที เนื่องจาก ได้รับแรงดันไบแอสกลับและ Th_2 กับ D_1 ก็จะทำงานคล้ายกับกรณีครึ่งวัฏจักรแรก จะเห็นว่ากระแสจะไหลเป็นคลื่นต่อเนื่องตลอดเวลา และแรงดันตกคร่อมโหลดเป็นตัวความต้านทาน ดังนั้นในการคำนวณค่ากระแส และแรงดันของไฟฟ้าเฉลี่ย และไฟฟ้าใช้งานจะใช้สมการเดียวกันกับวงจรบริดจ์ที่มีโหลดเป็นตัวความต้านทาน

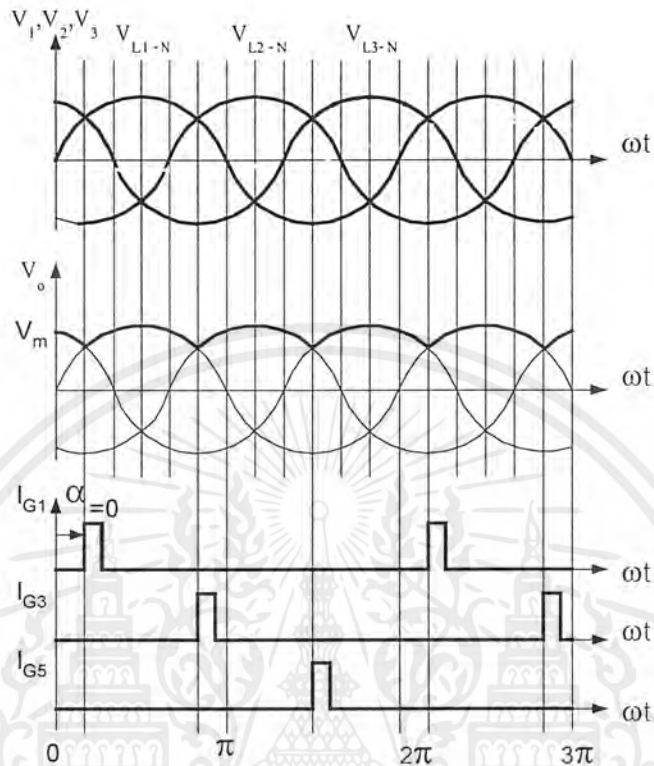
2.11.3 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสครึ่งคลื่นที่ควบคุมได้

วงจรเรียงกระแส 3 เฟส ครึ่งคลื่นที่ใช้ไทรสเตอร์ 3 ตัวสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่โหลดได้โดยการควบคุมมุมจุดชนวนของไทรสเตอร์แต่ละตัว เมื่อพิจารณาจากวงจรใน รูป 2.70 เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทานเพียงตัวเดียวจะเห็นว่าไทรสเตอร์ (Th_1) ต่อกับสาย L_1 ไทรสเตอร์ (Th_2) ต่อกับสาย L_2 และไทรสเตอร์ (Th_3) ต่อกับสาย L_3 และจุดนิวตรอนของแหล่งจ่ายไฟฟ้าขั้วลบของแรงดันตกคร่อมโหลดต่อกัน ไทรสเตอร์ทั้ง 3 ตัวต่อขั้วแคโทดถึงกัน ซึ่งเป็นขั้วบวกของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าด้วย เมื่อจุดชนวนของไทรสเตอร์ (Th_1) ที่มุม α ดังนั้นมุมจุดชนวนของไทรสเตอร์ (Th_2) คือมุม $\alpha + 120$ และมุมจุดชนวนไทรสเตอร์ (Th_3) คือมุม $\alpha + 240$ ดังรูปที่ 2.71 เมื่อจุดชนวนที่มุม $\alpha = 0$



รูปที่ 2.70 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสครึ่งคลื่นที่ควบคุมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

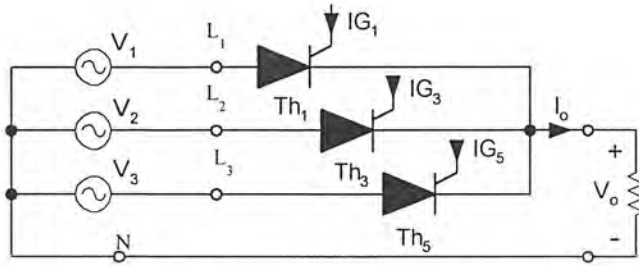


รูปที่ 2.71 รูปคลื่นสัญญาณจุดชนวนไทรสเตอร์แต่ละตัวเทียบกับแรงดันเฟสและแรงดันตกคร่อมโพลด

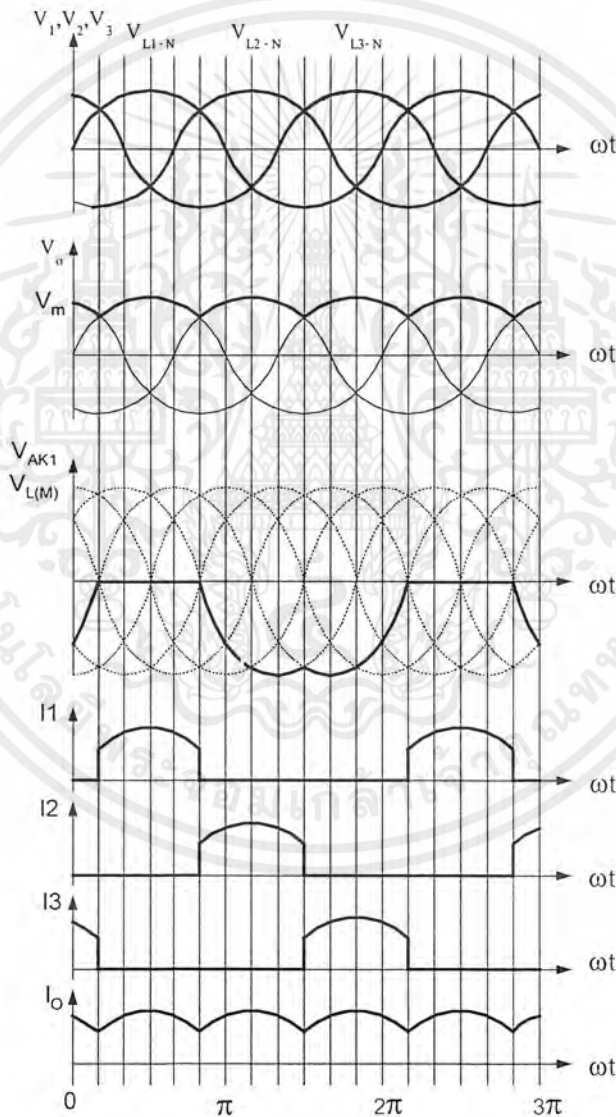
จากรูป 2.71 จะเห็นว่าแกนอ้างอิงที่มุม $\alpha = 0$ คือตำแหน่งที่ V_{L1-N} และ V_{L3-N} ตัดกันทางด้านบวก ถ้าเทียบกับแกนศูนย์ของแรงดันอ้างอิง V_{L1-N} คือมุม 30 องศา นั่นเอง เนื่องจากระหว่าง 0 - 30 องศา แม้จะมีการควบคุมมุมจุดชนวนก็ไม่สามารถทำให้แรงดัน (V_o) เปลี่ยนแปลงไปได้

เมื่อโพลดเป็นตัวความต้านทาน

เนื่องจากการที่สัญญาณจุดชนวนเกิดของไทรสเตอร์แต่ละตัวต่างเฟสกัน 120 องศา ดังนั้นไทรสเตอร์แต่ละตัวจึงนำกระแสได้ไม่เกิน 120 องศา และเรียงตามลำดับเฟสของระบบไฟฟ้าสามเฟสที่เป็นแหล่งจ่าย เมื่อโพลดของวงจรเป็นตัวความต้านทานดังรูป 2.72 (ก) และมุมจุดชนวนเกิดคือ $\alpha = 0$ จะได้รูปคลื่นดังรูป 2.72 (ข)



(ก) วงจรเมื่อมีโหลดเป็นตัวความต้านทาน

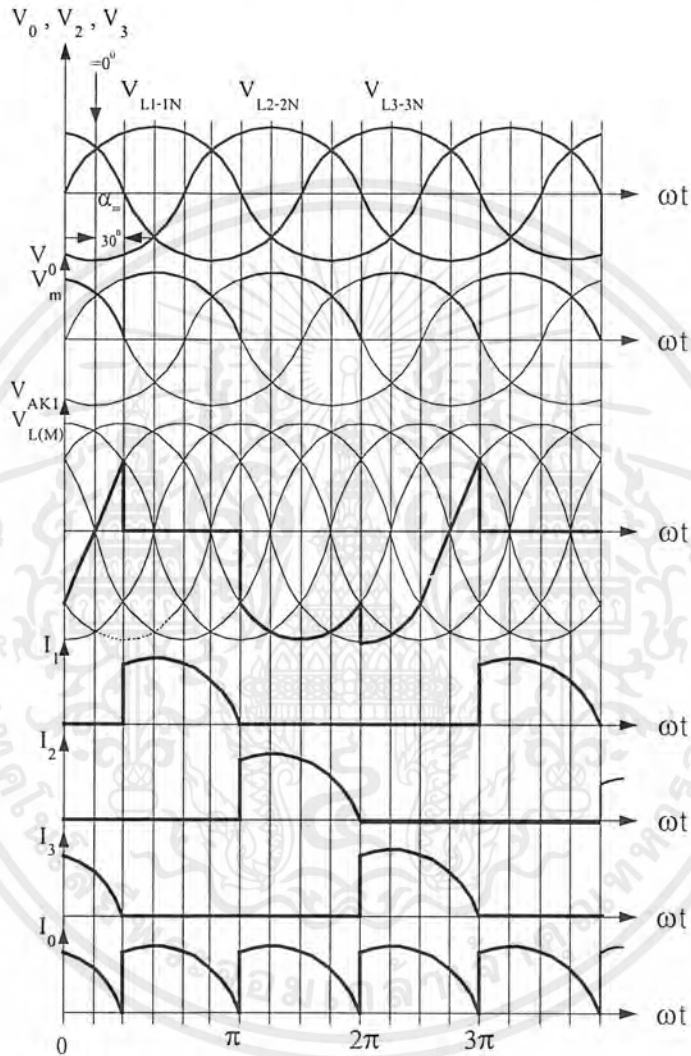


(ข) รูปคลื่นและกระแสที่ส่วนต่างๆ ของวงจรเมื่อ $\alpha = 0$

รูปที่ 2.72 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสคลื่นที่ควบคุมได้เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่โหลด โดยการปรับมุมจุดชนวน (α) จะเห็นว่าเมื่อปรับมุมจุดชนวนของไทรสเตอร์ ระหว่าง 0 - 30 องศา กระแสโหลดยังคงไหลอย่างต่อเนื่องในกรณีดังกล่าวจะสามารถคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย และแรงดันอาร์เอ็มเอส ที่โหลดได้ดังนี้



รูปที่ 2.73 รูปคลื่นแรงดัน และกระแสที่ส่วนต่างๆ ของวงจรในรูป 2.72 เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน และมุม $\alpha = 30$ องศา

การคำนวณค่าแรงดันตกคร่อมโหลดเมื่อ $0 < \alpha < 30$ ได้จากสมการที่ 2.61 และ 2.62

$$V_{O(avg)} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (\cos \alpha) \quad (2.61)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{O(RMS)} = \sqrt{3}V_m \sqrt{\left(\frac{1}{6} + \frac{\sqrt{3}}{8\pi} \cdot \cos 2\alpha\right)} \quad (2.62)$$

แต่เมื่อจุดชนวนเกตของไทรซิสเตอร์ให้ค่ามุมจุดชนวนมีค่ามากกว่า 30 องศาแต่ไม่เกิน 150 องศา คลื่นกระแสที่ไหลผ่านโหลดจะไหลไม่ต่อเนื่อง

จะเห็นว่าเมื่อมุมจุดชนวนมีค่ามากขึ้น แรงดันตกคร่อมโหลดจะมีค่าลดลง และจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อมุม $\alpha = 150$ องศา เมื่อกระแสไหลไม่ต่อเนื่องจะเป็นผลให้ไทรซิสเตอร์แต่ละตัวนำกระแสได้น้อยกว่า 120 องศา ซึ่งกรณีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ $(30 < \alpha < 150)$ จะเห็นว่ามุมหยุดนำกระแสของไทรซิสเตอร์ตัวที่หนึ่ง (Th_1) คือมุม π

คำนวณค่าแรงดันโวลต์ เมื่อ $30 < \alpha < 150$ องศา ได้จากสมการที่ 2.63 และ 2.64

$$V_{O(avg)} = \frac{3V_m}{2\pi} \left(1 + \cos\left(\frac{\pi}{6} + \alpha\right)\right) \quad (2.63)$$

$$V_{O(RMS)} = \sqrt{3}V_m \sqrt{\left(\frac{5}{24} - \frac{\alpha}{4\pi} + \frac{1}{8\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + 2\alpha\right)\right)} \quad (2.64)$$

การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด เช่นเดียวกับวงจร 1 เฟส ที่มีโวลต์เป็นตัวความต้านทานสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย $I_{O(avg)}$ และกระแสไฟฟ้าใช้งาน $I_{O(RMS)}$ ที่โหลดได้โดยกฎของโอห์มได้จากสมการที่ 2.65 และ 2.66

$$I_{O(avg)} = \frac{3V_m}{2\pi R} \left(1 + \cos\left(\frac{\pi}{6} + \alpha\right)\right) \quad (2.65)$$

$$I_{O(RMS)} = \frac{\sqrt{3}V_m}{R} \sqrt{3}V_m \sqrt{\left(\frac{5}{24} - \frac{\alpha}{4\pi} + \frac{1}{8\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + 2\alpha\right)\right)} \quad (2.66)$$

เมื่อโวลต์เป็นตัวเหนี่ยวนำ ในกรณีนี้อาจกล่าวได้ว่าเมื่อโวลต์เป็นตัวเหนี่ยวนำหรือตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำที่มีค่า ωL สูงมากๆ การควบคุมวงจรในการกรณีโวลต์ดังกล่าวนี้จะควบคุมได้ 2 ลักษณะคือ เมื่อจุดชนวนเกตของไทรซิสเตอร์ (Th_1) ที่มุม α ไทรซิสเตอร์ (Th_1) จะนำกระแส แต่เนื่องจากโวลต์เป็นตัวเหนี่ยวนำการเพิ่มขึ้นของกระแสจึงเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ไทรซิสเตอร์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Th₁) ยังคงนำกระแสต่อไปจนกระทั่งไทรสเตอร์ (Th₃) ถูกจุดชนวนที่มุม $\alpha + 120$ เมื่อไทรสเตอร์ (Th₃) นำกระแสจะเป็นผลให้ไทรสเตอร์ (Th₁) หยุดนำกระแส เนื่องจากได้รับแรงดันไบแอสกลับ ในทำนองเดียวกันไทรสเตอร์ (Th₂) จะถูกจุดชนวนที่มุม $\alpha + 240$ และเมื่อไทรสเตอร์(Th₂) นำกระแสก็จะบังคับให้ไทรสเตอร์ (Th₃) หยุดนำกระแสเช่นเดียวกัน

เมื่อควบคุมมุมจุดชนวนของไทรสเตอร์ให้มีค่าน้อยกว่า 0 ถึง 90 องศา กระแสไหลยังคงไหลอย่างต่อเนื่อง แต่ถ้าจุดชนวนเกิดของไทรสเตอร์ที่มุม α มากกว่าหรือเท่ากับ 90 องศา กระแสไหลจะไม่ต่อเนื่อง

การคำนวณค่าแรงดันตกคร่อมโหลดเมื่อ $0 < \alpha < 90$ (กระแสไหลต่อเนื่อง)

สมการที่ 2.67 เป็นการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่โหลด

$$V_{O(avg)} = \frac{3\sqrt{3}Vm}{2\pi} (\cos \alpha) \quad (2.67)$$

สมการที่ 2.68 เป็นการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า อาร์เอ็มเอส ที่โหลด

$$V_{O(RMS)} = \sqrt{3Vm} \sqrt{\left(\frac{1}{6} + \frac{\sqrt{3}}{8\pi} \cdot \cos 2\alpha\right)} \quad (2.68)$$

การคำนวณค่าแรงดันตกคร่อมโหลดเมื่อ $90 < \alpha < 150$ (กระแสไหลไม่ต่อเนื่อง)

สมการ 2.69 คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่โหลด

$$V_{O(avg)} = 0 \quad (2.69)$$

สมการที่ 2.70 เป็นการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า อาร์เอ็มเอส ที่โหลด

$$V_{O(RMS)} = \sqrt{3Vm} \left(\pi - \frac{2\alpha}{4\pi} - \frac{1}{8\pi} (-\sqrt{3} \cos 2\alpha - \sin 2\alpha) \right) \quad (2.70)$$

หมายเหตุ V_m คือแรงดันสูงสุดระหว่างเฟส ($V_{L-N(max)}$)

การคำนวณค่ากระแสที่โหลด ในวงจรเรียงกระแส 3 เฟสครั้งคลื่นที่ควบคุมได้ดังนี้ การหาค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลดในกรณีที่โหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ หรือเป็นตัวความต้านทาน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

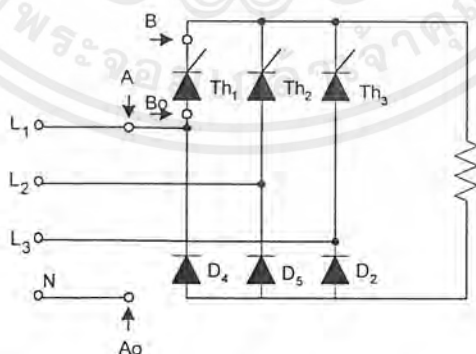
ตัวเหนี่ยวนำจะใช้วิธีการพหุคูณในการหากระแส คือใช้รูปที่ 2.62 หาค่า I_N และใช้รูปที่ 2.62 หาค่า I_{RN} แต่ค่ามุม α ในรูปดังกล่าวจะต้องบวกด้วย 30 เพราะในวงจร 3 เฟสครั้งคลื่นแกนอ้างอิง $\alpha = 0$ คือตำแหน่งมุม $\omega t = 30$ จากนั้นจึงนำค่าที่ได้จากกราฟมาคูณด้วยตัวคูณที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.2 และนำค่าที่ได้ไปหาค่ากระแสที่ไหลทั้งกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย และกระแสไฟฟ้าใช้งานได้จากสมการ 2.71 และ 2.72

$$I_{O(avg)} = \frac{Vm}{Z} (3I_N) \quad (2.71)$$

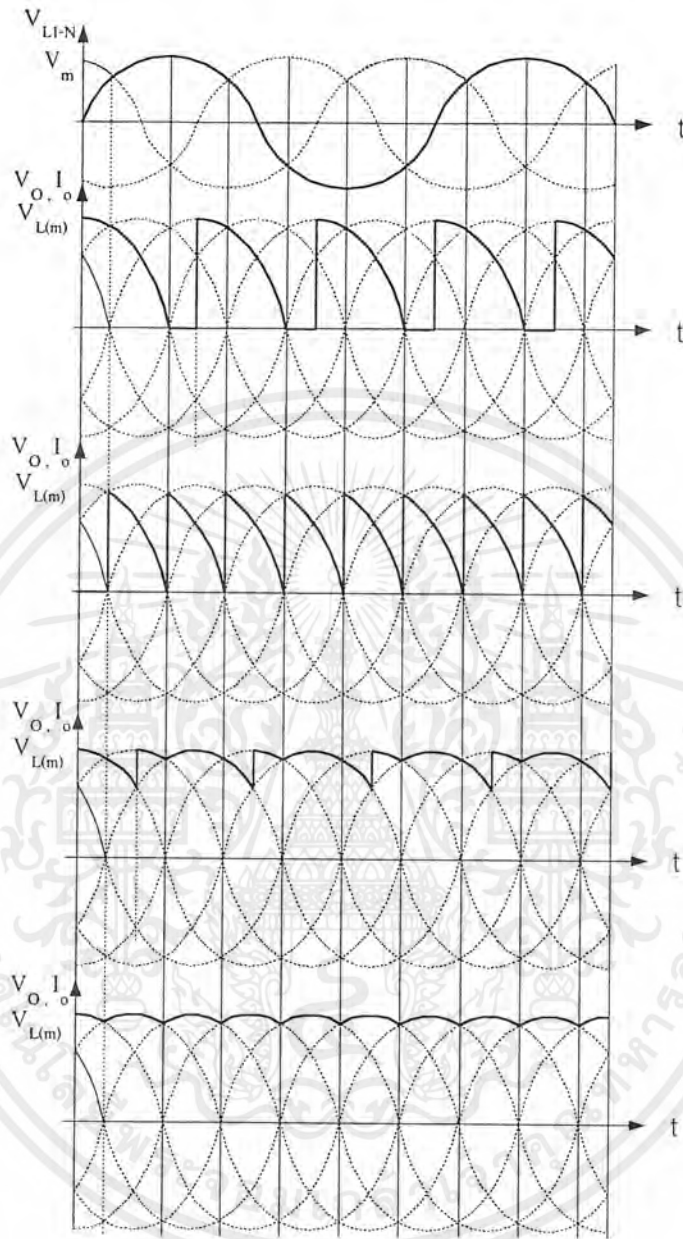
$$I_{O(RMS)} = \frac{Vm}{Z} (\sqrt{3}I_{RN}) \quad (2.72)$$

2.11.4 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมได้

วงจรเรียงกระแส 3 เฟสที่ควบคุมครึ่งบริดจ์ ประกอบด้วยไทรสเตอร์ 3 ตัวจากวงจรในรูป คือ Th_1, Th_2, Th_3 และไดโอด 3 ตัว คือ D_4, D_5 และ D_2 การควบคุมการจุดชนวนเกตของไทรสเตอร์ทั้ง 3 ตัวนี้เหมือนกับวงจร 3 เฟสครึ่งคลื่นได้เพราะไทรสเตอร์แต่ละตัวทำงานต่างเฟสกัน 120 องศา ซึ่งทำงานเรียงกันตามสัญญาณแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อโพลเป็นตัวความต้านทานดังรูป 2.74 จะเห็นว่าเมื่อควบคุมมุมจุดชนวนเกตให้มีค่ามุม $\alpha = 0$ รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโพลจะเหมือนกับวงจรบริดจ์ไดโอด 3 เฟสขณะนี้แรงดันตกคร่อมโพลจะมีค่าสูงสุดดังรูป 2.74 และเมื่อจุดชนวนเกตให้มีค่ามุม α มากขึ้นแรงดันตกคร่อมโพลจะมีค่าลดลงดังรูป 2.74 ที่มุม $\alpha = 30, 60$ และ 90 องศา



รูปที่ 2.74 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสที่ควบคุมครึ่งบริดจ์มีโพลเป็นตัวความต้านทาน



รูปที่ 2.74 คลื่นแรงดัน และกระแสไหลของวงจรในรูปที่ 2.73

การทำงานของวงจรควบคุมครึ่งบริดจ์นี้ มีข้อดีกว่าวงจรควบคุมเต็มบริดจ์คือไม่สามารถทำงานใน Inverse Mode ได้ (วงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับ) ทำงานได้เฉพาะกรณี Rectifier Mode เท่านั้น และย่านการควบคุมมุมจุดชนวนเกิด สามารถควบคุมได้ตั้งแต่ 0 ถึง 180 องศา และวงจรควบคุมครึ่งบริดจ์นั้นจะให้แรงดันตกคร่อมโหลดในด้านบวกเท่านั้น เพราะ ไดโอด D_4, D_2 และ D_6 จะทำหน้าที่เป็นไดโอดฟลิวไปด้วย ดังนั้นเมื่อโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำจึงไม่ปรากฏรูปคลื่นด้านลบที่โหลด และรูปคลื่นของกระแสก็จะแตกต่างกับวงจรที่มีโหลดเป็นตัวความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าแรงดันตกคร่อมโหลด

เมื่อแรงดันโหลดต่อเนื่อง แรงดันของโหลดต่อเนื่องเมื่อมุมจุดชนวนเกิดของไทรสเตอร์ไม่
เกินกว่า 30 องศา

การคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยได้จากสมการ 2.73

$$V_{0(avg)} = \frac{3\sqrt{3}Vm}{2\pi}(1 + \cos\alpha) \quad (2.73)$$

การคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสได้จากสมการ 2.74

$$V_{0(RMS)} = \sqrt{3}Vm \sqrt{\left(\frac{3}{4\pi} + \left(\frac{2\pi}{3} + \sqrt{3} \cos^2\alpha\right)}\right)} \quad (2.74)$$

เมื่อแรงดันโหลดไม่ต่อเนื่อง กรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อจุดชนวนเกิดของไทรสเตอร์มากกว่า 30 องศา
การคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยได้จากสมการ 2.75

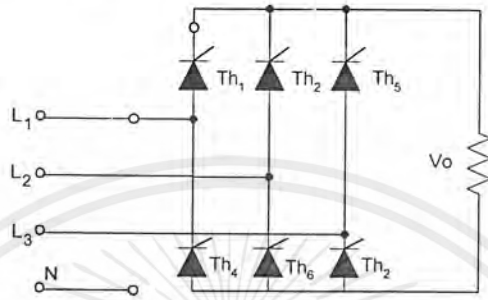
$$V_{0(avg)} = \frac{3\sqrt{3}Vm}{2\pi}(1 + \cos\alpha) \quad (2.75)$$

การคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสได้จากสมการ 2.76

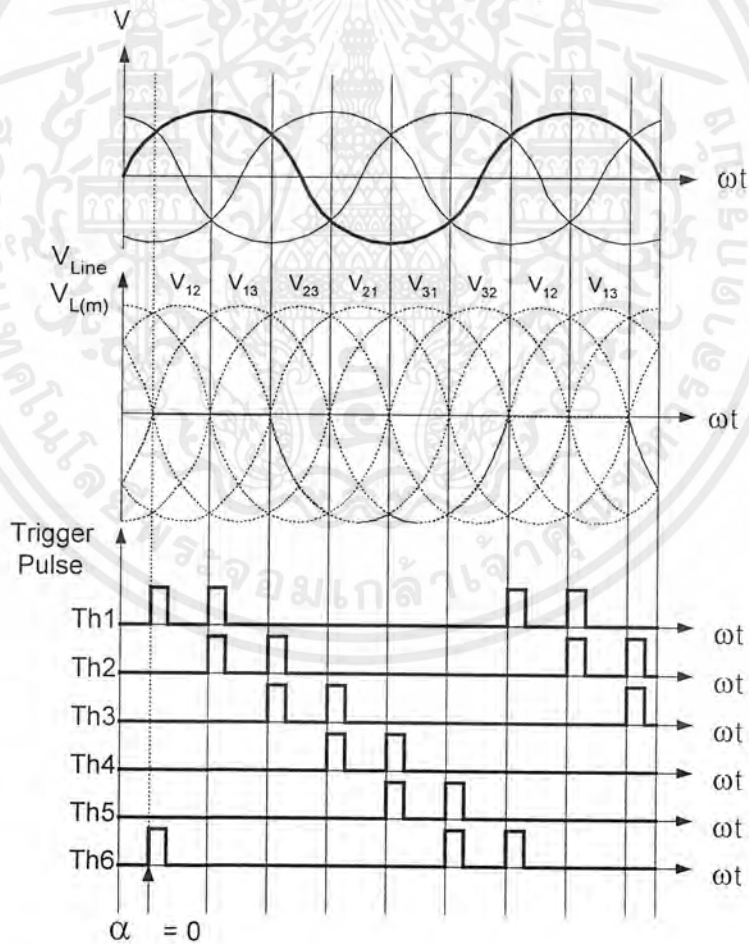
$$V_{0(RMS)} = \sqrt{3}Vm \sqrt{\left[\frac{3}{4\pi}(\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha)\right]} \quad (2.76)$$

วงจรเรียงกระแส 3 เฟสที่ควบคุมเต็มบริดจ์

วงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมเต็มบริดจ์นี้ ประกอบไปด้วยไทรสเตอร์ทั้งหมดจำนวน 6 ตัว ดังรูปที่ 2.75 (ก) โดยที่ไทรสเตอร์แต่ละคู่จะทำงานพร้อมกันตามลำดับการป้อนสัญญาณจุดชนวนเกิดดังรูปที่ 2.75 (ข)



(ก) วงจรเรียงกระแส 3 เฟสที่ควบคุมเต็มบริดจ์



(ข) รูปคลื่นแรงดันระหว่างสาย และลำดับของสัญญาณจุดชนวนเกิดของไทรสเตอร์
รูปที่ 2.75 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมเต็มบริดจ์ และสัญญาณจุดชนวนเกิด

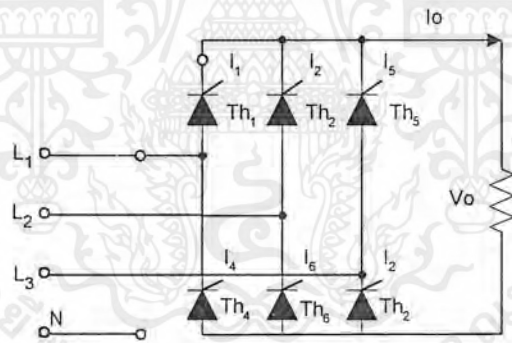
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.75 (ข) จะพบว่าลำดับชั้นการจุดชนวนเกิดของไทริสเตอร์ทั้ง 6 ตัวจะเป็นไปตามลำดับชั้นดังนี้คือ (พิจารณาที่มุม $\alpha = 0$)

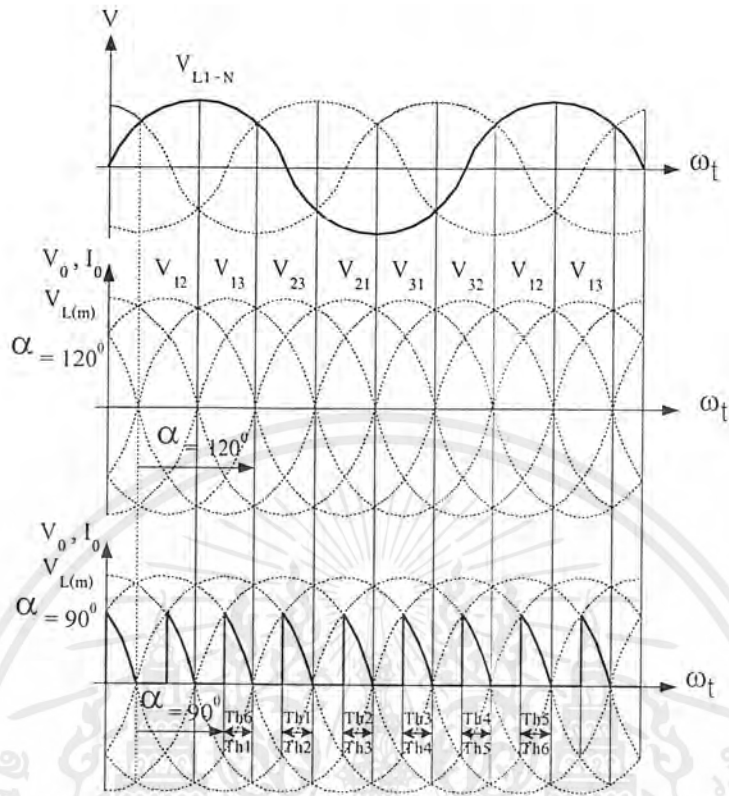
- ไทริสเตอร์ 6 และ 1 ทำงานที่มุม $\alpha = 0$
- ไทริสเตอร์ 1 และ 2 ทำงานที่มุม $\alpha = 60$
- ไทริสเตอร์ 2 และ 3 ทำงานที่มุม $\alpha = 120$
- ไทริสเตอร์ 3 และ 4 ทำงานที่มุม $\alpha = 180$
- ไทริสเตอร์ 4 และ 5 ทำงานที่มุม $\alpha = 240$
- ไทริสเตอร์ 5 และ 6 ทำงานที่มุม $\alpha = 300$
- ไทริสเตอร์ 6 และ 1 ทำงานที่มุม $\alpha = 360$

จะเห็นว่าที่มุมจุดชนวน $\alpha = 0$ ไทริสเตอร์แต่ละตัวจะนำกระแสเป็นมุมเท่ากับ 60 องศา และที่มุม α โดซันจำนวนมุนนำกระแสก็จะลดลง

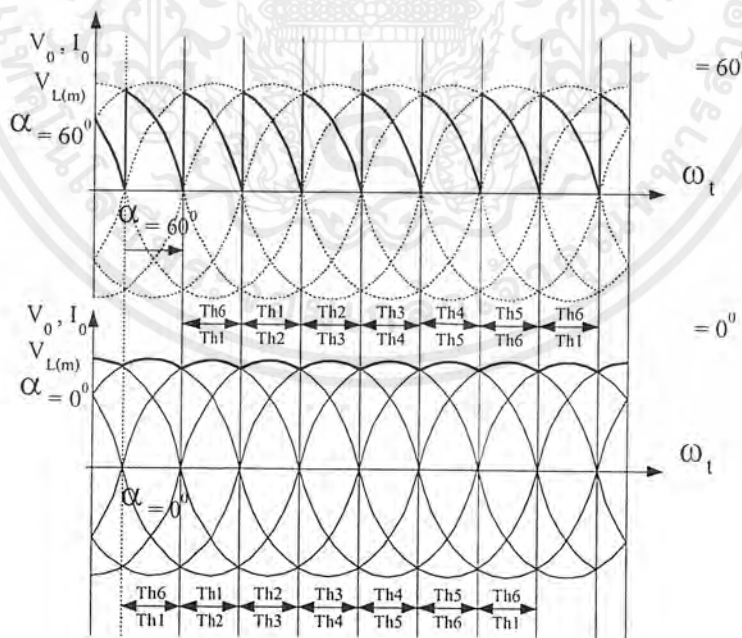
เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน การทำงานของวงจรเมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทานเพียงอย่างเดียวให้พิจารณาในรูปที่ 2.76 และรูปคลื่นแรงดันตกคร่อม โหลด และกระแสที่ไหลผ่าน โหลด ในรูป 2.77 (ก)



รูปที่ 2.76 วงจรควบคุมเต็มบริดจ์เมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน



(ก) รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสที่ไหลผ่านโหลด



(ข) รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสที่ไหลผ่านโหลด

รูปที่ 2.77 รูปคลื่นของวงจรเรียงกระแส 3 เฟส เต็มคลื่นที่ควบคุมเต็มบริดจ์เมื่อโหลดเป็นตัวความ

ต้านทานและจุดชนวนไทรสเตอร์ที่มุม $\alpha = 0, 60, 90$ และ 120 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่ารูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_o) จะปรากฏเมื่อมุม α มีค่าระหว่าง 0 ถึง 120 องศาเท่านั้น และที่มุมจุดชนวนเกต α มีค่าระหว่าง 0 ถึง 60 องศา กระแสไหลดจะไหลอย่างต่อเนื่อง แต่ถ้าจุดชนวนเกตที่มุม α มากกว่า 60 องศา แต่ไม่เกิน 120 องศา กระแสไหลดจะไหลไม่ต่อเนื่อง ทำให้การพิจารณาหาสมการแรงดันตกคร่อมโหลดเกิดขึ้น 2 กรณี

เมื่อจุดชนวนเกตที่มุม $0 < \alpha < 60$ องศา

การคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่โหลดได้จากสมการที่ 2.77

$$V_{o(avg)} = \frac{3\sqrt{3}Vm}{\pi} (\cos \alpha) \quad (2.77)$$

การคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า อาร์เอ็มเอส ได้จากสมการที่ 2.78

$$V_{o(RMS)} = \sqrt{3}Vm \sqrt{\left(\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha\right)} \quad (2.78)$$

เมื่อจุดชนวนเกตที่มุม $60 < \alpha < 120$ องศา

การคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย และค่าแรงดันไฟฟ้า อาร์เอ็มเอส ที่โหลดได้จากสมการที่ 2.79 และ 2.80

$$V_{o(avg)} = \frac{3\sqrt{3}Vm}{\pi} \left(1 + \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right)\right) \quad (2.79)$$

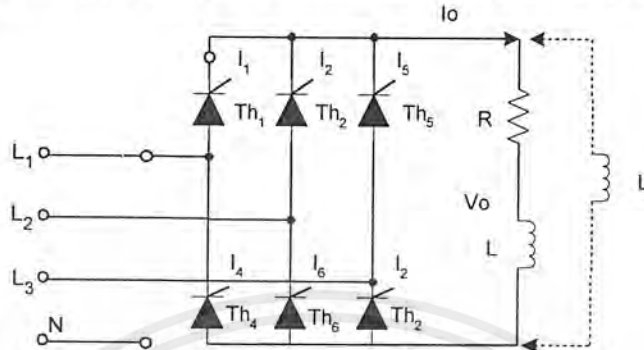
$$V_{o(RMS)} = \frac{3Vm}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{2\pi}{3} - \alpha + \frac{1}{4}(\sqrt{3} \cos 2\alpha + \sin 2\alpha)} \quad (2.80)$$

หมายเหตุ V_{L1-L2} คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย (Line - To - Line)

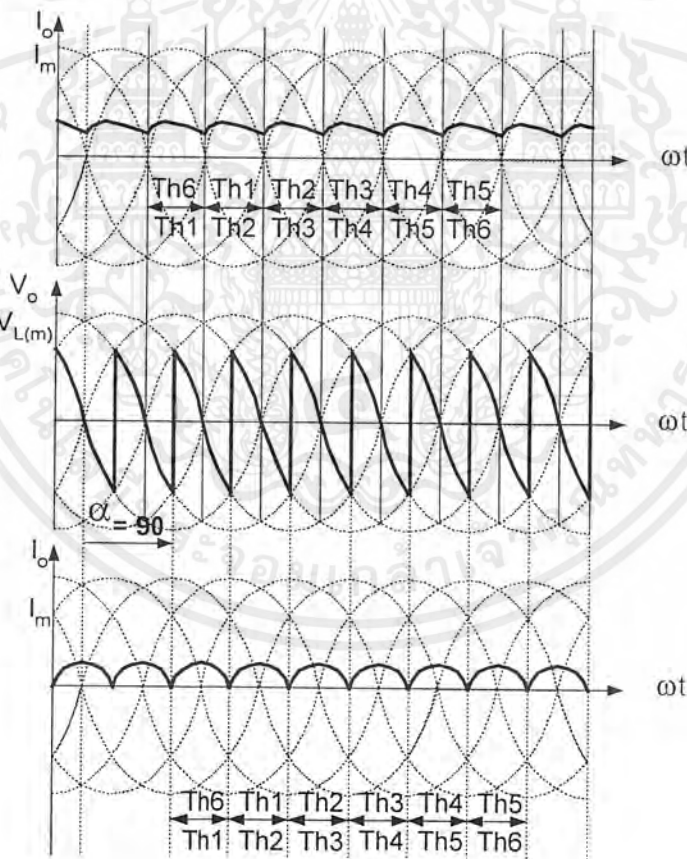
V_m คือแรงดันสูงสุดระหว่างเฟส (Line - To - Neutral)

เมื่อโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ กรณีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำนี้ รวมถึงเมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำที่มีค่า ωL สูงมากๆ อีกด้วย ซึ่งลักษณะการควบคุมวงจรถัดกล่าวจะแตกต่างจากกรณีโหลดตัวต้านทาน กล่าวคือ เมื่อจุดชนวนเกตที่มุม α มากกว่า 60 องศา จะเกิดรูปคลื่นด้านลบตกคร่อมโหลด และเมื่อมุม α มีค่ามากกว่า 90 องศา จะทำให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่

โหลดมีค่าเป็นศูนย์ ลักษณะของวงจรเมื่อโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ หรือตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำแสดงในรูป 2.78 (ก) และรูปคลื่นกระแสและแรงดันขาออกของวงจรแสดงในรูป 2.78 (ข)



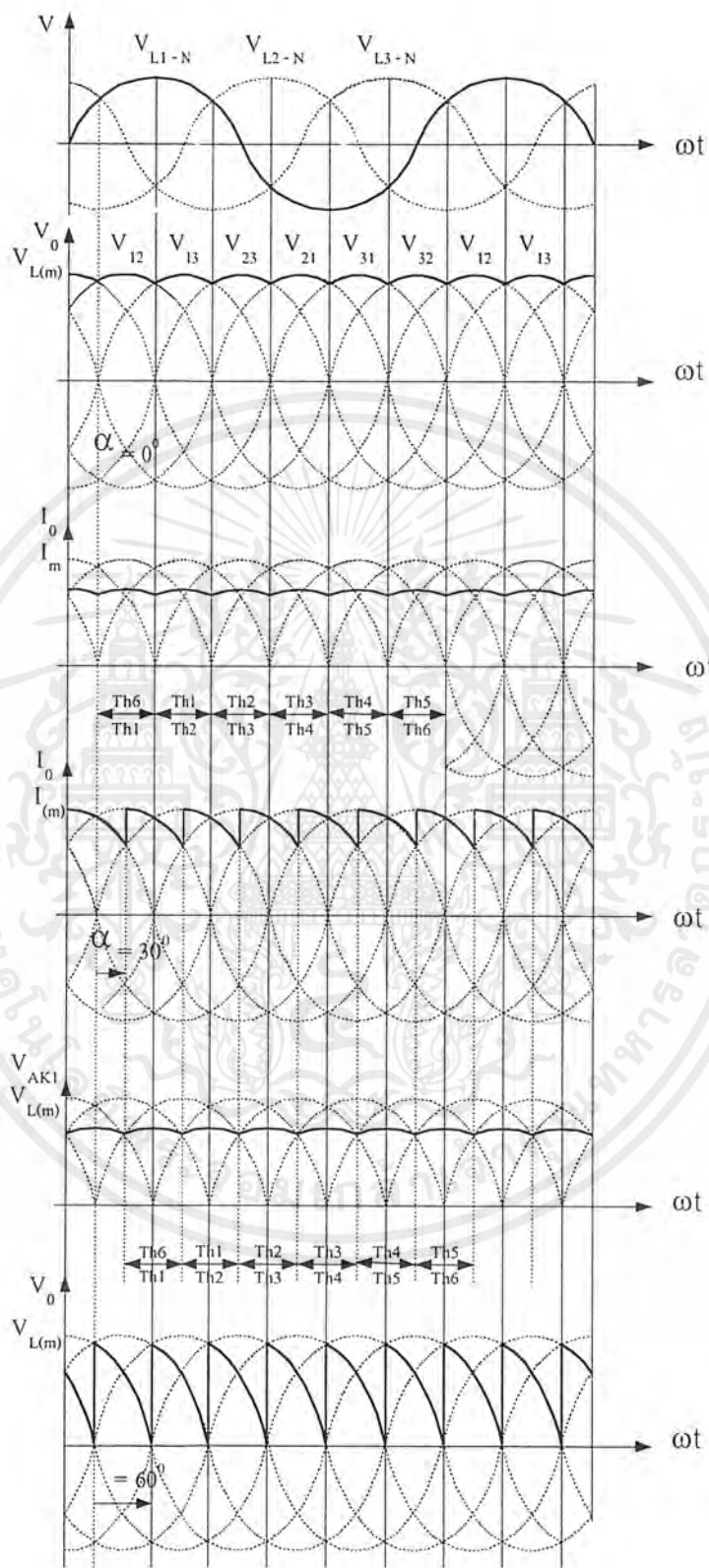
(ก) วงจรเรียงกระแส 3 เฟสที่ควบคุมเต็มบริดจ์เมื่อโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำหรือตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ



(ข) รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดเมื่อโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำและจุดชนวนที่มุม $\alpha = 0, 30, 60$ และ 90 องศา

รูปที่ 2.78 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมเต็มบริดจ์ เมื่อโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำหรือตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ และจุดชนวนที่มุมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น มิใช่เพื่อเอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.79 สัญญาณของวงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมเต็มบริดจ์ เมื่อโหลดเป็นตัว

เหนี่ยวนำ หรือตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ และจุดชนวนเกดที่มุมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักเรียนไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่ารูปคลื่นกระแสไหลจะไหลอย่างต่อเนื่อง เมื่อมุมจุดชนวนมีค่าระหว่าง 0 ถึง 90 องศาเท่านั้น และถ้าจุดชนวนเกินกว่ามุม 90 องศาจะทำให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่โหลดมีค่าเป็นศูนย์ และลักษณะการไหลของกระแสเมื่อมุม α ใหญ่กว่า 90 จะไหลออกอย่างไม่ต่อเนื่อง สมการคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลดเกิดขึ้น 2 กรณี คือ

เมื่อจุดชนวนเกตที่มุม $(0 < \alpha < 90)$ กระแสไหลอย่างต่อเนื่อง
การหาค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยได้จากสมการที่ 2.81

$$V_{0(\text{avg})} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} (\cos \alpha) \quad (2.81)$$

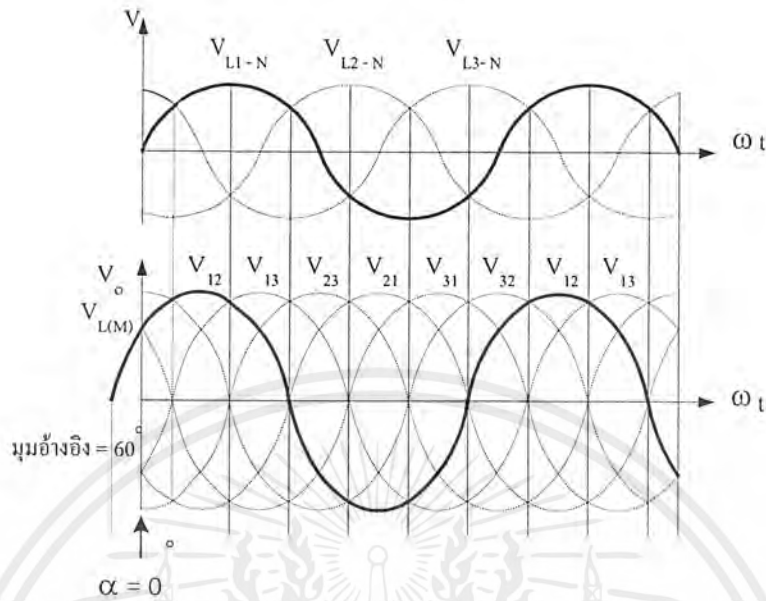
การหาค่าแรงดันไฟฟ้า อาร์เอ็มเอส ได้จากสมการที่ 2.82

$$V_{0(\text{RMS})} = \sqrt{3}V_m \sqrt{\left(\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha\right)} \quad (2.82)$$

เมื่อจุดชนวนเกตที่มุม $(90 < \alpha < 120)$ กระแสไหลไม่ต่อเนื่อง
การหาค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยได้จากสมการที่ 2.83

$$V_{0(\text{avg})} = 0 \quad (2.83)$$

การคำนวณหาค่ากระแสไหล การคำนวณหาค่ากระแสไหลจะพิจารณาเฉพาะเมื่อโหลดเป็นตัวความต้านทาน และเมื่อโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ หรือตัวความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น กรณีที่มีไดโอดโฟลตจะไม่พิจารณาเนื่องจากมีสมการกระแสไดโอดอยู่ด้วย เนื่องจากซับซ้อนมาก ไม่สามารถใช้กราฟจากรูปที่ 2.61 และ 2.62 พิจารณาได้ วิธีการใช้กราฟดังกล่าวจะคล้ายกับวงจร 3 เฟส ครึ่งคลื่นแต่ตัวคูณที่ใช้จะแตกต่างกัน กล่าวคือ ค่ากระแส I_N และ I_{RN} ที่หาได้จากกราฟรูปที่ 2.61 และ 2.62 จะต้องคูณกับค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.2 แต่ค่าของ มุม α ในรูปที่ 2.61 และ 2.62 จะต้องบวกด้วย 60 เพราะ ในวงจร 3 เฟสเต็มคลื่น แกนอ้างอิงที่ $\alpha = 0$ คือตำแหน่งมุม $\omega t = 60$ เมื่อเทียบกับแรงดัน V_{12} เป็นแรงดันอ้างอิง ดังรูป 2.80



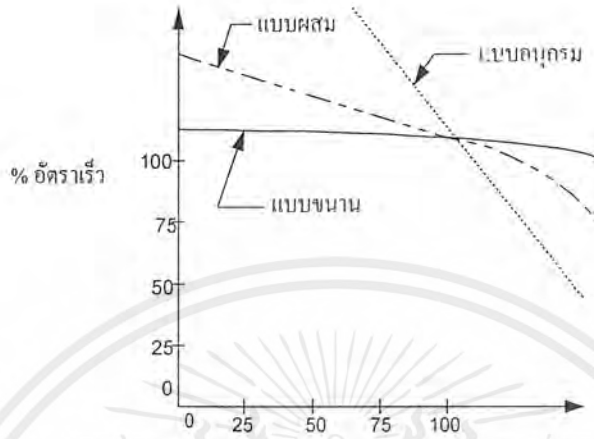
รูปที่ 2.80 แรงดัน V_{L12} ที่ใช้เป็นแรงดันอ้างอิงของมุม $\alpha = 0$ กรณีวงจรเรียงกระแส 3 เฟส เต็มคลื่นที่ควบคุมเต็มบริดจ์

2.12 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

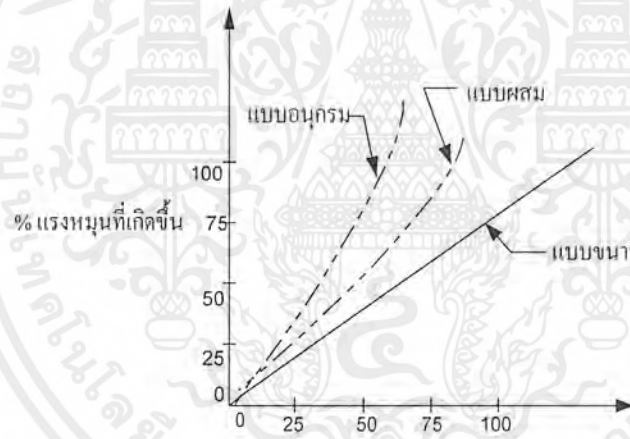
ในปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปคือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานแบบอนุกรม แบบผสม แต่ยังมีแบบแม่เหล็กถาวร ซึ่งในสมัยนี้ได้มีการประดิษฐ์แม่เหล็กได้แรงขึ้นและมีราคาถูกลงมาก เช่น อัลนิโค และแม่เหล็กเซรามิก เป็นต้น ซึ่งได้มีการนิยมนำไปประดิษฐ์มอเตอร์ขนาดเล็กที่มีแรงม้าเป็นค่า เศษส่วน โดยนิยมนำไปใช้ในงานควบคุมต่างๆ เช่น นำไปใช้ในรถยนต์ เป็นเครื่องปิดน้ำฝน เครื่องยกกระจกหน้าต่าง เครื่องยก หรือเลื่อนที่นั่ง เป็นต้น

มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมีลักษณะสมบัติคล้ายกับของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน โดยมี อัตราเร็วเกือบคงที่แต่มีค่าลดลงบ้างเล็กน้อย ตามค่าของภาระหรือแรงหมุนของภาระตั้ง เส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างอัตราเร็วกับแรงหมุนภาระที่แสดงในรูปที่ 2.81 ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานมีการคำนวณหาอัตราเร็วได้จากสมการที่ 2.84

$$\omega = \frac{E - IR}{K_{\omega} I_f} \tag{2.84}$$



(ก) เส้นโค้งลักษณะสมบัติอัตราเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ ขนาน อนุกรม และผสม



(ข) เส้นโค้งลักษณะสมบัติแรงหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ ขนาน อนุกรม และผสม

รูปที่ 2.81 เส้นโค้งลักษณะสมบัติต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

- เมื่อ ω เป็นค่าอัตราเร็ว (รอบต่อนาที)
- E เป็นค่าแรงดันเฉลี่ยวงจรถัดขึ้น หรือ แรงดันที่ขั้วไฟฟ้าของมอเตอร์ (โวลต์)
- I_a เป็นค่ากระแสไหลในวงจรรอาร์เมเจอร์ (แอมแปร์)
- R_a เป็นค่าความต้านทานในวงจรรอาร์เมเจอร์ (โอห์ม)
- K_{ω} เป็นตัวคงที่สัดส่วนของอัตราเร็ว (โวลต์-นาที ต่อแอมแปร์-รอบ)
- I_f เป็นค่ากระแสไหลในวงจรถัดขึ้น (แอมแปร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีค่านวนหาค่าแรงหมุนที่เกิดขึ้นได้จากสมการที่ 2.85

$$T = K_t I_a \quad (2.85)$$

เมื่อ T เป็นแรงหมุนที่เกิดขึ้น (นิวตัน – เมตร)
 K_t เป็นตัวคงที่สัดส่วนของแรงหมุน (นิวตัน – เมตรต่อแอมแปร์)

มอเตอร์แบบผสมจะมีอัตราเร็วสูงขึ้นหรือช้าลงเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชานจะขึ้นอยู่กับ การต่อฟีดคอนูกรม ให้สนามแม่เหล็กเข้าหักล้างหรือเข้าบวกกับสนามของฟีดชานาน ซึ่งเรียกว่า มอเตอร์ผสมแบบหักล้าง และมอเตอร์ผสมแบบสะสม ตามลำดับ แต่มอเตอร์ผสมแบบหักล้างไม่ค่อยนิยมใช้กัน และเส้นโค้งลักษณะสมบัติดังรูปที่ 2.81 เป็นของมอเตอร์ผสมแบบสะสม

มอเตอร์แบบอนุกรมมีคุณสมบัติที่สำคัญมาก คือ สามารถปรับเปลี่ยนอัตราเร็วเป็นพิสัย กว้าง และมีแรงหมุนเกิดขึ้นตอนสตาร์ทสูงมาก ดังเส้นโค้งลักษณะสมบัติดังรูปที่ 2.81 โดยเราสามารถคำนวณหาอัตราเร็วและแรงหมุนได้จากสมการ 2.86 และ 2.87

$$\omega = \frac{E - I_a R_a}{K_\omega I_a^2} \quad (2.86)$$

และ

$$T = K_t I_a^2 \quad (2.87)$$

กระแสที่ไหลอยู่ในอาร์เมเจอร์และที่ไหลอยู่ในฟีดของมอเตอร์แบบอนุกรมจะมีเฟสทับกันอยู่เสมอ จึงทำให้เกิดแรงหมุนอยู่ในทิศทางเดียวตามหลักการพื้นฐานเราอาจใช้มอเตอร์แบบอนุกรมเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หรือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้ แต่มอเตอร์แบบอนุกรมที่ออกแบบธรรมดาให้ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อนำไปใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับจะทำงานไม่เป็นที่น่าพึงพอใจซึ่งเราจะต้องปรับปรุง ดังต่อไปนี้

1. จะต้องใช้เหล็กแผ่นทำโครงสร้างของฟีด โย้ค และแกนเหล็ก เพื่อลดกำลังสูญเสียเนื่องจาก กระแสไหลวนซึ่งเกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้มอเตอร์ไม่ร้อนเกินไปและป้องกันไม่ให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพต่ำเกินไป

2. ให้ลดแรงดันตกคร่อมฟีดคอนูกรมลง เนื่องจากฟีดคอนูกรมมีรีแอ็กแตนซ์สูงเมื่อเปรียบเทียบกับขดอาร์มาเจอร์ ซึ่งเราจะทำได้ 2 วิธีคือ วิธีแรก ให้ใช้มอเตอร์แบบนี้ในงานที่ใช้ไฟฟ้าเลี้ยง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรวมที่ต่ำๆ วิธีที่สอง ให้ลดค่าเหนี่ยวนำของฟิวส์อนุกรมลง ซึ่งอาจจะทำได้ด้วยการลดจำนวนรอบของขดลวดต่อโพลให้น้อยลง ทั้งนี้จะเป็นผลทำให้จำนวนแอมแปร์-รอบลดน้อยลงไปด้วย แต่เพื่อรักษาฟลักซ์แม่เหล็กให้มีค่าพอเพียง จึงต้องลดค่าความต้านทานของวงจรแม่เหล็กให้มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้ได้ด้วยการเลือกใช้ค่าความหนาแน่นในส่วนที่เป็นเหล็กให้อยู่ในย่านที่จะได้ค่าความซึมได้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ และออกแบบให้โพล และช่องอากาศมีความยาวสั้นเท่าที่จะทำได้

3. จะต้องเพิ่มจำนวนขดลวดในอาร์มาเจอร์ให้มากขึ้นเพื่อชดเชยกับค่าฟิวส์ฟลักซ์ที่ลดลงไป ทั้งนี้เพื่อให้มอเตอร์เกิดแรงหมุนสูงประมาณคงเดิม ดังนั้นอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์แบบอนุกรมที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับจะมีขนาดใหญ่กว่าอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์แบบอนุกรมที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีแรงม้า และอัตราปัดอื่นๆ อย่างเดียวกัน

เนื่องจากมอเตอร์แบบอนุกรมที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับจะมีแอมแปร์-รอบของฟิวส์น้อย แต่มีแอมแปร์-รอบของอาร์มาเจอร์มาก จึงทำให้มีปฏิกิริยาของอาร์มาเจอร์ แรงมาก จึงมีอาร์คเกิดขึ้นที่คอมมิวเตเตอร์อย่างรุนแรง และมีกำลังเอาต์พุตลดต่ำลง ซึ่งเราต้องแก้ไขด้วยการฝังขดลวดชดเชยไว้ใต้ผิวหน้าของโพล

4. ขดลวดของอาร์มาเจอร์ที่กำลังเข้าทำการคอมมิวเตชันจะถูกตัดวงจรด้วยแปรงถ่านจึงมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นคล้ายกับกรณีของขดลวดหุติยภูมิของหม้อแปลงถูกตัดวงจร ซึ่งทำให้เกิดอาร์ครุนแรงที่แปรงถ่าน และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการตัดวงจรจะหักล้างกับฟลักซ์ของฟิวส์โพลเป็นผลให้แรงหมุนลดลงเราแก้ไขด้วยการพันอาร์มาเจอร์เป็นขดลวดที่มีรอบเดียวและใส่ความต้านทานระหว่างขดลวดอาร์มาเจอร์กับคอมมิวเตเตอร์เซ็กเมนต์

มอเตอร์แบบอนุกรมที่ได้ปรับปรุงให้ใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรงมีชื่อเรียกว่า “เอซี / ดีซี มอเตอร์ หรือ ยูนิเวอร์ซัลมอเตอร์” ซึ่งมีประยุกต์มากมาย จากมีดโกนหวด เครื่องปั่น เครื่องดูดฝุ่น ส่วนไฟฟ้า ไปจนถึงพัดลมเป่าเตาขนาดใหญ่ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ

การควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์ดีซีแทบทุกแบบจะทำได้คล้ายกัน ซึ่งจากสมการข้างต้น เราจะเห็นได้ว่า วิธีการควบคุมอัตราเร็วมี 4 วิธีคือ

- 1) ควบคุมแรงดันป้อนเข้าที่ขั้วของมอเตอร์
- 2) ควบคุมจำนวนกระแสที่ไหลเข้าอาร์มาเจอร์
- 3) ควบคุมจำนวนกระแสไหลเข้าฟิวส์
- 4) ผสมวิธีที่กล่าวข้างบน

การควบคุมมอเตอร์ที่ต้องการใช้ในงานที่มีแรงหมุนสูงและมีกำลังขนาดใหญ่ เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรม ในเรือขุดแร่ เป็นต้น เรานิยมใช้วิธีการที่เรียกว่า “ระบบ Ward Leonard” ดังแสดงในรูป 2.81 ซึ่งเป็นชุดของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนึ่งชุดใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ต้องการควบคุม โดยการควบคุมจะทำได้ด้วยการปรับ

เปลี่ยนค่าแรงดันที่ป้อนเข้าอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งทำได้ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานในวงจรฟิลด์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง G ทำให้เราสามารถควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์เป็นพิสัยที่กว้างมากโดยการควบคุมได้กระทำในวงจรฟิลด์ที่มีขนาดกำลังต่ำ จึงสามารถควบคุมได้หลายอย่าง นอกจากอัตราเร็วแล้วยังสามารถควบคุมแรงหมุนและกำลังเอาต์พุตที่มีขนาดใหญ่ได้อีกด้วย การควบคุมเป็นไปอย่างราบรื่น เรียบร้อย และไม่มีการสะดุด แต่วิธีการนี้มีข้อเสียเปรียบที่มองเห็นได้ชัด คือ ต้องการเครื่องกลไฟฟ้าขนาดใหญ่สามตัวซึ่งต่างมีขนาด น้ำหนัก และราคาสูง ทั้งยังมีราคาแพงในการติดตั้ง



รูปที่ 2.82 ระบบ “Ward Leonard” วิธีการควบคุมอัตราเร็วโดยการปรับเปลี่ยนแรงดันป้อนเข้าอาร์มาเจอร์

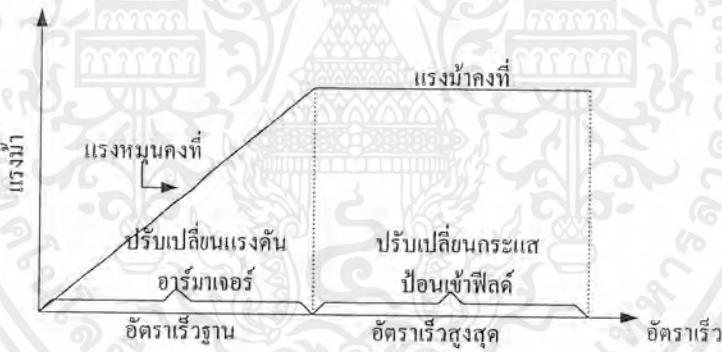
เพื่อที่จะได้พิสัยของอัตราเร็วที่กว้างที่สุดเท่าที่จะทำได้ในการปรับเปลี่ยนอัตราเร็วของระบบ Ward Leonard เราอาจใช้วิธีปรับเปลี่ยนแรงดันป้อนเข้าอาร์มาเจอร์ ผสมกับ การปรับเปลี่ยนกระแสป้อนเข้าฟิลด์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยตัวความต้านทานเปลี่ยนค่าได้ดังรูป 2.82 ขอให้เราสังเกตว่า อัตราเร็วที่ใช้อ้างอิงเป็นอัตราเร็วฐาน (Base speed ซึ่งนิยามว่าเป็นอัตราเร็วของมอเตอร์ที่แรงดันอาร์มาเจอร์ตามค่าอัตราปกติและที่ค่ากระแสไหลผ่านฟิลด์สูงสุด) โดยที่อัตราเร็วที่สูงกว่าอัตราเร็วฐานจะได้จากการปรับเปลี่ยนค่ากระแสป้อนเข้าฟิลด์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และอัตราเร็วที่มีค่าต่ำกว่าอัตราเร็วฐานจะได้จากการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันป้อนเข้าอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ที่พิสัยของอัตราเร็วสูงกว่าอัตราเร็วฐาน ฟิลด์ปลั๊กซ์จะมีค่าลดลงแต่อัตราเร็วมีค่าเพิ่มขึ้น จึงเป็นผลให้แรงเคลื่อนได้กลับ E_b มีค่าคงที่ และถ้ากระแสไหลผ่านอาร์มาเจอร์ I_a มีค่าคงที่เท่ากับอัตราปกติที่เขียนไว้ที่ป้ายติดกับมอเตอร์จะทำให้มอเตอร์มีค่าเอาต์พุตคงที่ ดังนั้นในการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรฟิลด์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นผลทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีกำลังม้าขับเคลื่อนคงที่

จากคำอธิบายข้างบนนี้ทำให้เราสามารถเขียนเส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างแรงหมุนกับอัตราเร็ว และกำลังกับอัตราเร็วที่ได้จากการควบคุมอัตราเร็วโดยวิธีปรับเปลี่ยนแรงดันป้อนเข้าอาร์มาเจอร์ และปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรฟิลต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.83 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) ระหว่างแรงหมุนกับอัตราเร็ว



(ข) ระหว่างแรงม้ากับอัตราเร็ว

รูปที่ 2.83 การควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยการปรับเปลี่ยนแรงดันป้อนเข้าอาร์มาเจอร์ และปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานในวงจรฟิลต์

วิธีการควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ง่าย ๆ ทั้งยังสามารถสตาร์ทมอเตอร์ได้ด้วย คือการใช้ตัวความต้านทานต่อเข้ากับวงจรอาร์มาเจอร์ และวงจรฟิลต์ การปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานจะเป็นการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันและค่ากระแสที่ป้อนเข้าวงจรอาร์มาเจอร์และวงจรฟิลต์ ทำให้เราสามารถควบคุมความเร็วให้ได้ตามต้องการแล้วยังสามารถควบคุมค่ากระแสตอนสตาร์ทให้อยู่ในค่าที่ปลอดภัยและมีแรงหมุนตอนสตาร์ทสูงได้ เมื่อขณะมอเตอร์กำลังหมุนอยู่เราก็ยังสามารถใช้ตัวความต้านทานเหล่านั้นในการควบคุมอัตราเร็วด้วย แต่วิธีนี้มีข้อเสียเปรียบ คือ มีกำลังสูญเสียกระจายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวความต้านทานเหล่านั้นทำให้มีประสิทธิภาพต่ำ นอกจากนี้ขณะมอเตอร์กำลังหมุนที่คอมมิวเตเตอร์จึงมีอาร์คทำให้เป็นหลุมเป็นบ่อที่หน้าสัมผัสและมีการสึกหรอเกิดขึ้น ต้องการการซ่อมบำรุงรักษาบ่อยๆ

เราอาจจัดข้อเสียเปรียบที่กล่าวข้างบนนี้โดยนำเอาไทรสเตอร์เข้ามาควบคุมแทน ซึ่งอาจแบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่ๆ ตามแบบของแหล่งจ่ายไฟฟ้า คือ

- 1) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ใช้วงจรสับไฟฟ้า เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตได้
- 2) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์เข้าเรียงกระแสเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเราอาจแบ่งย่อยวิธีนี้ออกเป็น 2 วิธีคือ
 - (1) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาต์พุต (ของคอนเวอร์เตอร์) ที่ปรับเปลี่ยนค่าได้
 - (2) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาต์พุต (ของคอนเวอร์เตอร์) มีค่าคงที่ แล้วใช้วงจรสับไฟฟ้าเข้าปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอีกชั้นหนึ่ง

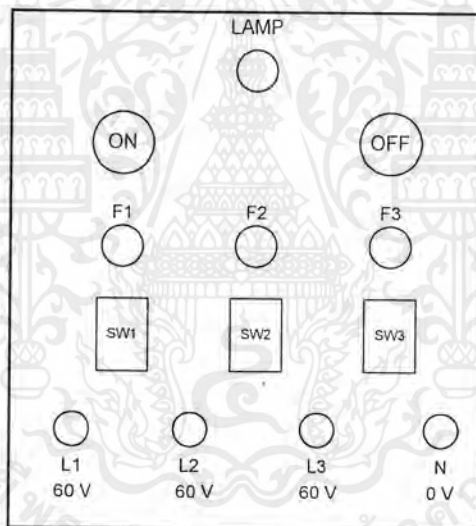
บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า

ในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลังจะใช้หม้อแปลงแบบแยกขดลวดซึ่งขดลวดจะพันอยู่บนแกนเหล็กชุดเดียวกัน และจะมีขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 300 VA เป็นแบบ 3 เฟส มีการต่อขดลวดแบบ เดลต้า - สตาร์ มีแรงดันไฟฟ้าที่เฟส 60 โวลต์

3.1.1 การออกแบบแผงด้านหน้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 ด้านหน้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

จากรูปที่ 3.1 เป็นภาพทางด้านหน้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1. หลอดไฟแสดงสถานะการทำงานของแหล่งจ่ายไฟ ถ้าหลอดไฟติดแสดงว่ากำลังอยู่ในสถานะที่กำลังทำงานอยู่ และถ้าหลอดไฟดับแสดงว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าอยู่ในสถานะที่หยุดการทำงาน
2. สวิตช์ ON และ OFF ทำหน้าที่ปิด และเปิดการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้า โดยสวิตช์

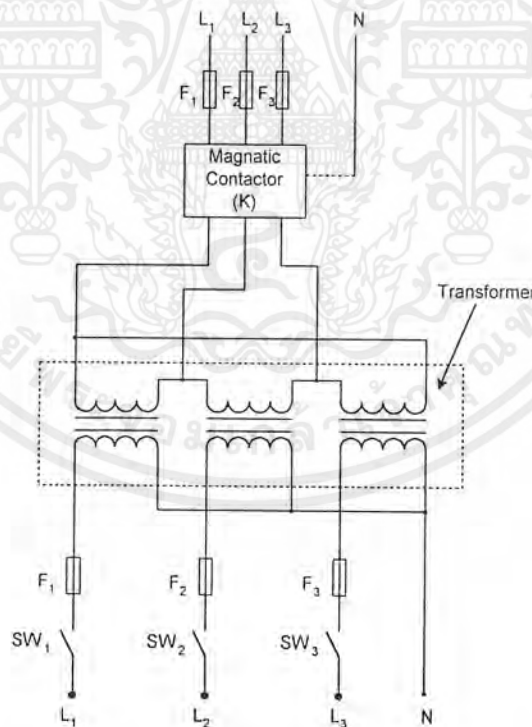
ที่ใช้จะเป็นสวิตช์แบบ Pushbutton มี 2 NO และ 2 NC อยู่ในตัวเดียวกัน สวิตช์ ON จะทำหน้าที่เปิดการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้า และสวิตช์ OFF จะทำหน้าที่ปิดการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

3. อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร (Fuse) จะมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 ตัว โดยแต่ละตัวจะทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส

4. สวิตช์ควบคุมการเปิดและปิดของไฟฟ้าในแต่ละเฟสภายในสวิตช์แต่ละตัวจะมีหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานอยู่ด้วย ซึ่งจะช่วยให้สะดวกแก่การสังเกต โดยสวิตช์ SW_1 จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของไฟฟ้าในสายของ L_1 และสวิตช์ SW_2 / SW_3 ก็จะควบคุมการทำงานของไฟฟ้าในสายของ L_2, L_3 ตามลำดับเช่นเดียวกัน

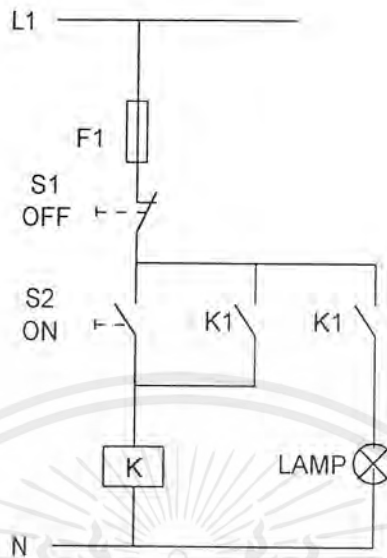
5. ขั้วของจุดต่อไฟจะมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 4 ขั้วคือ ขั้ว L_1, L_2, L_3 และ N โดยขั้ว L_1, L_2, L_3 จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าขั้วละ 60 โวลต์และขั้ว N จะเป็นจุดต่อของสายนิวทรัล

3.1.2 การออกแบบ และการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้า



รูปที่ 3.2 การต่อวงจรการทำงานภายในของแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การต่อวงจรควบคุมการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส

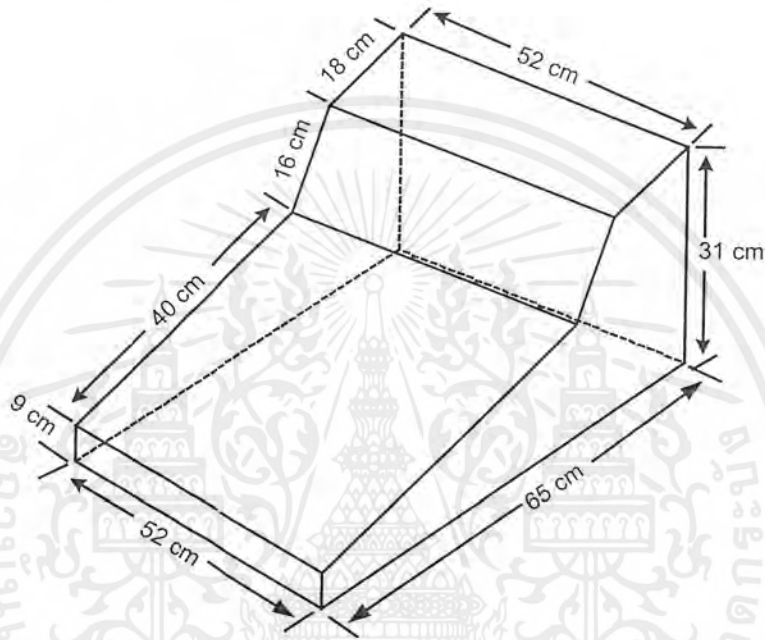
จากวงจรในรูปที่ 3.2 และ 3.3 เป็นการต่อวงจรภายในของแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งในรูปที่ 3.2 เป็นการต่อวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่นำมาต่อจากภายนอก โดยจะผ่านรีเลย์ เพื่อตัด และต่อการทำงานเมื่อรีเลย์ทำงานแล้วจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปยังทางด้านเข้า ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ 3 ขดลวดแกนเหล็กเดียวกันเพื่อแปลงไฟจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้มีค่าลดต่ำลง กระแสไฟฟ้าที่ออกจากหม้อแปลง จะไหลผ่านมาเข้าอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรแล้วจะผ่านต่อไปยังสวิทช์เพื่อควบคุมการทำงานขั้นสุดท้ายของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ผ่านสวิทช์นี้สามารถนำไปต่อใช้งานได้โดยทำการต่อจากขั้วของจุดต่อ

ส่วนวงจรในรูปที่ 3.3 เป็นการต่อวงจรควบคุมการทำงานของรีเลย์ ซึ่งมีหลักในการทำงานคือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกัน และเมื่อกดสวิทช์ S1 จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปยังขดลวดของรีเลย์ทำให้รีเลย์เกิดอำนาจแม่เหล็กดึงคูดหน้าสัมผัสให้มาติดกันทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านไปได้ และเมื่อรีเลย์ทำงานจะทำให้หน้าสัมผัสช่วยของรีเลย์ K1 ทำงานจากสถานะที่เปิดกลับมาเป็นปิดทำให้ K1 ล็อกตัวรีเลย์และจะมีผลทำให้หลอดไฟแสดงสถานะการทำงานสว่าง เมื่อต้องการที่จะหยุดการทำงานก็ต้องกดสวิทช์ S2 เพื่อเป็นการตัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจร

ในการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า 3 เฟสที่จะนั้น ต้องนำปลายสายของแหล่งจ่ายที่อยู่ทางด้านหลังไปต่อกับระบบไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งจะมีจุดต่อเตรียมไว้เรียบร้อยแล้วสำหรับไฟฟ้า

3 เฟสที่จะนำแหล่งจ่าย ไปต่อมันจะต้องเป็นไฟฟ้าระบบ 3 เฟส 4 สาย เท่านั้น จึงจะทำให้ แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงานได้

3.2 การออกแบบ และการสร้างตัวชุดทดลอง

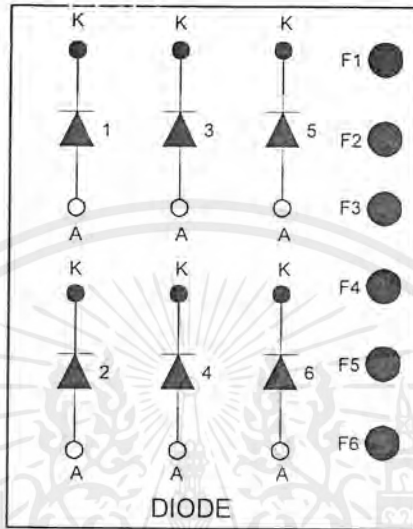


รูปที่ 3.4 ขนาดโครงสร้างของชุดทดลอง

ลักษณะโครงสร้างของชุดทดลองจะใช้เหล็กเชื่อมต่อกันเป็นโครง ซึ่งขนาดของชุดทดลองจะมีขนาดดังรูปที่ 3.4 ซึ่งเมื่อได้โครงเหล็กแล้วจะนำไม้อัดมีขนาดความหนา 0.8 เซนติเมตรมาประกบติดกับโครงเหล็กก่อนที่จะนำแผ่นไม้มาประกบติดกับโครงเหล็กจะนำแผ่นพลาสติกที่เป็นลายไม้มาแปะติดกับแผ่นไม้เสียก่อน แล้วจึงนำแผ่นไม้ไปติดกับแผ่นเหล็กเพื่อทำเป็นรูปของกล่องขึ้นมา จากนั้นจึงกำหนดการวางรูปแบบ และตำแหน่งของส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆ เมื่อได้รูปแบบตามที่ต้องการแล้วจึงนำอุปกรณ์ต่างๆ มาวางตามตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้แล้วทำการต่อสายไฟ และสายสัญญาณต่างๆ เข้าด้วยกัน

3.3 การออกแบบ และการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในชุดทดลอง

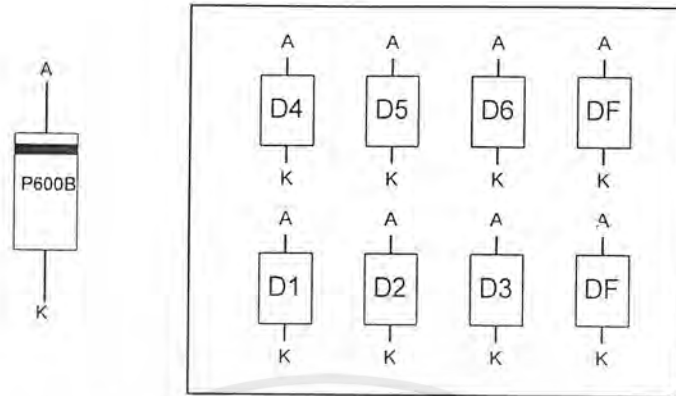
3.3.1 การออกแบบ และการทำงานของไดโอด



รูปที่ 3.5 สัญลักษณ์ของไดโอดที่แผงของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

ไดโอดที่ใช้ในแผงทดลองมีทั้งหมด 8 ตัวจะทำหน้าที่เป็นไดโอดเรียงกระแสทั้งหมด จำนวน 6 ตัวดังรูปที่ 3.5 และเป็นไดโอดที่ใช้เป็น Flywheeling Diode จำนวน 2 ตัวใช้ไดโอดเบอร์ P600B ซึ่งมีพิกัดของกระแสไฟฟ้า 6 A และพิกัดแรงดัน 100 V

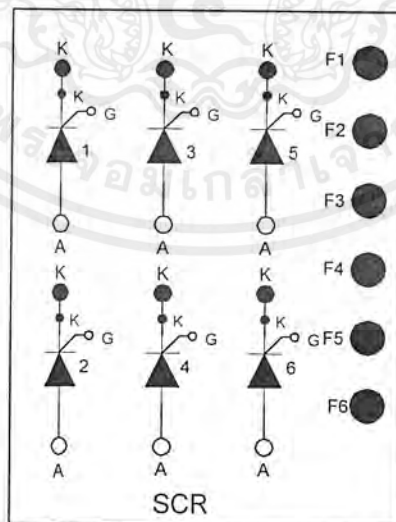
ในการต่อวงจรของไดโอดแต่ละตัวจะมีการป้องกันการลัดวงจรโดยใช้ฟิวส์ขนาด 1 A เพื่อป้องกันการเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับตัวไดโอด จากการต่อวงจร โดยไดโอดตัวที่ 1 จะต่อไว้กับฟิวส์ตัวที่ 1 (F1) และเรียงลำดับการต่อฟิวส์กับไดโอดไปเรื่อยๆ ส่วนการต่อขาต่างๆ ของวงจรภายในดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การวางตำแหน่งของไดโอดบนแผ่นปริ้นท์ที่ติดตั้งอยู่ในของชุดทดลอง

ในการต่อใช้งานของไดโอดจากสัญลักษณ์ทางด้านหน้าของแผงทดลอง โดยในส่วนของไดโอดจะเห็นได้ว่าไดโอดแต่ละตัวจะมีขั้วที่ใช้สำหรับต่อใช้กันอยู่ด้วยกัน 2 ขั้ว คือ ขั้ว แอนโอด เป็นขั้วทางค่านไฟเข้าจะอยู่ค้ำกลางของสัญลักษณ์ และขั้ว แคโทด ซึ่งจะเป็นขั้วทางค่านไฟออกอยู่ค้ำบนของสัญลักษณ์ ในการต่อใช้งานจะต่อตามหลักการทำงานของไดโอด

3.3.2 การออกแบบ และการทำงานของเอสซีอาร์



รูปที่ 3.7 สัญลักษณ์ของ เอสซีอาร์ ที่แผงของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

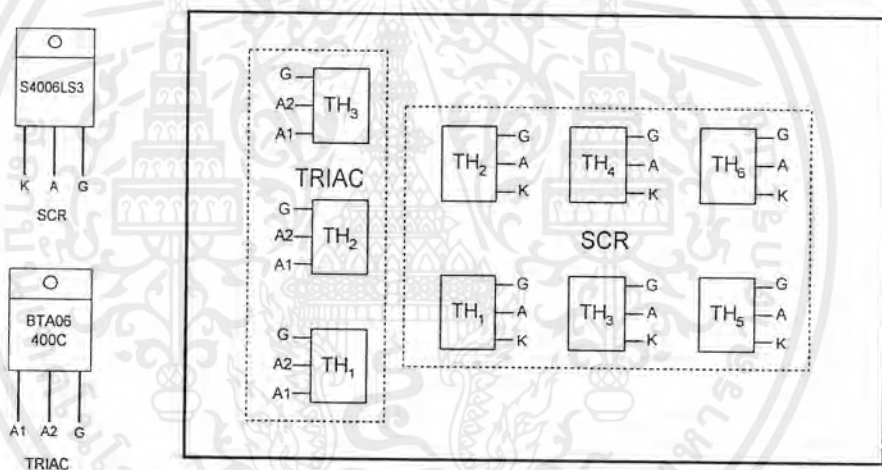
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอสซีอาร์ ที่ใช้ในแผงทดลองมีทั้งหมด 6 ตัวดังรูปที่ 3.7 จะทำหน้าที่เป็นตัวเรียงกระแสที่สามารถปรับมุนำกระแสได้ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาได้ตามความต้องการ

เอสซีอาร์ ที่ใช้ทั้งหมดนี้จะเป็น เบอร์ S4006LS3 ซึ่งมีพิคัดของกระแสไฟฟ้า 10 A และพิคัดแรงดัน 400 V

ในการต่อวงจรของ เอสซีอาร์ แต่ละตัวจะมีการป้องกันการลัดวงจรโดยใช้ฟิวส์ขนาด 1 A เพื่อป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับตัว เอสซีอาร์ โดยเอสซีอาร์ ตัวที่ 1 จะต่อไว้กับฟิวส์ตัวที่ 1 (F1) และเรียงลำดับการต่อฟิวส์กับเอสซีอาร์ จะเป็นไปเรื่อยตามลักษณะนี้ทุกตัว

จากรูปที่ 3.8 เป็นการต่อวงจรภายในของเอสซีอาร์ ซึ่งแสดงถึงการต่อขาต่างๆ ของเอสซีอาร์ เพื่อที่จะได้นำไปต่อกับแผงทดลองทางด้านหน้า



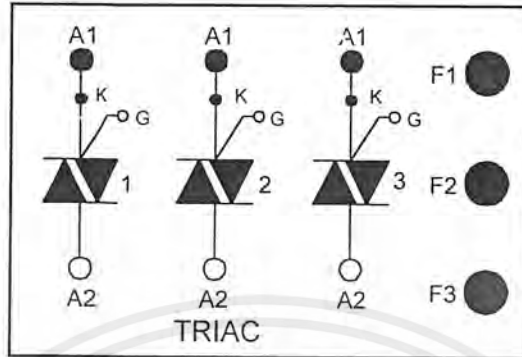
รูปที่ 3.8 การวางตำแหน่งของ เอสซีอาร์และไทรแอก บนแผ่นปริ้นท์ที่ติดตั้งอยู่ภายในของชุดทดลอง

จากรูปที่ 3.7 ในส่วนของ เอสซีอาร์ ตามสัญลักษณ์ด้านหน้าของแผงทดลองจะเห็นได้ว่าสัญลักษณ์ของ เอสซีอาร์ จะมีขั้วต่อยู่ด้วยกัน 4 ขั้วคือ

ขั้ว แอนโอด เป็นขั้วที่รับไฟจากแหล่งจ่ายหรือเป็นขั้วทางด้านไฟเข้าของเอสซีอาร์ขั้วแคโทด เป็นขั้วที่ต่อไปใช้งานหรือเป็นขั้วทางด้านไฟออกของเอสซีอาร์ขั้วของสัญญาณกระตุ้นเกตจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ขั้วคือ ขั้ว G และ K ซึ่งขั้ว K จะต่ออยู่จุดเดียวกันกับขั้ว แคโทด ของ เอสซีอาร์ โดยขั้วของสัญญาณกระตุ้นเกตทั้งสองขั้วคือ G และ K นี้จะต้องนำไปต่อกับชุดกำเนิดสัญญาณกระตุ้นเกตซึ่งหลักการต่างๆ ของการต่อเอสซีอาร์จะเป็นไปตามหลักการทำงานของเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การออกแบบ และการทำงานของไทรแอก



รูปที่ 3.9 สัญลักษณ์ของไทรแอกที่แผงของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

ไทรแอกที่ใช้ในแผงทดลองมีทั้งหมด 3 ตัวดังรูปที่ 3.9 จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับมุมนำกระแสได้ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกมาได้ตามความต้องการ

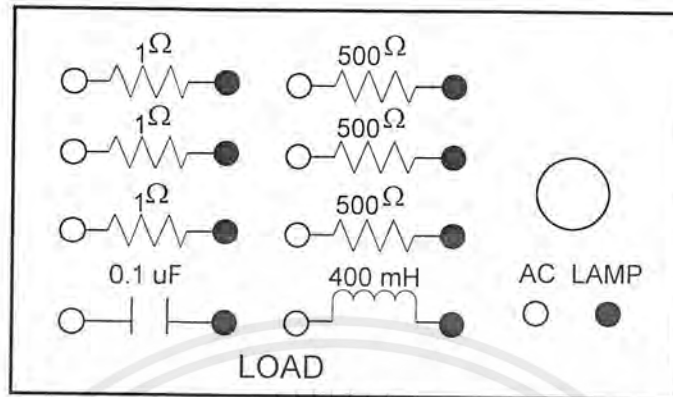
ซึ่งไทรแอก ที่ใช้ทั้งหมดนี้จะเป็นไทรแอก เบอร์ BTA06 400C ซึ่งมีพิกัดของกระแสไฟฟ้า 10 A และพิกัดแรงดัน 600 V

ในการต่อวงจรของ ไทรแอก แต่ละตัวจะมีการป้องกันการลัดวงจรโดยใช้ฟิวส์ขนาด 1 A เพื่อป้องกันการเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับตัวไทรแอก โดยไทรแอก ตัวที่ 1 จะต่อไว้กับฟิวส์ตัวที่ 1 (F1) และเรียงลำดับการต่อฟิวส์กับไทรแอกไปเรื่อยๆ และการต่อวงจรภายในจะแสดงไว้ดังรูปที่ 3.8

จากรูปที่ 3.9 ในส่วนสัญลักษณ์ของไทรแอกจะมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 ตัว ในสัญลักษณ์แต่ละตัวจะมีจุดต่อขั้วต่างๆ ทั้งหมด 4 จุด คือ

จุด A2 เป็นจุดที่ใช้สำหรับต่อไฟเข้ากับตัว ไทรแอกหรือเป็นจุดต่อทางด้านเข้าของไทรแอก จุด A1 เป็นจุดที่ใช้สำหรับต่อไฟออกไปใช้งาน หรือเป็นจุดต่อทางด้านเข้าออกของไทรแอกจุด G และ K เป็นจุดต่อที่จะนำไปต่อกับชุดกำเนิดสัญญาณกระตุ้นเกต สำหรับในการต่อใช้งานของไทรแอกจะใช้หลักการตามทฤษฎีของการนำไทรแอกไปใช้ในการทำงาน

3.3.4 การออกแบบ และการทำงานของภาระทางไฟฟ้า



รูปที่ 3.10 สัญลักษณ์ของภาระทางไฟฟ้าที่ใช้ประกอบแผงของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

จากรูปที่ 3.10 จะเห็นว่าภาระทางไฟฟ้าของชุดทดลองนี้จะประกอบไปด้วย
ตัวความต้านทาน ตัวความต้านทานที่ใช้กับชุดทดลองนี้จะมีค่าของความต้านทานที่แตกต่างกันอยู่ 2 ค่าและต่างชนิดกันด้วย

1 ตัวความต้านทานขนาด 500 โอห์ม 100 วัตต์จำนวน 3 ตัว ซึ่งใช้เป็นภาระทางไฟฟ้าของวงจรการทำงานต่างๆ ของการทดลอง

2 ตัวความต้านทานขนาด 1 โอห์ม 20 วัตต์จำนวน 3 ตัว ซึ่งใช้เป็นตัวความต้านทานสำหรับวัดรูปคลื่นสัญญาณของกระแสไฟฟ้าภายในวงจรต่างๆ จากเครื่องออสซิลโลสโคป

ตัวเก็บประจุ ตัวเก็บประจุที่ใช้จะมีค่าความจุ 0.1 ไมโครฟารัด 250 โวลต์ หน้าที่หลักคือใช้วัดค่าริบเบิล ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ปะปนมากับไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

ตัวเหนี่ยวนำ ในชุดทดลองชุดนี้ตัวเหนี่ยวนำทำจากหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมีค่าความเหนี่ยวนำ 400 มิลลิเฮนรี่ ทนกระแสได้ประมาณ 3 แอมป์

หลอดไฟ หลอดไฟฟ้าที่ใช้จะเป็นหลอดไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนมากจะใช้กับ การทำงานของไทแรอิกเพื่อให้เห็นผลการทำงานของอุปกรณ์ได้อย่างชัดเจน

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดกระแสตรง มีพิกัดแรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ 0.6 แอมแปร์ ใช้พลังงานไฟฟ้า ทั้งหมด 25 วัตต์ มีความเร็ว 4,700 รอบต่อ นาที ซึ่งการต่อใช้งานจะต้องต่อขั้วไฟฟ้าให้ถูกต้องด้วยถ้าต่อผิดจะมีผลต่อทิศทางหมุนของมอเตอร์แต่จะไม่มีผลเสียหายต่อตัวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการต่อวงจรภายในของส่วนที่เป็นภาระทางไฟฟ้านี้จะเป็นการต่อโดยตรงกับขาของอุปกรณ์ และขั้วของแผงทดลองที่อยู่ทางด้านหน้า

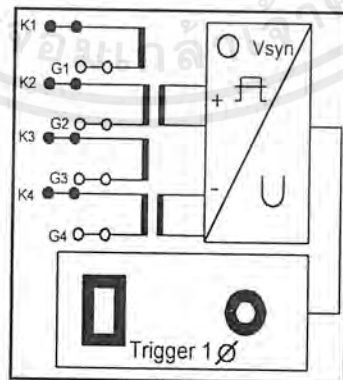
3.4 การออกแบบ และการทำงานของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นขาเกตของ ไทริสเตอร์



รูปที่ 3.11 ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นขาเกตของ ไทริสเตอร์ที่อยู่ภายในชุดทดลอง

จากรูปที่ 3.11 จะเห็นได้ว่าชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นขาเกตจะมีทั้ง แบบ 1 เฟส และแบบ 3 เฟส โดยจากรูปจะเห็นว่าแผงอุปกรณ์ที่ 1 จะเป็นชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่ใช้กับวงจรไฟฟ้า 1 เฟส และแผงอุปกรณ์ที่ 2, 3 และ 4 จะเป็นชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ใช้กับวงจรไฟฟ้า 3 เฟส

3.4.1 ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นขาเกต 1 เฟส



รูปที่ 3.12 ภาพด้านหน้าแผงทดลองของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นขาเกต 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.12 จะเห็นได้ว่าส่วนประกอบของแผงชุดทดลองในส่วนของคุณ์กำเนิดสัญญาณพัลส์จะมีส่วนต่างๆ ดังนี้

1. สวิตช์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์สำหรับใช้ในการปิด-เปิด การทำงานของคุณ์กำเนิดสัญญาณพัลส์ชุดนี้
2. Volume ทำหน้าที่สำหรับการควบคุมมุนำกระแสของคุณ์กำเนิดสัญญาณพัลส์
3. จุดต่อแรงดันไฟฟ้าเทียบเคียง (Vsyn) ทำหน้าที่สำหรับใช้ต่อแรงดันไฟฟ้าเทียบเคียงเพื่อนำแรงดันไฟฟ้านั้นมาเทียบกับสัญญาณพัลส์ที่สร้างขึ้นมาจากคุณ์กำเนิดสัญญาณพัลส์โดยการต่อจุดแรงดันไฟฟ้าเทียบเคียงนี้จะต้องต่อกับชุดของแหล่งจ่ายไฟโดยจะต้องต่อกับเฟสที่ใช้งานในวงจรที่ต่อใช้งานเท่านั้น
4. จุดต่อK1-K4 และ G1-G4 โดยจุดต่อนี้จะเป็นสัญญาณพัลส์ที่จะนำไปใช้ต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ภายในแผงของคุณ์ทดลอง ซึ่งสัญญาณที่ได้จากคุณ์กำเนิดสัญญาณพัลส์จะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือสัญญาณทางด้านบวก และสัญญาณทางด้านลบ โดย K1, K2, G1 และ G2 จะเป็นขั้วของสัญญาณทางด้านบวกซึ่งจะใช้ต่อกับอุปกรณ์ที่นำกระแสทางด้านบวก และ K3, K4, G3 และ G4 จะเป็นขั้วของสัญญาณทางด้านลบซึ่งจะใช้ต่อกับอุปกรณ์ที่นำกระแสทางด้านลบ



รูปที่ 3.13 การต่อวงจรภายในของคุณ์กำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นเกต 1 เฟส

จากรูปที่ 3.13 เป็นรายละเอียดของการต่อวงจรจากจากแผงวงจรภายในตัวชุดทดลองเพื่อที่จะนำไปต่อกับทางด้านหน้าของแผงทดลองในการต่อจากรูปที่ 3.13 จะเห็นว่ามิขาที่ต่อใช้งานทั้งหมด 18 ขา ซึ่งในแต่ละขานำไปต่อกับแผงชุดทดลองทางด้านหน้าและต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่อยู่ภายในชุดทดลองแต่ขานี้ของแผงอุปกรณ์บางขาอาจจะไม่ได้นำไปใช้งานเนื่องจากไม่มีความจำเป็น ซึ่งรายละเอียดจะมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา 3-5 จะต่อกับตัวต้านทานปรับค่าได้ซึ่งจะติดอยู่ที่แผงของชุดทดลองทางด้านหน้า

ขา 6-13 จะต่อกับแผงของชุดทดลองทางด้านหน้าซึ่งจะเป็นขา K และ G ของชุดจุด

ชนวนตามขาต่างๆที่กำหนดไว้

ขา 14 ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า -15 โวลต์

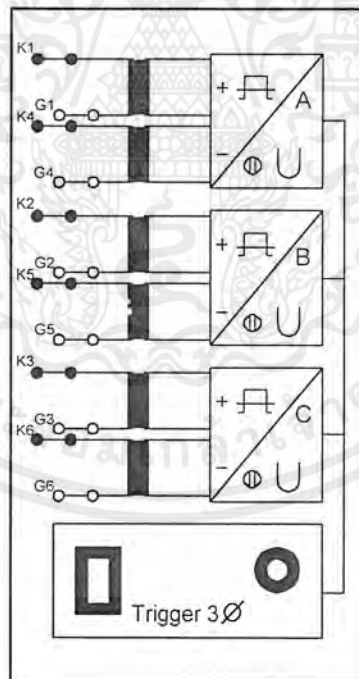
ขา 16 ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า +15 โวลต์

ขา 17 ต่อกับสายกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า +15, -15 โวลต์

ขา 18 V_{syn} นำไปต่อกันจุดต่อสัญญาณเทียบเคียงทางด้านหน้าของแผงทดลอง

สำหรับการต่อสายกราวด์ของชุดจุดชนวนพัลส์แบบ 1 เฟส นั้นจะต้องนำสายกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า +15, -15 โวลต์ไปต่อกับสายนิวทรัลของแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสด้วย ซึ่งการต่อจะต่อไว้ภายในตัวชุดทดลองอยู่แล้ว

3.4.2 ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นขาเกต 3 เฟส



รูปที่ 3.14 ภาพด้านหน้าแผงทดลองของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นขาเกต 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.14 จะเห็นได้ว่าส่วนประกอบของแผงชุดทดลองในส่วนของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบ 3 เฟส จะมีชุดกำเนิดพัลส์รวมกันทั้งหมด 3 ชุด แต่ละชุดจะควบคุมการทำงานของแต่ละเฟสซึ่งจะแยกกันโดยเด็ดขาดส่วนรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ จะมีดังนี้

1. สวิตช์เปิด - ปิด ทำหน้าที่เป็นสวิตช์สำหรับใช้ในการ เปิด - ปิดการทำงานของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ทั้ง 3 เฟส โดยเมื่อเปิดแล้วชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ทั้ง 3 เฟสจะทำงานพร้อมกัน

2. Volume ทำหน้าที่สำหรับการควบคุมมมุนำกระแสของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ทั้ง 3 เฟสซึ่งเมื่อหมุน Volume แล้วมมุนำกระแสของชุดจุดชนวนพัลส์ทั้ง 3 เฟสจะมีมมุนำกระแสที่เท่ากัน

3. สวิตช์โยก จะมีทั้งหมด 3 ตัวโดยแต่ละตัวทำหน้าที่สำหรับใช้ต่อแรงดันไฟฟ้าเทียบเคียง (Vsyn) ของชุดจุดชนวนกับเฟสของไฟฟ้าเทียบเคียงที่ต่ออยู่กับแผงทางด้านของแหล่งจ่ายไฟฟ้า โดยถ้าโยกขึ้นจะเป็นการต่อวงจร (ON) และถ้าโยกลงจะเป็นการตัดวงจร (OFF) ซึ่งในทุกๆครั้งที่ต้องการจะใช้งานจะต้องโยกสวิตช์ทั้ง 3 ตัวขึ้น (ON) เสมอเพื่อนำแรงดันไฟฟ้านั้นมาเทียบกับสัญญาณพัลส์ที่สร้างขึ้นมาจากชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์

4. จุดต่อ K และ G ของชุดจุดชนวนพัลส์ทั้ง 3 เฟส ในชุดจุดชนวนพัลส์แต่ละเฟสจะมีจุดต่อ K และ G ที่เหมือนกัน และสามารถที่จะควบคุมมมุนำกระแสได้ทั้งทางด้าน ลบ และทางด้านบวก ซึ่งจะมีเครื่องหมายกำหนดไว้ทางด้านหน้าของแผงทดลอง โดยจุดต่อนี้จะป็นสัญญาณพัลส์ที่จะนำไปใช้ต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ภายในแผงของชุดทดลอง โดยจะมีรายละเอียดของจุดต่อ K และ G ดังต่อไปนี้

ชุดจุดชนวน A จุดต่อ K1, G1 จะเป็นจุดต่อสำหรับสัญญาณจุดชนวนทางด้านบวก

จุดต่อ K4, G4 จะเป็นจุดต่อสำหรับสัญญาณจุดชนวนทางด้านลบ

ชุดจุดชนวน B จุดต่อ K2, G2 จะเป็นจุดต่อสำหรับสัญญาณจุดชนวนทางด้านบวก

จุดต่อ K5, G5 จะเป็นจุดต่อสำหรับสัญญาณจุดชนวนทางด้านลบ

ชุดจุดชนวน C จุดต่อ K3, G3 จะเป็นจุดต่อสำหรับสัญญาณจุดชนวนทางด้านบวก

จุดต่อ K3, G6 จะเป็นจุดต่อสำหรับสัญญาณจุดชนวนทางด้านลบ

จากรูปที่ 3.15 เป็นรายละเอียดของการต่อวงจรจากจากแผงวงจรภายในตัวชุดทดลองเพื่อที่จะนำไปต่อกับทางด้านหน้าของแผงทดลอง ในการต่อจากรูปที่ 3.15 จะเห็นว่ามิขาที่ต่อใช้งานทั้งหมด 3 ชุดโดยแต่ละชุดจะมีขาที่จะต้องนำไปต่อเพื่อใช้งานทั้งหมด 18 ขา ซึ่งในแต่ละขาจะนำไปต่อกับแผงชุดทดลองทางด้านหน้า และต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่อยู่ภายในชุดทดลอง แต่ขาของแผงอุปกรณ์บางขาอาจจะไม่ได้นำไปใช้งานเนื่องจากไม่มีความจำเป็น ซึ่งรายละเอียดจะมีดังนี้

ขา 3 – 5 ของชุดจุดชนวนทั้ง 3 ชุด จะนำมาต่อเข้าด้วยกันแล้วจากนั้นจะต่อกับตัวความต้านทานปรับค่าได้ซึ่งจะติดอยู่ที่แผงของชุดทดลองทางด้านหน้า

ขา 14 ของชุดจุดชนวนทั้ง 3 ชุด จะนำมาต่อเข้าด้วยกันแล้วจากนั้นจะนำไปต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า - 15 โวลต์

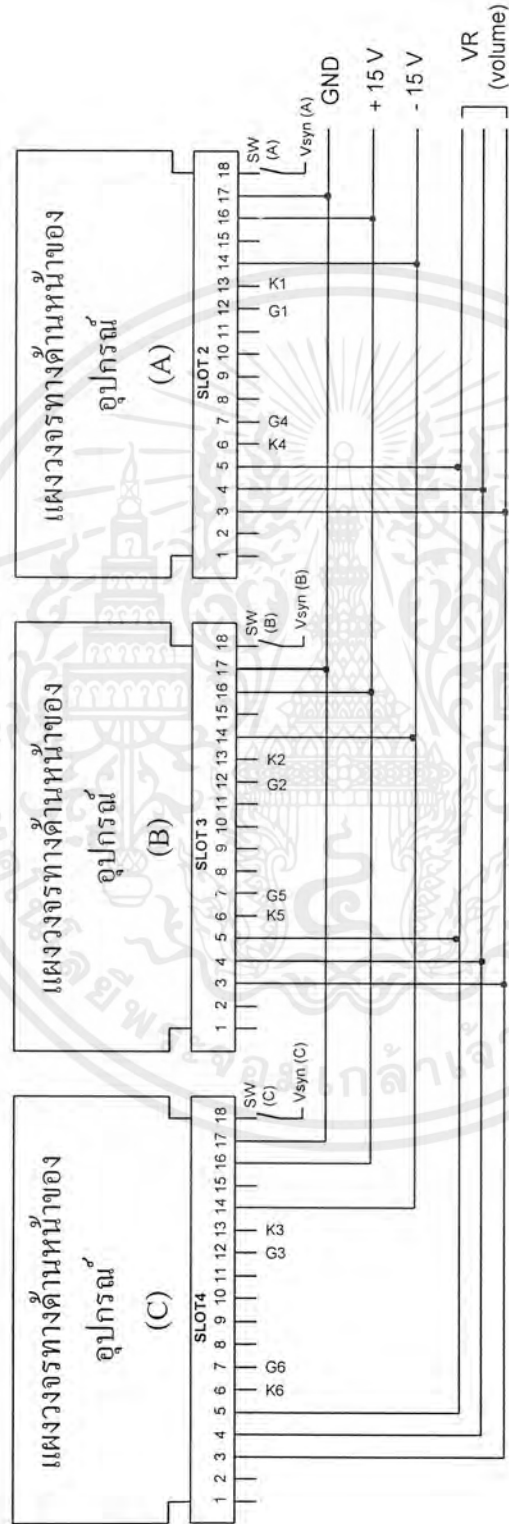
ขา 16 ของชุดจุดชนวนทั้ง 3 ชุด จะนำมาต่อเข้าด้วยกันแล้วจากนั้นจะนำไปต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า + 15 โวลต์

ขา 17 ของชุดจุดชนวนทั้ง 3 ชุด จะนำมาต่อเข้าด้วยกันแล้วจากนั้นจะนำไปต่อกับสายกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า +15, -15 โวลต์

ขา 18 Vsyn นำไปต่อกันจุดต่อกับสวิทช์โยกของแต่ละชุดคือขา 18 ของชุด A จะนำไปต่อกับสวิทช์โยกของชุด A และชุด B และ C ก็เช่นเดียวกัน และสายไฟที่ออกมาจากสวิทช์จะนำมาต่อไปยังแผงของสัญญาณเทียบเคียงทางด้านหน้าของแผงทดลองอีกครั้งหนึ่ง

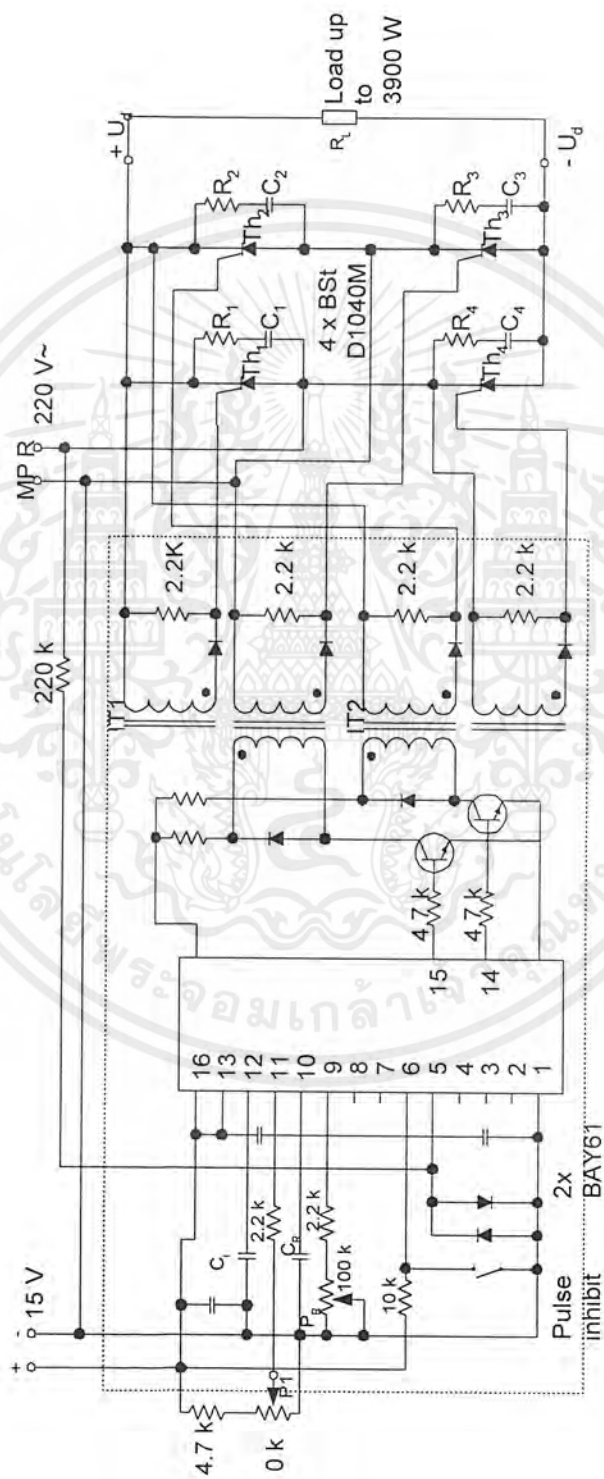
ขาสัญญาณ K และ G ของชุดจุดชนวนทั้ง 3 ชุด ดังรูปที่ 3.15 จะนำไปต่อกับแผงของชุดทดลองทางด้านหน้าซึ่งจะเป็นขา K และ G ของชุดจุดตามขาและจุดต่อที่ได้กำหนดไว้บนแผงทดลองและบน SLOT แต่ละชุดโดยจะต้องต่อขั้วให้ถูกต้องและตรงกันตามขาต่างๆที่กำหนดไว้

สำหรับการต่อสายกราวด์ของชุดจุดชนวนพัลส์แบบ 3 เฟส นั้นจะต้องนำสายกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า +15, -15 โวลต์ไปต่อกับสายนิวทรัลของแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสด้วย ซึ่งการต่อจะต่อไว้ภายในตัวชุดทดลองอยู่แล้ว



รูปที่ 3.15 การต่อวงจรภายในของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระแสต้นเกิดแบบ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 วงจรการทำงานของ ไอซี TCA 785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการออกแบบวงจรการทำงานของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ ดังรูปที่ 3.16 จะเห็นได้ว่าจะมีส่วนประกอบที่สำคัญในการทำงานของวงจรดังนี้

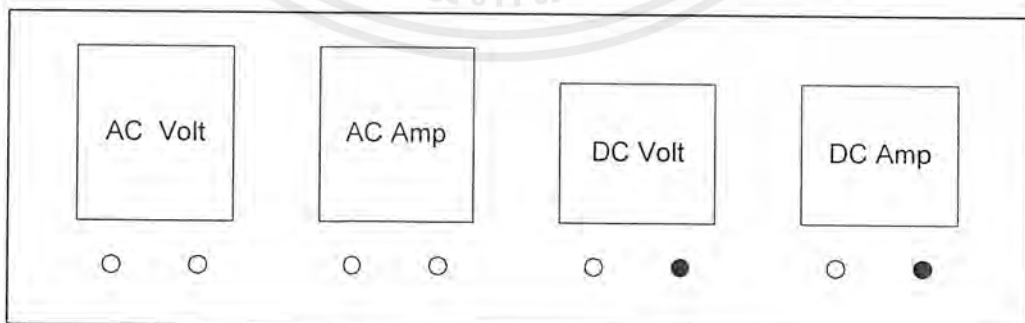
1. ตัวควบคุมการทำงานหลักของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ก็คือตัว ไอซี TCA 785 ซึ่งเป็นตัวไอซี สำเร็จรูปที่สามารถนำไปต่อใช้งานได้เลย สามารถที่จะสร้างสัญญาณพัลส์ในการกระตุ้นหรือควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไทรสเตอร์ได้เป็นอย่างดี โดยสัญญาณที่ได้ออกมาจะเป็นทั้งสัญญาณทางด้านบวก และสัญญาณทางด้านลบ ซึ่งรายละเอียดในการทำงานของตัวไอซีและข้อกำหนดต่างๆ ในการต่อวงจรได้กล่าวถึงไว้แล้วในบทที่ 2

2. ตัวทรานซิสเตอร์ ซึ่งตัวทรานซิสเตอร์ที่ใช้นี้จะเป็นเบอร์ BD139 จะต่ออยู่กับขา ที่ 14 และ 15 ของตัวไอซี TCA 785 โดยจะทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณที่ได้ออกมาจากตัวไอซี ให้มีสัญญาณที่เพียงพอต่อความต้องการแล้วจะส่งสัญญาณต่อไปยังหม้อแปลงพัลส์

3. หม้อแปลงพัลส์ โดยหม้อแปลงตัวนี้ทำหน้าที่ในการแยกส่วนของแรงดันสูงและแรงดันต่ำ จากอุปกรณ์ไทรสเตอร์ที่ต้องการจะควบคุมซึ่งจะเป็นส่วนของแรงดันสูง และส่วนของแรงดันต่ำซึ่งจะได้มาจากการทำงานของชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ และหม้อแปลงพัลส์นี้ก็จะทำหน้าที่ในการป้องกันในกรณีที่เกิดการลัดวงจรในขณะที่ทำงานอยู่ ซึ่งจะเป็นการป้องกันอันตรายต่อชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายได้

4. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ จะเป็นอุปกรณ์ที่เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของตัวไอซี TCA785 และยังทำหน้าที่ในการกำหนดสถานะการทำงานของตัวไอซี ซึ่งผู้ใช้สามารถที่จะกำหนดเองได้

3.5 การออกแบบ และการทำงานของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า



รูปที่ 3.17 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.17 เป็นภาพของเครื่องมือที่ใช้ประกอบการวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้าซึ่งจะประกอบไปด้วย

1. เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Volt) มีย่านในการวัดตั้งแต่ 0-300 โวลต์ Class 2.5 ในการต่อใช้งานสามารถที่จะนำสายไฟมาต่อใช้งานได้เลยโดยไม่ต้องพิจารณาถึงขั้วของเครื่องวัด
2. เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Amp) มีย่านในการวัดตั้งแต่ 0 – 5 แอมแปร์ Class 2.5 ในการต่อใช้งานสามารถที่จะนำสายไฟมาต่อใช้งานได้เลยโดยไม่ต้องพิจารณาถึงขั้วของเครื่องวัดเช่นเดียวกับเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
3. เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Volt) มีย่านในการวัดตั้งแต่ 0-100 โวลต์ Class 2.5 ในการต่อใช้งานจะต้องพิจารณาถึงขั้วของเครื่องวัดด้วยหากต่อผิดขั้วอาจเกิดความเสียหายต่อเครื่องวัดได้โดยจุดต่อสีแดงจะเป็นขั้วบวกและจุดต่อสีดำจะเป็นขั้วลบ
4. เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC Amp) มีย่านในการวัดตั้งแต่ 0 – 500 มิลลิแอมแปร์ Class 2.5 ในการต่อใช้งานจะต้องพิจารณาถึงขั้วของเครื่องวัดด้วยหากต่อผิดขั้วอาจเกิดความเสียหายต่อเครื่องวัดได้โดยจุดต่อสีแดงจะเป็นขั้วบวกและจุดต่อสีดำจะเป็นขั้วลบ

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

ชุดทดลองการควบคุมไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ออกแบบ และสร้างขึ้นสามารถที่จะใช้เป็นชุดทดลองในการเรียนการสอนของวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งรายละเอียดของใบงานจะเป็นการแสดงคุณสมบัติ และการนำอุปกรณ์ไทรสเตอร์ไปใช้ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้า และเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยสามารถที่จะควบคุมแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตได้ตามต้องการซึ่งในบทนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยจะทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ การต่อวงจรใช้งานตามรูปแบบต่างๆ โดยจะวัดรูปสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรต่างๆ ตามที่ใบงานการทดลองกำหนดไว้ ซึ่งจะมีการทดลองดังนี้

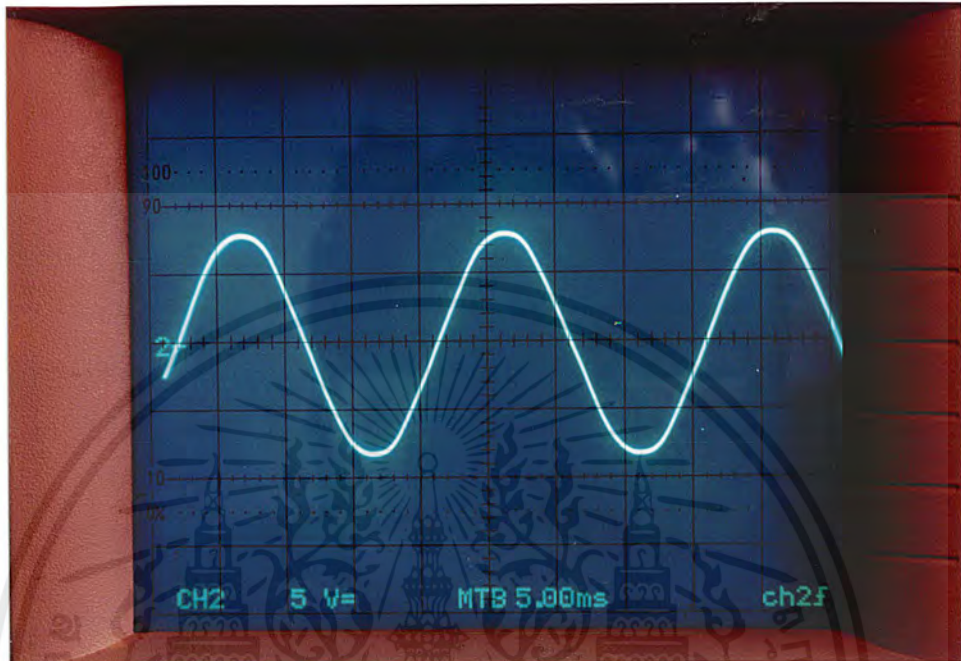
4.1 การทดลองการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

การทดลองการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับนี้เป็นการทดสอบวัดสัญญาณทางด้านเอาต์พุตที่จะนำไปต่อใช้งาน

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้ากับจุดต่อไฟฟ้า 3 เฟส
2. กดปุ่ม ON ที่อยู่ด้านหน้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า
3. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณที่ออกจากตัวของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

ผลการทดลองที่ได้จากการวัดสัญญาณจากออสซิลโลสโคปจะได้เป็นรูปคลื่นของสัญญาณไซน์ ซึ่งจะเป็นไปดังรูปที่ 4.1



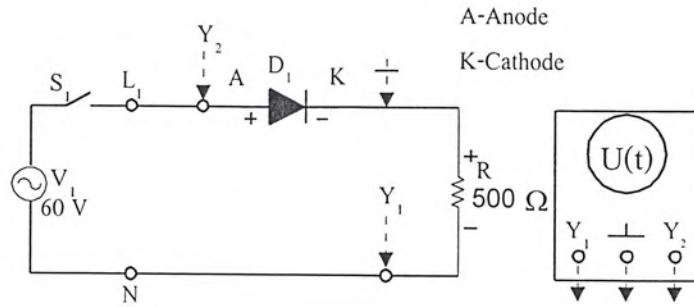
รูปที่ 4.1 สัญญาณรูปคลื่นไซน์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

4.2 การทดลองการทำงานของไอโอด

การทดลองการทำงานของไอโอดนี้จะเป็นการทดสอบสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมาจากการต่อวงจรการทำงานของไดโอด

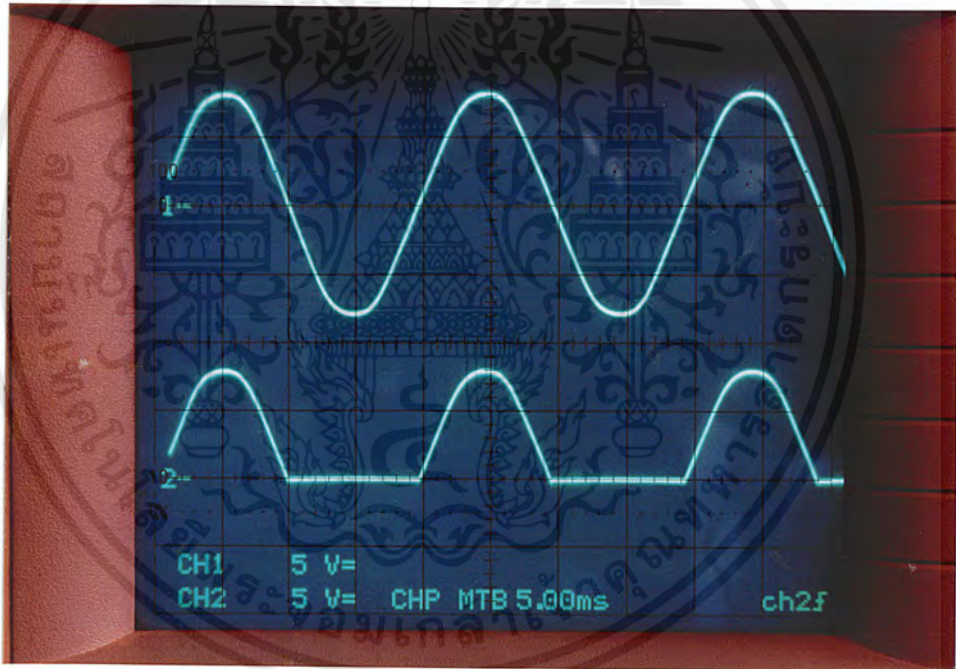
ลำดับขั้นตอนการทำงาน

1. ต่อวงจรการทำงานของไดโอดแบบ ครึ่งคลื่น
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เฟสเข้ากับวงจรของไดโอด
3. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการต่อวงจรการต่อวงจรทดลองการทำงานของไดโอดดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรการทำงานของไดโอด

สัญญาณที่ได้จากการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรการทำงานของไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

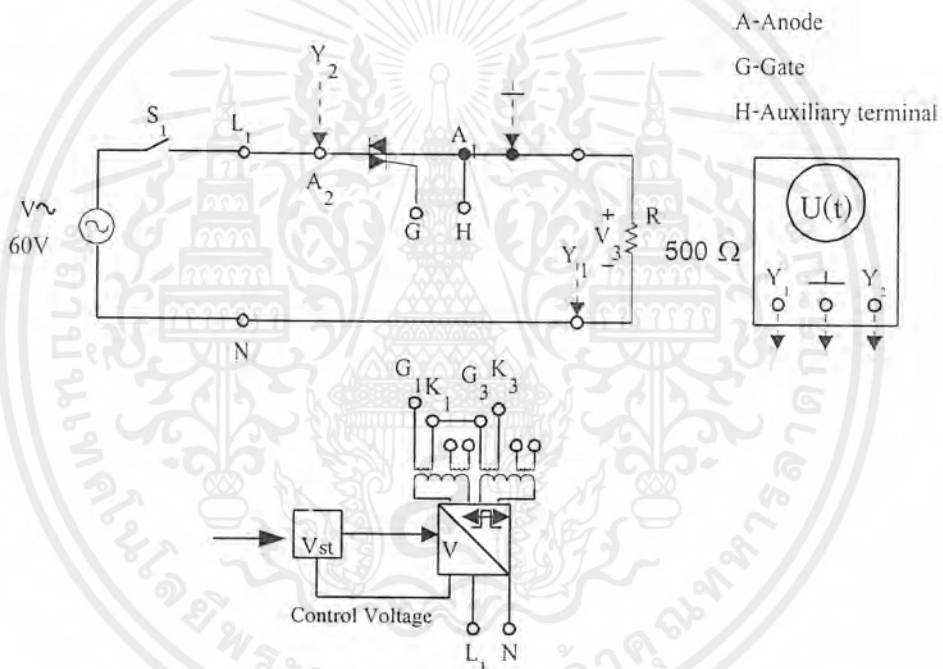
4.3 การทดลองการทำงานของไทรแอก

การทดลองการทำงานของไทรแอกนี้จะเป็นการทดสอบสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมาจากการต่อวงจรการทำงานของไทรแอก

ลำดับขั้นตอนการทำงาน

1. ต่อวงจรการทำงานของไทรแอก
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เฟสเข้ากับวงจรของไทรแอก
3. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการต่อวงจร

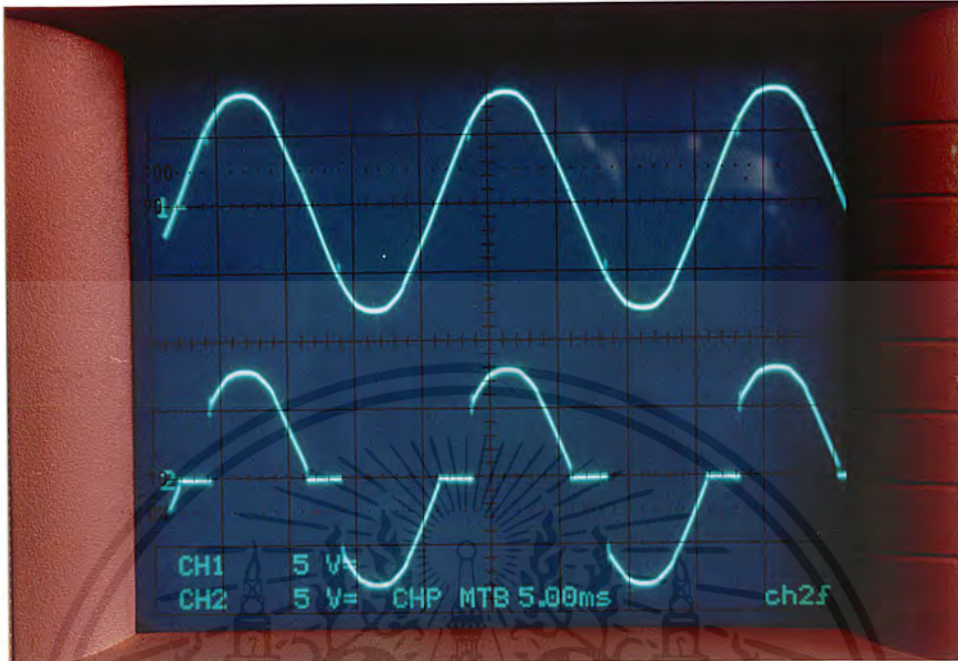
การต่อวงจรการทำงานของไทรแอกดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วงจรการทำงานของไทรแอก

สัญญาณที่ได้จากการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



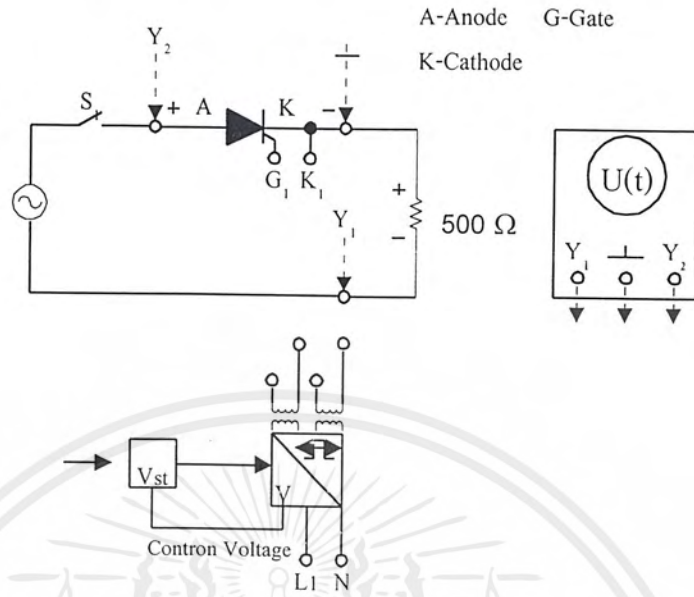
รูปที่ 4.5 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรการทำงานของไทรแอก

4.4 การทดลองการทำงานของเอสซีอาร์

การทดลองการทำงานของเอสซีอาร์นี้จะเป็นการทดสอบสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการต่อวงจรการทำงานของเอสซีอาร์

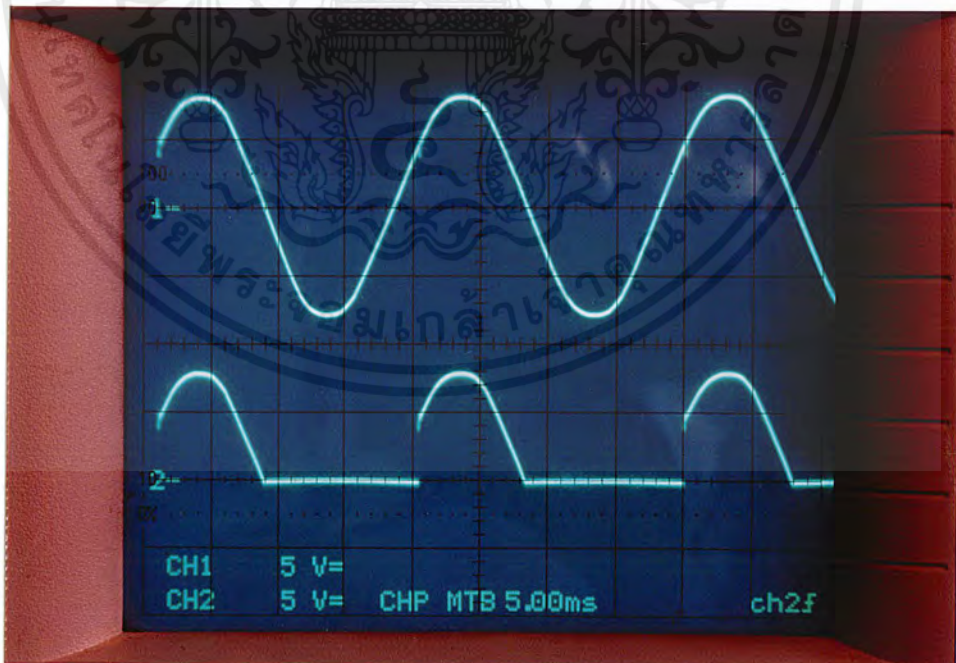
ลำดับขั้นตอนการทำงาน

1. ต่อวงจรการทำงานของเอสซีอาร์
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เฟสเข้ากับวงจรของเอสซีอาร์
3. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการต่อวงจรการทำงานของเอสซีอาร์ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 วงจรการทำงานของเอสซีอาร์

สัญญาณที่ได้จากการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรการทำงานของเอสซีอาร์

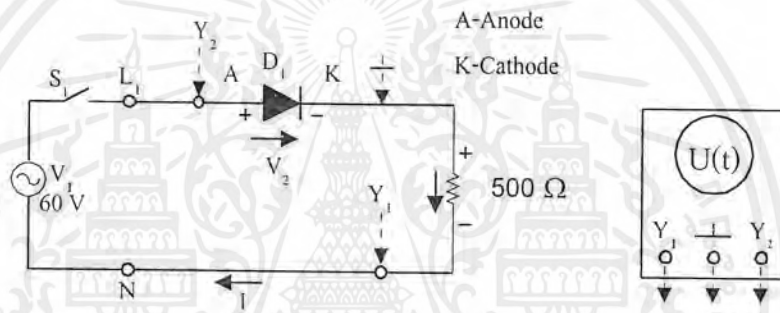
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นหนึ่งเฟส

การทดลองการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นหนึ่งเฟสจะเป็นการใช้ไอโอดมา ต่อเป็นวงจรแบบ ครึ่งคลื่น แล้วจะทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมาจากการต่อวงจร ลำดับขั้นตอนการทำงาน

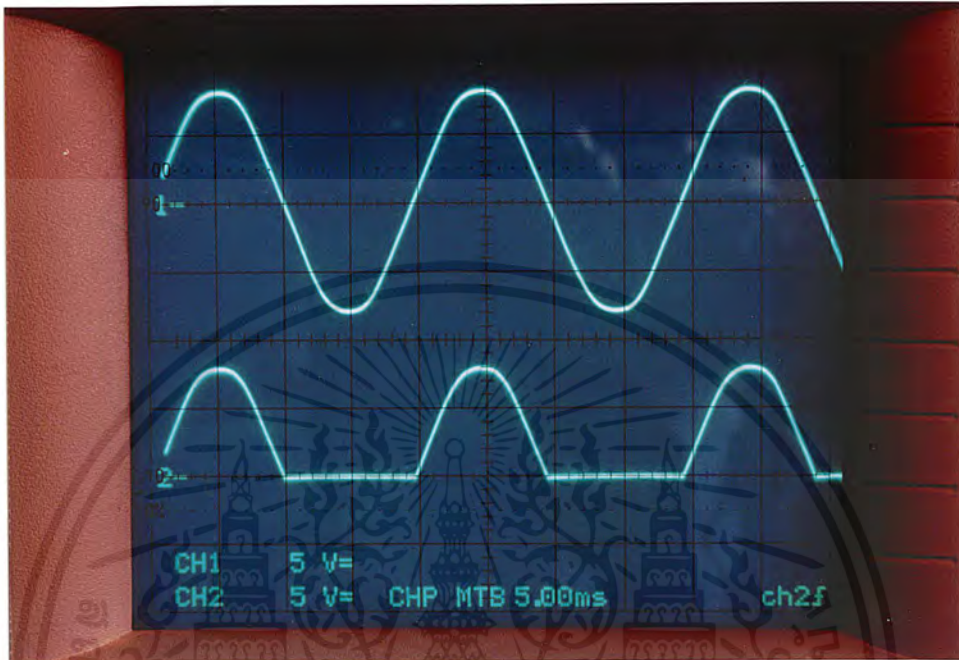
1. ต่อวงจรการทำงานของไดโอดแบบ ครึ่งคลื่น
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เฟสเข้ากับวงจร ครึ่งคลื่น
3. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการต่อวงจร

การต่อวงจรการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นหนึ่งเฟสดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นหนึ่งเฟส

สัญญาณที่ได้จากการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 4.9

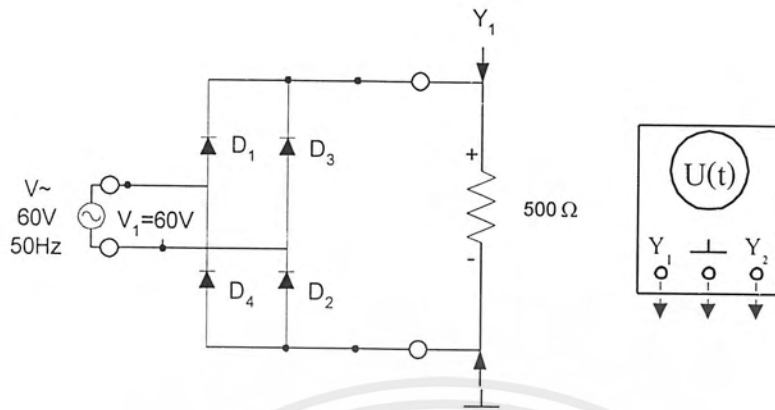


รูปที่ 4.9 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นหนึ่งเฟส

4.6 การทดลองวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์หนึ่งเฟส

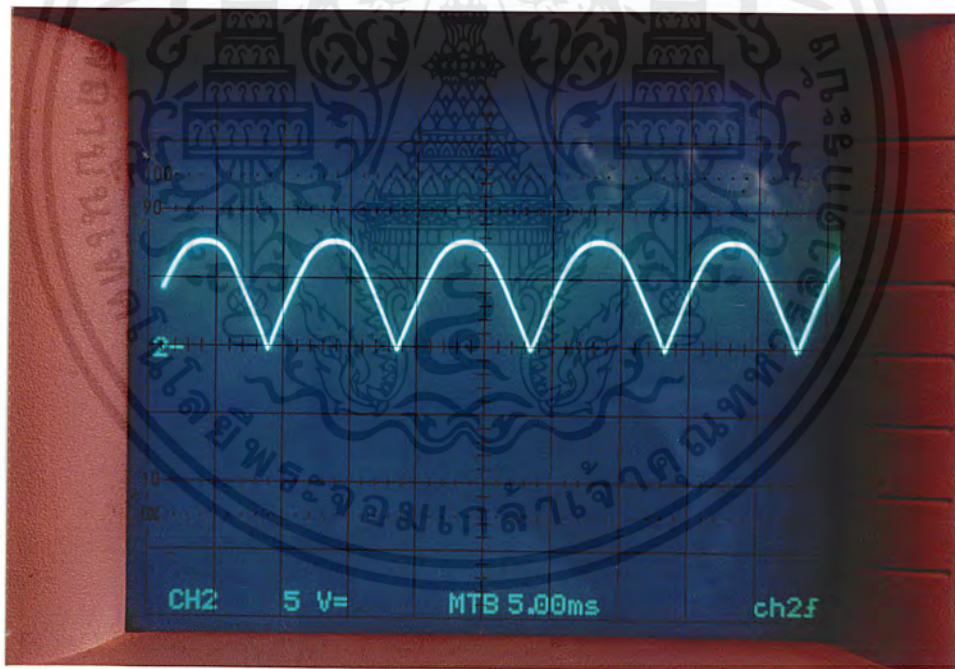
การทดลองการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์หนึ่งเฟสจะเป็นการใช้ไดโอดมาต่อเป็นวงจรแบบ เต็มคลื่น แล้วจะทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมาจากการต่อวงจร ลำดับขั้นตอนการทำงาน

1. ต่อวงจรการทำงานของไดโอดแบบเต็มคลื่น
 2. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เฟสเข้ากับวงจรเต็มคลื่น
 3. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการต่อวงจร
- การต่อวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์หนึ่งเฟสดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์หนึ่งเฟส

สัญญาณที่ได้จากการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์หนึ่งเฟส

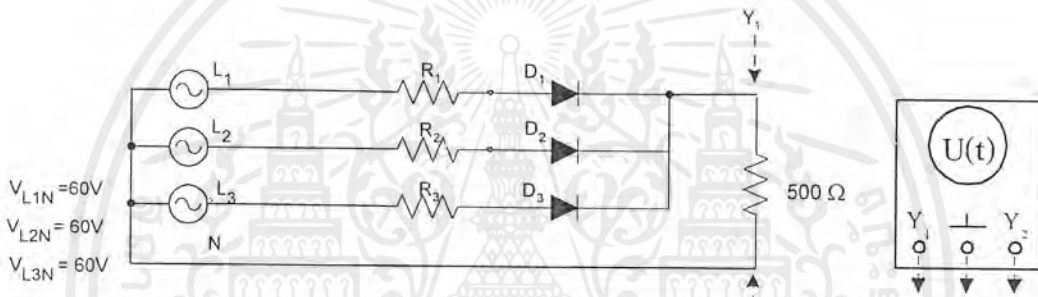
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดลองวงจรเรียงกระแสแบบสตาร์สามเฟส

การทดลองการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบสตาร์สามเฟสจะเป็นการใช้ไอโอดมาต่อเป็นวงจรแบบ ครึ่งคลื่น แล้วจะทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมาจากการต่อวงจรลำดับขั้นการทำงาน

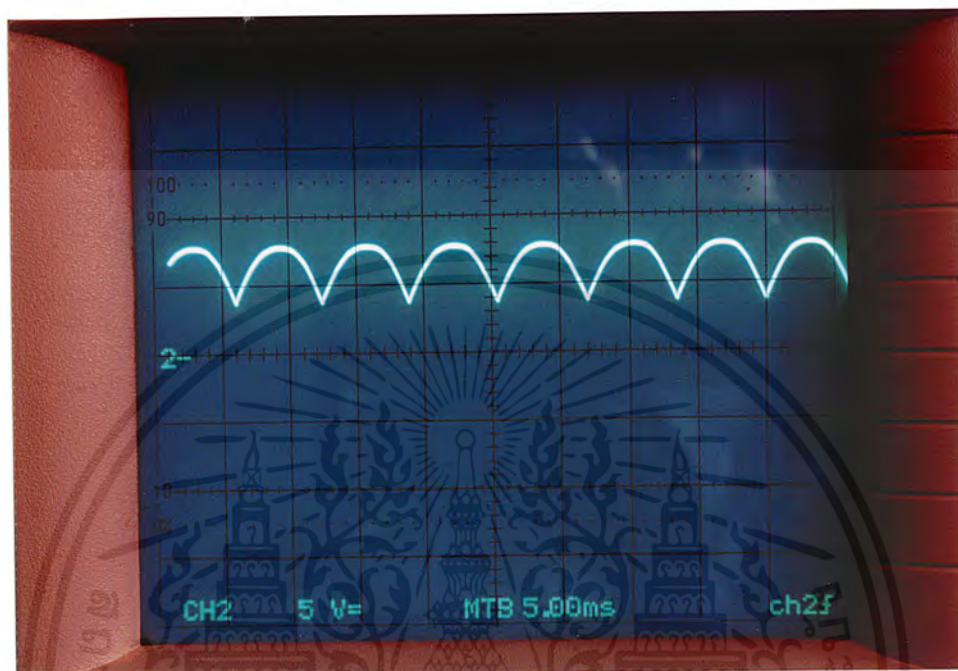
1. ต่อวงจรการทำงานของไดโอดแบบ ครึ่งคลื่น
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสเข้ากับวงจร ครึ่งคลื่น
3. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการต่อวงจร

การต่อวงจรการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบสตาร์สามเฟสดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 วงจรเรียงกระแสแบบสตาร์สามเฟส

สัญญาณที่ได้จากการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 4.13



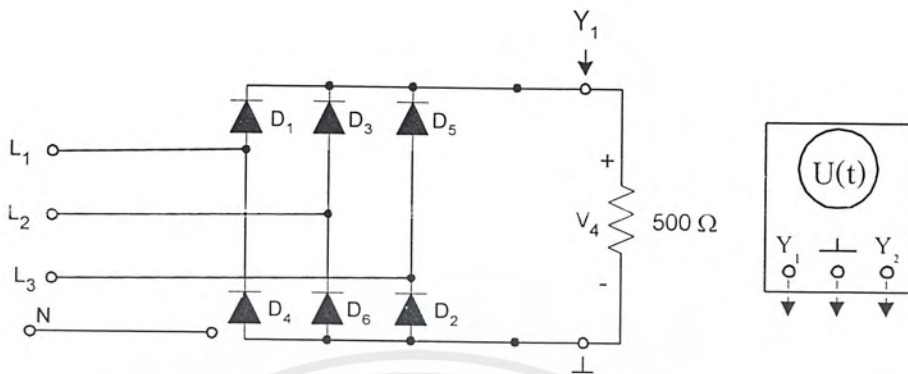
รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบสตาร์สามเฟส

4.8 การทดลองวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟส

การทดลองการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟสจะเป็นการใช้ไอโอดมาต่อเป็นวงจรแบบ เต็มคลื่น แล้วจะทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมาจากการต่อวงจรลำดับขั้นการทำงาน

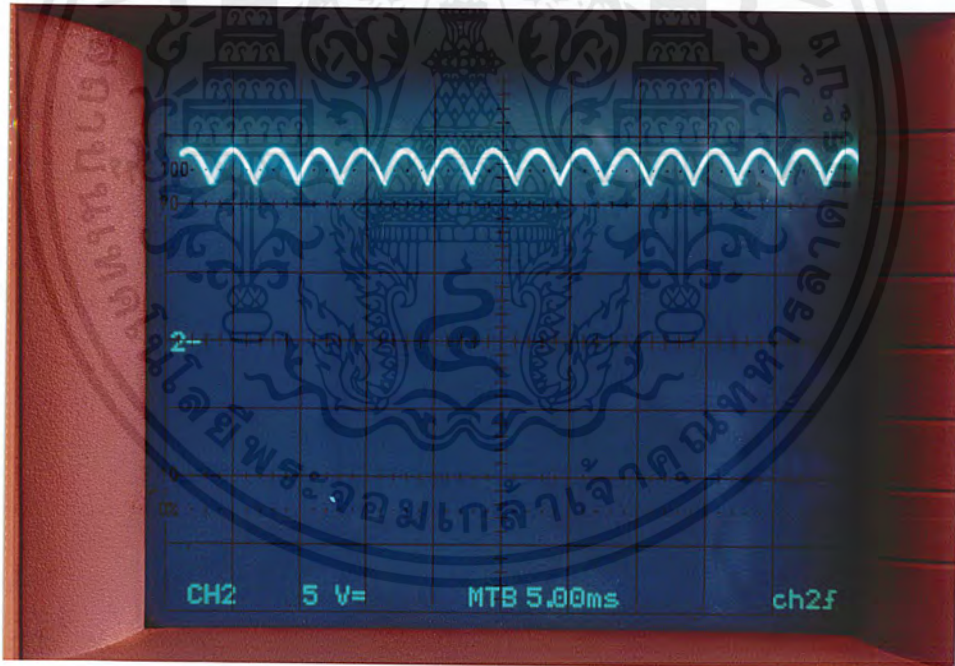
1. ต่อวงจรการทำงานของไดโอดแบบ เต็มคลื่น
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสเข้ากับวงจร เต็มคลื่น
3. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการต่อวงจร

การต่อวงจรการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟสดังรูปที่ 4.14



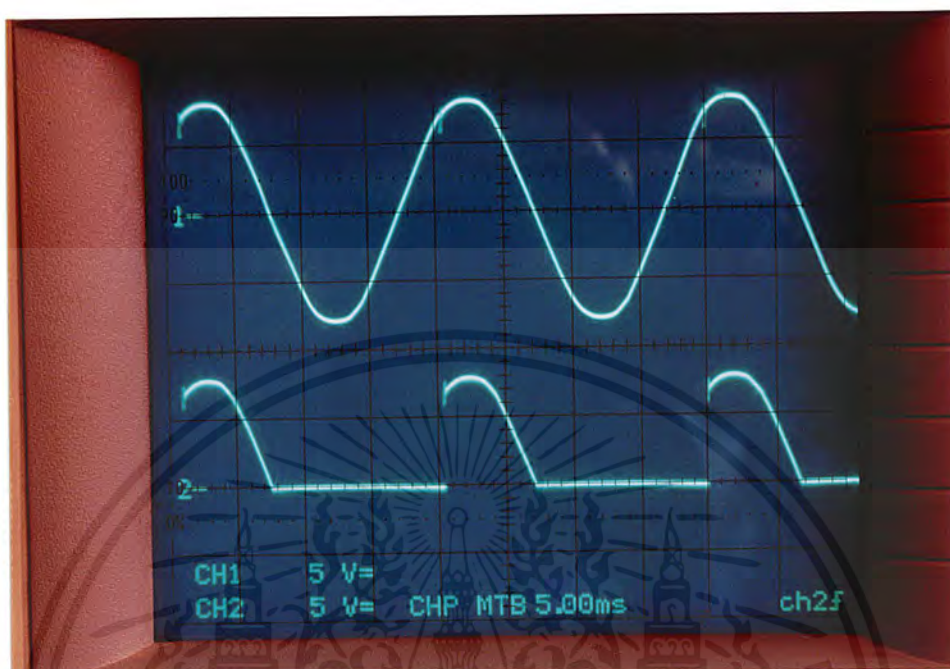
รูปที่ 4.14 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟส

สัญญาณที่ได้จากการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบครึ่งคลื่นหนึ่งเฟส

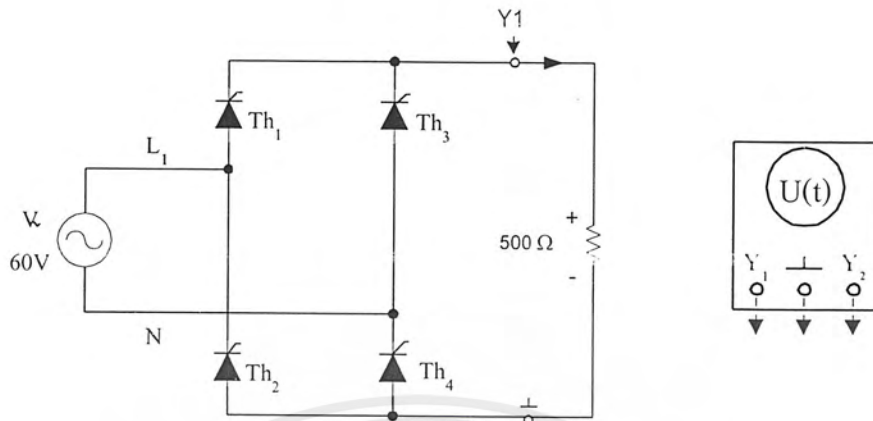
4.10 การทดลองวงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มทึ่แบบบริคจ์หนึ่งเฟส

การทดลองการทำงานของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มทึ่แบบบริคจ์หนึ่งเฟสจะเป็นการนำเอสซีอาร์ มาค่อเป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น แล้วจะทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมาจากวงจร

ลำดับขั้นตอนการทำงาน

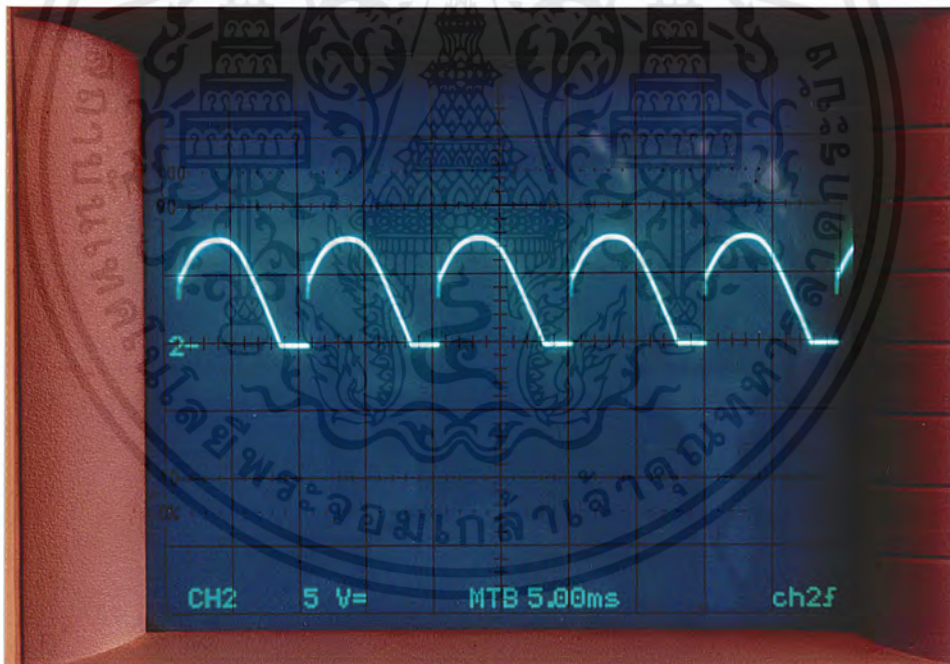
1. ค่อวงจรการทำงานของเอสซีอาร์ แบบ เต็มคลื่น
2. ค่อสัญญาณจุดชนวนจากชุดจุดชนวน 1 เฟสให้กับตัวเอสซีอาร์
3. ค่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เฟสเข้ากับวงจรเอสซีอาร์
4. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการค่อวงจร

การค่อวงจรการทำงานของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบบริคจ์หนึ่งเฟสดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบบริดจ์หนึ่งเฟส

สัญญาณที่ได้จากการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มทีแบบบริดจ์หนึ่งเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 การทดลองวงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครั้งเดียวแบบบริดจ์หนึ่งเฟส

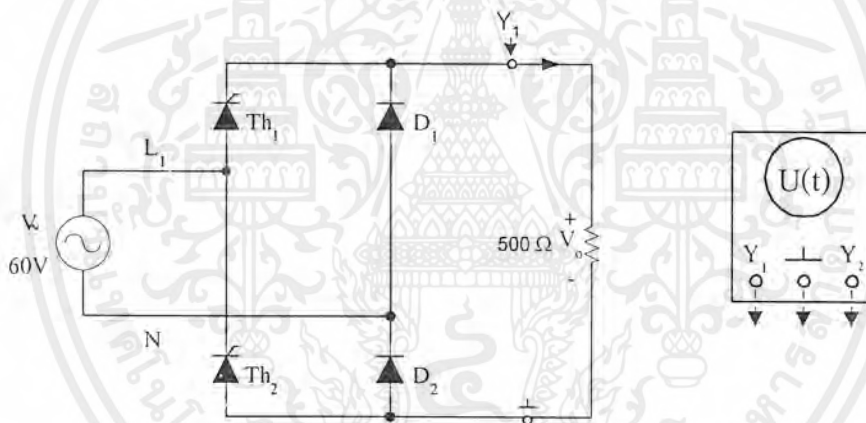
การทดลองการทำงานของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครั้งเดียวแบบบริดจ์หนึ่งเฟสจะเป็นการนำไดโอดและเอสซีอาร์ มาต่อเป็นวงจรเรียงกระแสร่วมกันแล้วจะทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ ออกมาจากวงจร

ลำดับขั้นตอนการทำงาน

1. ต่อวงจรการทำงานของไดโอด และเอสซีอาร์
2. ต่อสัญญาณจุดชนวนจากชุดจุดชนวน 1 เฟสให้กับตัวเอสซีอาร์
3. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เฟสเข้ากับวงจร
4. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการต่อวงจร

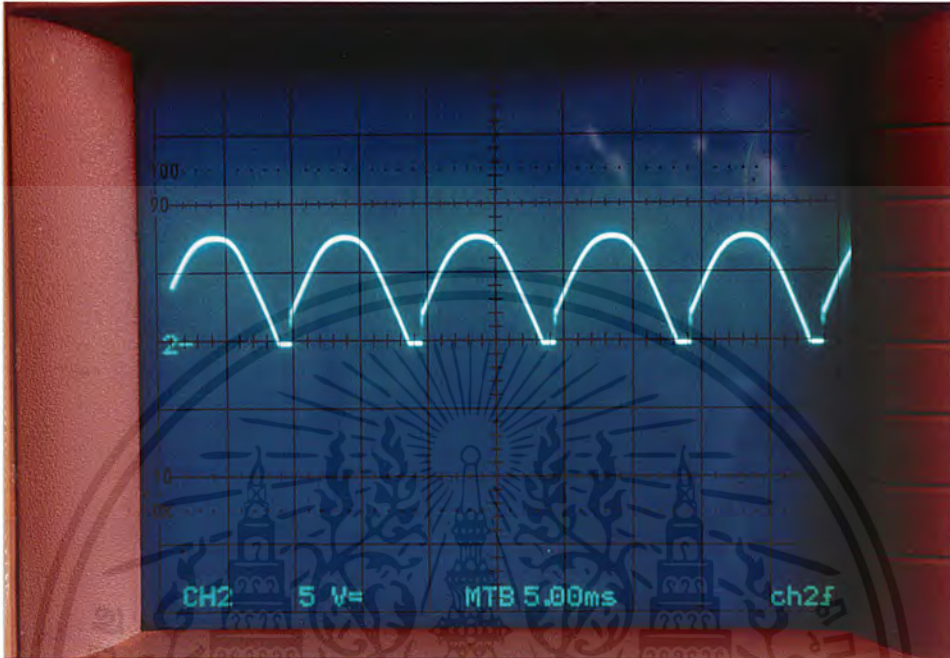
การต่อวงจรการทำงานของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครั้งเดียวแบบบริดจ์หนึ่งเฟส ดังรูป

ที่ 4.20



รูปที่ 4.20 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครั้งเดียวแบบบริดจ์หนึ่งเฟส

สัญญาณที่ได้จากการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครึ่งเดียวแบบบริดจ์หนึ่งเฟส

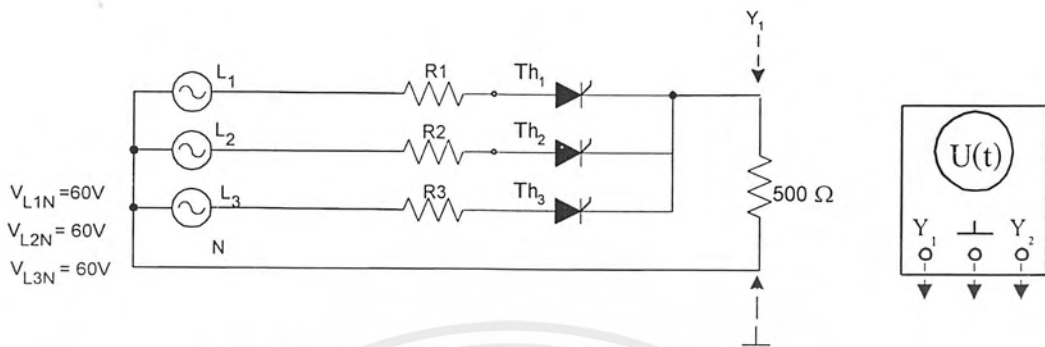
4.12 การทดลองวงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบสตาร์สามเฟส

การทดลองการทำงานของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบสตาร์สามเฟสจะเป็นการนำเอสซีอาร์ มาต่อเป็นวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น แล้วจะทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมาจากวงจร

ลำดับขั้นตอนการทำงาน

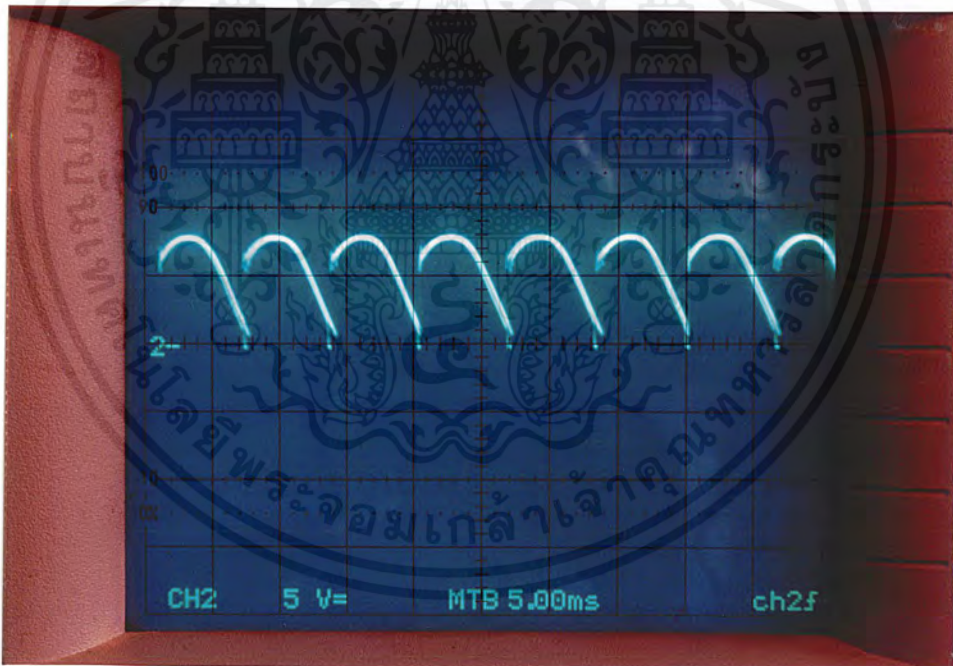
1. ต่อวงจรการทำงานของเอสซีอาร์ แบบ ครึ่งคลื่น
2. ต่อสัญญาณจุดชนวนจากชุดจุดชนวน 3 เฟสให้กับตัวเอสซีอาร์
3. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสเข้ากับวงจรเอสซีอาร์
4. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการต่อวงจร

การต่อวงจรการทำงานของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบสตาร์สามเฟส ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบสตาร์สามเฟส

สัญญาณที่ได้จากการทดลองจะเป็น ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบสตาร์สามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.13 การทดลองวงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มที่แบบบริดจ์สามเฟส

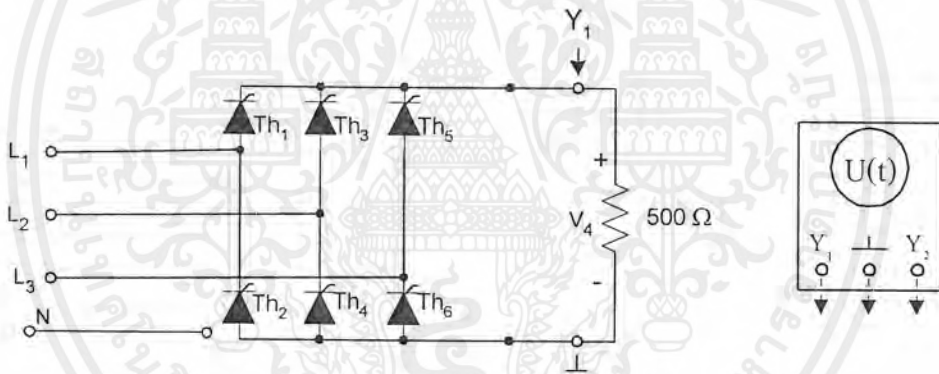
การทดลองการทำงานของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มที่แบบบริดจ์สามเฟสจะเป็นการนำเอสซีอาร์ มาต่อเป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น แล้วจะทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมาจากวงจร

ลำดับขั้นตอนการทำงาน

1. ต่อวงจรการทำงานของเอสซีอาร์แบบ เต็มคลื่น
2. ต่อสัญญาณจุดชนวนจากชุดจุดชนวน 3 เฟสให้กับตัวเอสซีอาร์
3. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสเข้ากับวงจรเอสซีอาร์
4. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการต่อวงจร

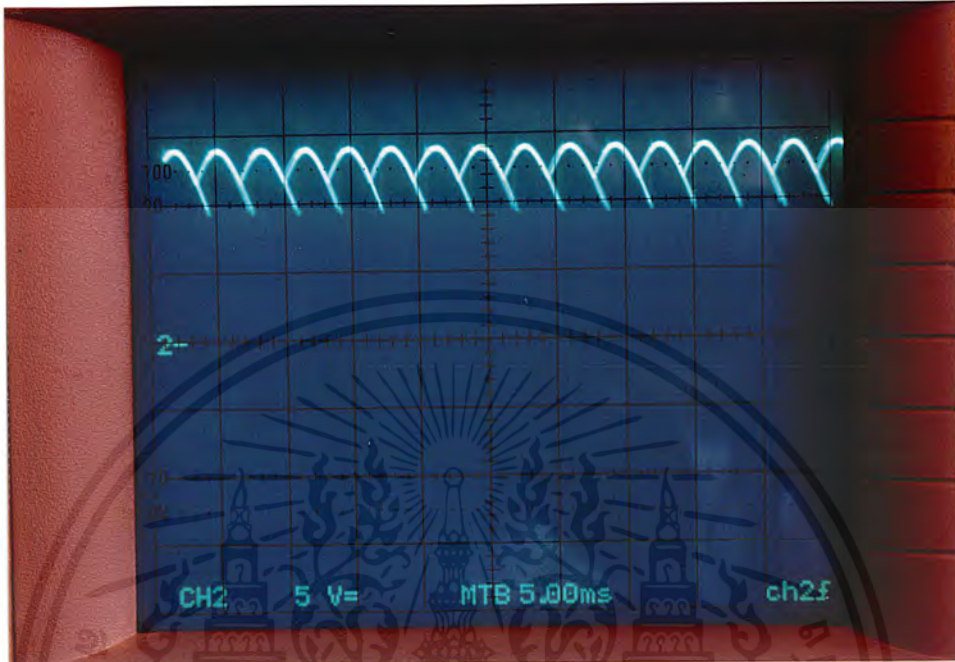
การต่อวงจรการทำงานของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มที่แบบบริดจ์สามเฟส ดังรูปที่

4.24



รูปที่ 4.24 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มที่แบบบริดจ์สามเฟส

สัญญาณที่ได้จากการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มรูปแบบบริดจ์สามเฟส

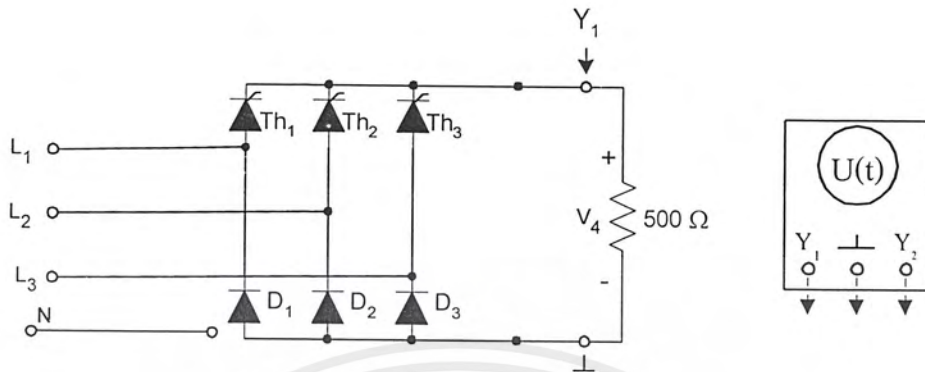
4.14 การทดลองวงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครั้งเดียวแบบบริดจ์สามเฟส

การทดลองการทำงานของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครั้งเดียวแบบบริดจ์สามเฟสจะเป็นการนำไดโอดและเอสซีอาร์ มาต่อเป็นวงจรเรียงกระแสร่วมกันแล้วจะทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมาจากวงจร

ลำดับขั้นตอนการทำงาน

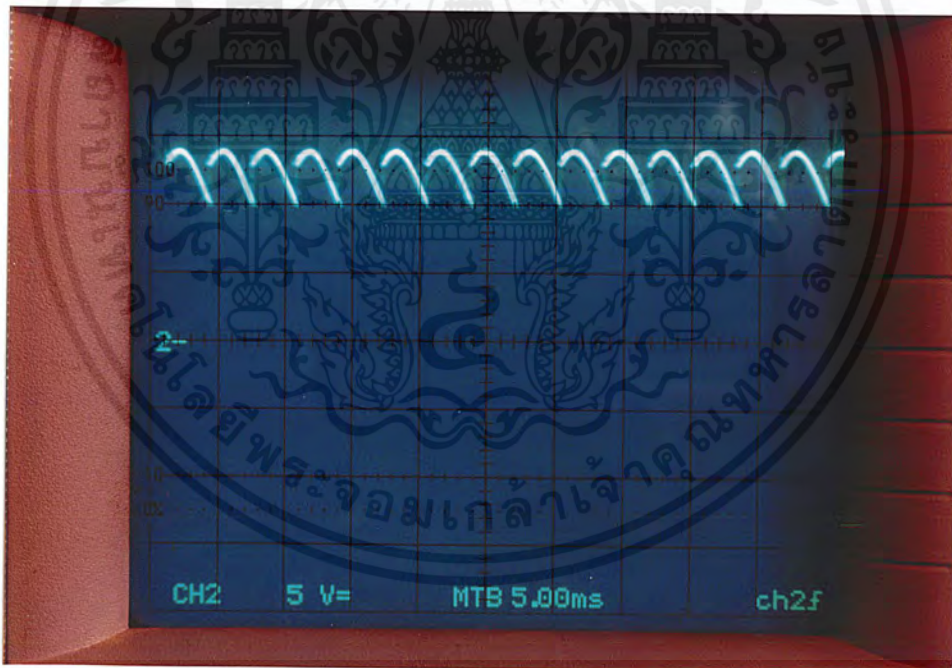
1. ต่อวงจรการทำงานของไดโอด และเอสซีอาร์
 2. ต่อสัญญาณจุดชนวนจากชุดจุดชนวน 3 เฟสให้กับตัวเอสซีอาร์
 3. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสเข้ากับวงจร
 4. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการต่อวงจร
- การต่อวงจรการทำงานของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครั้งเดียวแบบบริดจ์สามเฟส ดังรูป

ที่ 4.26



รูปที่ 4.26 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครั้งเดียวแบบบริดจ์สามเฟส

สัญญาณที่ได้จากการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้ครั้งเดียวแบบบริดจ์สามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.15 การทดลองวงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบบริดจ์หนึ่งเฟสกับโหลด

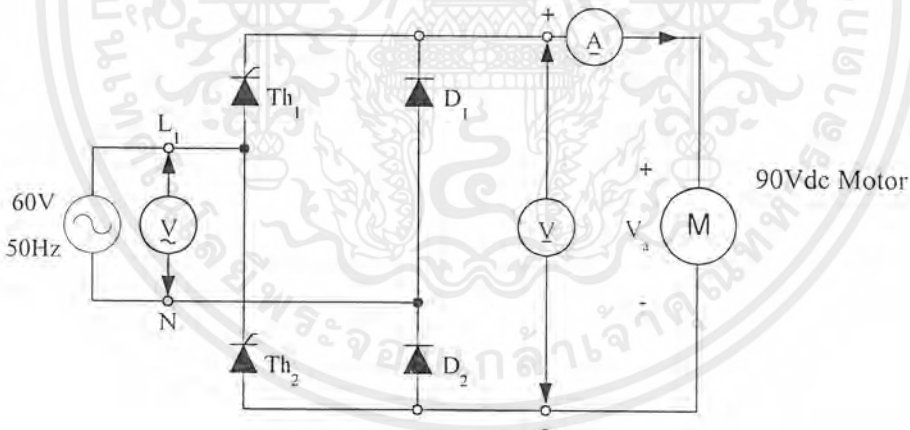
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การทดลองการทำงานของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบบริดจ์หนึ่งเฟสกับโหลดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นการนำ เอสซีอาร์ มาต่อเป็นวงจรเรียงกระแสแบบ เต็มคลื่น แล้วจะทำการเปลี่ยนโหลดจากตัวความต้านทานมาเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำให้เห็นผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้อย่างชัดเจน

ลำดับขั้นการทำงาน

1. ต่อวงจรการทำงานของเอสซีอาร์ แบบ เต็มคลื่น
2. ต่อสัญญาณจุดชนวนจากชุดจุดชนวน 1 เฟสให้กับตัวเอสซีอาร์
3. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เฟสเข้ากับวงจรเอสซีอาร์
4. บันทึกผลที่ได้จากการทดลองลงจะบันทึกลงในตารางที่ 4.1

การต่อวงจรการทำงานของวงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบบริดจ์หนึ่งเฟสกับโหลดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้เต็มทีแบบบริดจ์หนึ่งเฟสกับโหลดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง เรืองวงจรเรียงกระแสแบบควบคุมได้แบบบริดจ์หนึ่งเฟสกับ โหลดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มุมจุดชนวน (α)	แรงดันแหล่งจ่าย V_{L-N} (V)	แรงดันคร่อม อาร์เมเจอร์ V_o (V)	กระแส อาร์เมเจอร์ I_a (mA)	ความเร็วรอบ n (rpm)
0	60	50.5	0.55	933
30	60	40.5	0.5	775
60	60	32.5	0.5	541
90	60	23.5	0.4	383
120	60	11	0.35	160
150	60	2.6	0.3	0
180	60	0	0	0

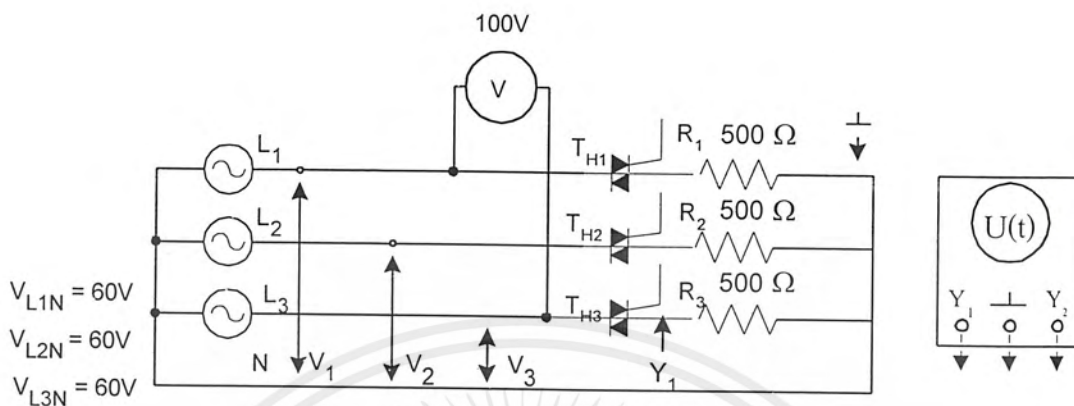
4.16 การทดลองวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสแบบควบคุมเฟส

การทดลองการทำงานของวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสแบบควบคุมเฟสเป็นการนำไทรแอกมาต่อเป็นวงจรเพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทั้งสามเฟส แล้วจะทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมาจากวงจร

ลำดับขั้นตอนการทำงาน

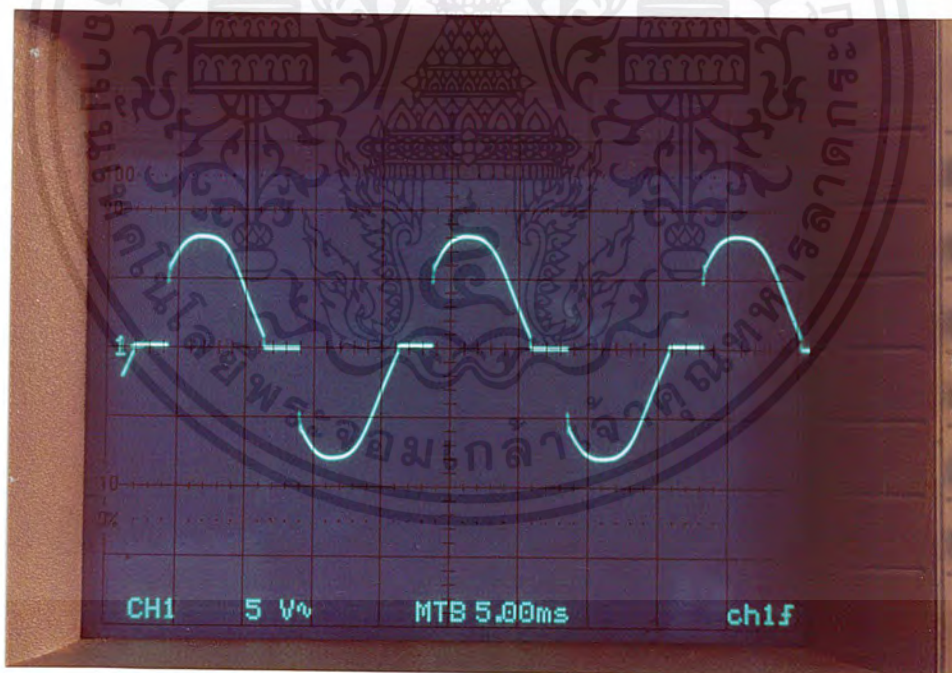
1. ต่อวงจรการทำงานของไทรแอก
2. ต่อสัญญาณจุดชนวนจากชุดจุดชนวน 3 เฟสให้กับตัวไทรแอก
3. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสเข้ากับวงจร
4. นำออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการต่อวงจร

การต่อวงจรการทำงานของวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสแบบควบคุมเฟสดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสแบบควบคุมเฟส

สัญญาณที่ได้จากการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับแบบควบคุมเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา

5.1 บทสรุป

การจัดทำชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง จะเน้นในเรื่องการแปรผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถควบคุมแรงดันที่จะนำไปใช้งานได้ ทั้งกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส ซึ่งถือเป็นชุดทดลองที่สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลังและอุตสาหกรรม ของภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์วิศวกรรม ในการจัดทำชุดทดลองนี้มีขอบเขตเพื่อสร้างชุดทดลอง 1 ชุด พร้อมกับมีใบงานประกอบชุดทดลอง 1 ชุดซึ่งจะมีความสอดคล้องกับชุดทดลองที่ได้สร้างขึ้น โดยมีแผนการดำเนินงานรวม 5 เดือน เริ่มจากการกำหนดเนื้อหาเพื่อกำหนดขอบเขตของหัวข้อเรื่องและวัตถุประสงค์ซึ่งจะพิจารณาตามหลักสูตรของภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์วิศวกรรม และออกแบบส่วนประกอบต่างๆ และจัดสร้างชุดทดลอง ซึ่งแต่ละส่วนจะประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 เฟส และไฟฟ้า 3 เฟส, เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า, ชุดกำเนิดพัลส์จูดชนวนโดยแยกเป็นระบบไฟฟ้า 1 เฟส และระบบไฟฟ้า 3 เฟส ภาระทางไฟฟ้า ซึ่งจะประกอบไปด้วย ตัวความต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และหลอดไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วจากนั้นจึงได้จัดทำใบงานการทดลองทั้งหมด 13 ใบงาน เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและทดลอง

จากการทดสอบการทำงานส่วนต่างๆ และผลการทดลองวงจรต่างๆ ตามใบงานที่ใช้ประกอบกับชุดทดลองนี้ ผลที่ได้พบว่าสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและสัญญาณต่างๆ ที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริง เหมาะที่จะนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลังและอุตสาหกรรม หรือวิชาอื่นๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกันกับชุดทดลองนี้

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

1. สามารถเข้าใจหลักการทำงานของการทำงานควบคุมไฟฟ้าด้วยไดโอด ไตรแอกและเอสซีอาร์
2. สามารถเข้าใจการทำงานของวงจรต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมไฟฟ้าทั้งระบบไฟฟ้า 1 เฟสและไฟฟ้า 3 เฟส
3. นำหลักการทางทฤษฎีการสร้าง, ออกแบบ, ทดลอง, และผลการทดลอง ไปประยุกต์ใช้สร้างเป็นชุดฝึกและใบงานการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สามารถนำผลที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับหลักการทางทฤษฎีได้

5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ในการจัดสร้างชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลังนี้ สามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นได้ ดังนี้

ปัญหา

1. น้ำหนักของหม้อแปลงมีน้ำหนักมาก ซึ่งเกิดจากพิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงที่ใช้ ทำให้เกิดความลำบากต่อการเคลื่อนย้าย และส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ไม่ได้้อยู่ภายในชุดเดียวกับชุดทดลอง ซึ่งแยกเอาไว้ต่างหาก ทำให้เกิดความยุ่งยากในการต่อใช้งาน
2. ตัวของชุดทดลองมีขนาดใหญ่ และน้ำหนักมากพอสมควรทำให้เกิดความลำบากต่อการเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษา
3. โหลดที่เป็นตัวต้านทาน เมื่อใช้งานร่วมกับวงจรทดลองต่าง ๆ เป็นระยะเวลานานๆ จะเกิดความร้อนสะสมมากขึ้น
4. ในการทดลองผู้เรียนจะต้องคาดคะเนมุมจุดชนวนของชุดจุดชนวนพัลส์เองซึ่งจะเป็นผลทำให้การทดลองเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้
5. ในส่วนของเครื่องวัดทางไฟฟ้าบางตัวจะมีย่านในการวัดที่สูง เช่น AC Volt และ AC amp เนื่องจากเครื่องวัดดังกล่าวไม่สามารถที่จะจัดหาให้มีย่านในการวัดที่เหมาะสมได้มากกว่านี้ซึ่งอาจจะมีผลทำให้การอ่านค่าที่ได้จากการวัดเกิดความผิดพลาดขึ้นได้

แนวทางแก้ไข

1. ควรศึกษาจากคู่มือประกอบชุดทดลองให้เข้าใจถึง การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้ากับตัวชุดทดลองให้เข้าใจดีเสียก่อนที่จะใช้งานและควรใช้ความระมัดระวังในการเคลื่อนย้ายเพื่อความปลอดภัยของแหล่งจ่ายไฟฟ้า
2. ควรใช้ความระมัดระวังในการเคลื่อนย้ายเพื่อความปลอดภัยของตัวชุดทดลอง
3. ในการทดลองแต่ละครั้งไม่ควรต่อวงจรและจ่ายไฟค้างไว้ควรจะต้องปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยทุกครั้งเมื่อหยุดการทดลอง และถ้าหากมีการแก้ไขตัวของชุดทดลองควรเพิ่มขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าของตัวต้านทานให้สูงขึ้นเพื่อเป็นการลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากการทดลอง และเพิ่มพิกัดกำลังไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำให้สูงขึ้นด้วยเช่นกัน เพื่อที่จะทำให้สัญญาณชัดเจนและถูกต้องมากยิ่งขึ้น
4. ในการทดลองตามใบงานการทดลองจะใช้แรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงมาเปรียบเทียบกับมุมนำกระแสของชุดจุดชนวน เพื่อให้ผลที่ได้มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีมากที่สุด
5. ในการทดลองวงจรที่มีแรงดันทางด้านเอาต์พุตที่ต่ำอาจจะแก้ไขได้โดยการใช้คิตจิสตอลมิเตอร์มาทำการวัดค่าที่ต้องการได้เพื่อความเที่ยงตรงของค่าที่ได้จากการวัดมากขึ้น แต่สำหรับวงจรเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีแรงดันทางด้านเอาต์พุตสูงพอก็อาจจะอ่านค่าที่ได้จากการวัดจากมิเตอร์ที่ติดตั้งอยู่กับตัวของชุดทดลองได้

5.4 แนวทางการพัฒนาโครงการงาน

1. ในส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้าและตัวของชุดทดลองจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากพอสมควรซึ่งควรที่จะลดน้ำหนักของหม้อแปลงไฟฟ้าลงบ้าง โดยการลดขนาดของฟลักต์กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงและลดขนาดของตัวชุดทดลองให้มีขนาดเล็กลงบ้างเพื่อที่จะได้สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษา

2. ควรเพิ่มขนาดฟลักต์กำลังไฟฟ้าของโหลดให้สูงมากขึ้นเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้มากขึ้นในการต่อวงจรทดลอง เนื่องจากโหลดจะมีความร้อนสะสมขึ้นเรื่อยเมื่อต่อวงจรค้างไว้เป็นเวลานานและโหลดที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงควรที่จะเปลี่ยนให้มีฟลักต์กำลังไฟฟ้าที่สูงมากกว่าในตัวชุดทดลองเพื่อที่จะได้สามารถนำไปใช้กับวงจรเรียงกระแสแบบ 3 เฟสได้

3. ควรสร้างอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมุมจุดชนวนของชุดจุดชนวนเพื่อความเที่ยงตรงในการวัดและความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นจากการทดลองได้

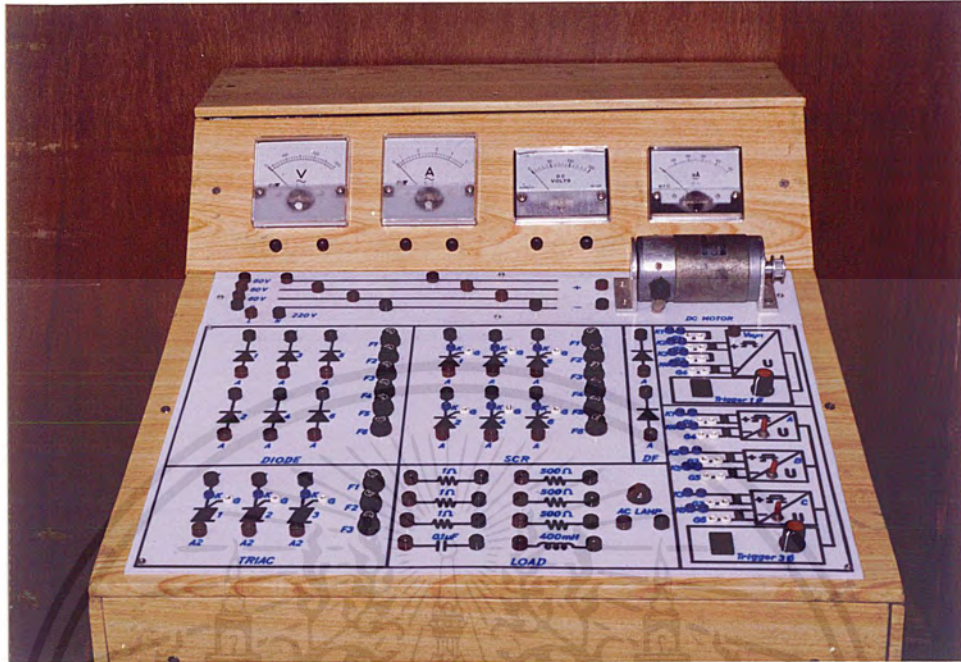
4. เครื่องมือวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้าบางตัวจะมีย่านในการวัดที่สูงทำให้การอ่านค่าที่ได้จากการวัดเกิดความคลาดเคลื่อนไปควรที่จะทำการเปลี่ยนย่านของเครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับค่าที่ต้องการจะวัดหรือเพื่อความเที่ยงตรงของการวัดที่แน่นอนควรจะเปลี่ยนเครื่องมือวัดแบบอนาล็อกไปใช้เครื่องมือวัดแบบดิจิทัล



ภาคผนวก ก

เครื่องต้นแบบชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

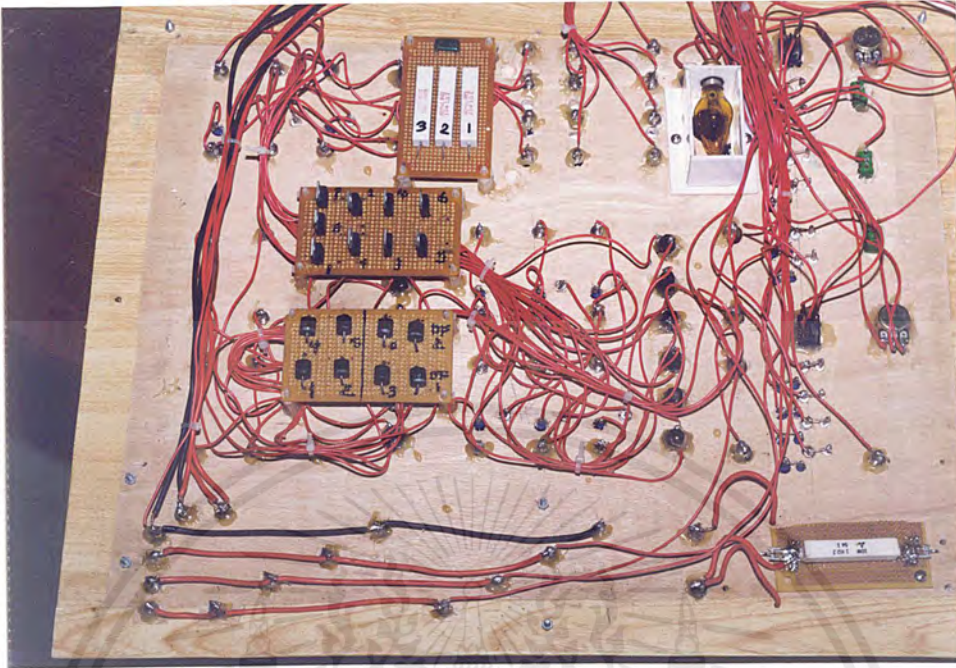


รูปที่ ก.1 ชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

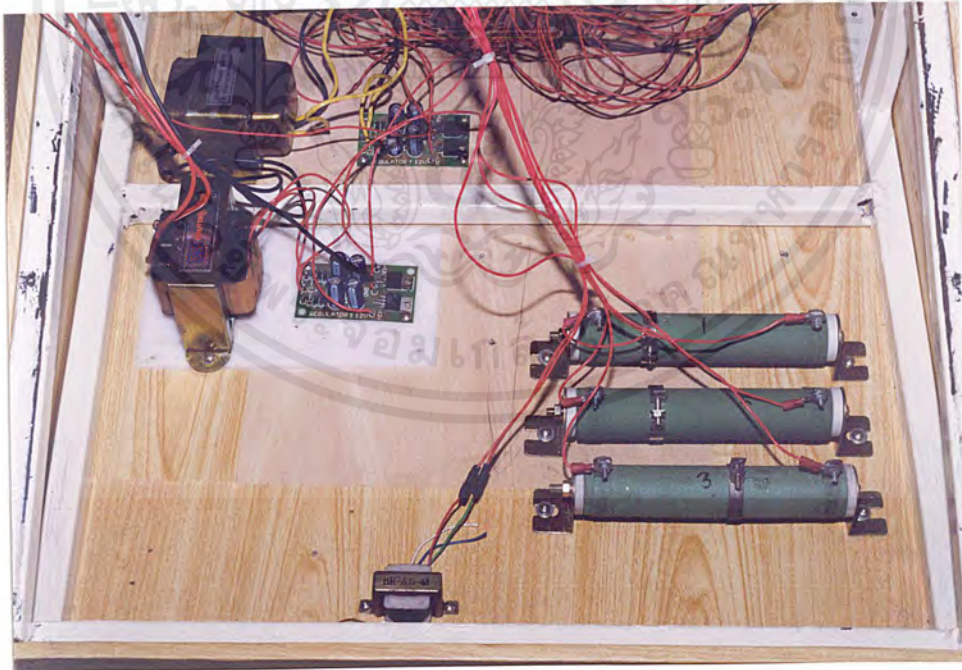


รูปที่ ก.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

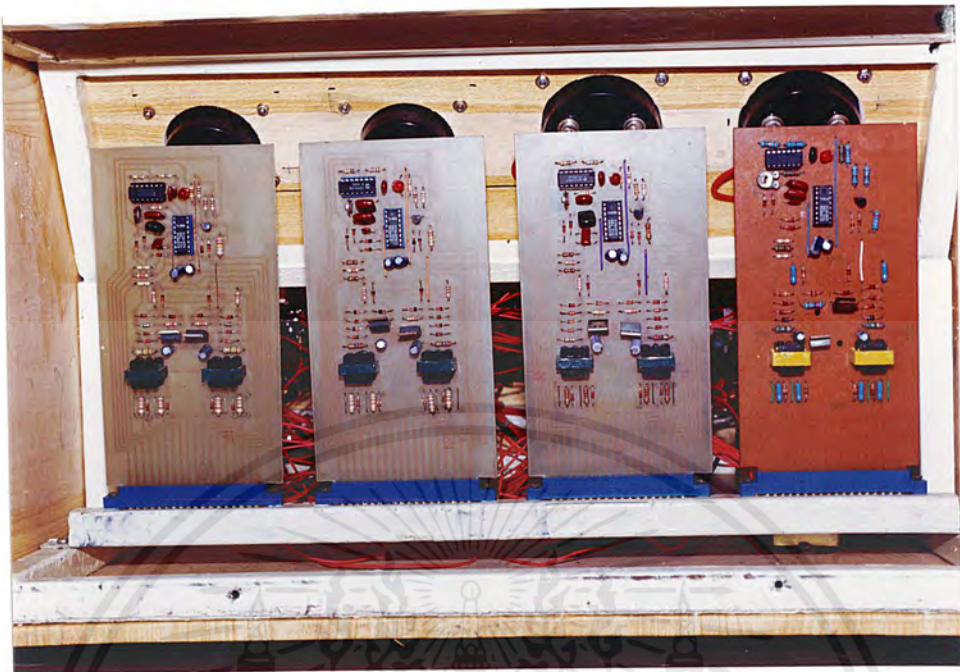


รูปที่ ก.3 การต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในตัวชุดทดลอง



รูปที่ ก.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้า 12 โวลต์ และ โหลดทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

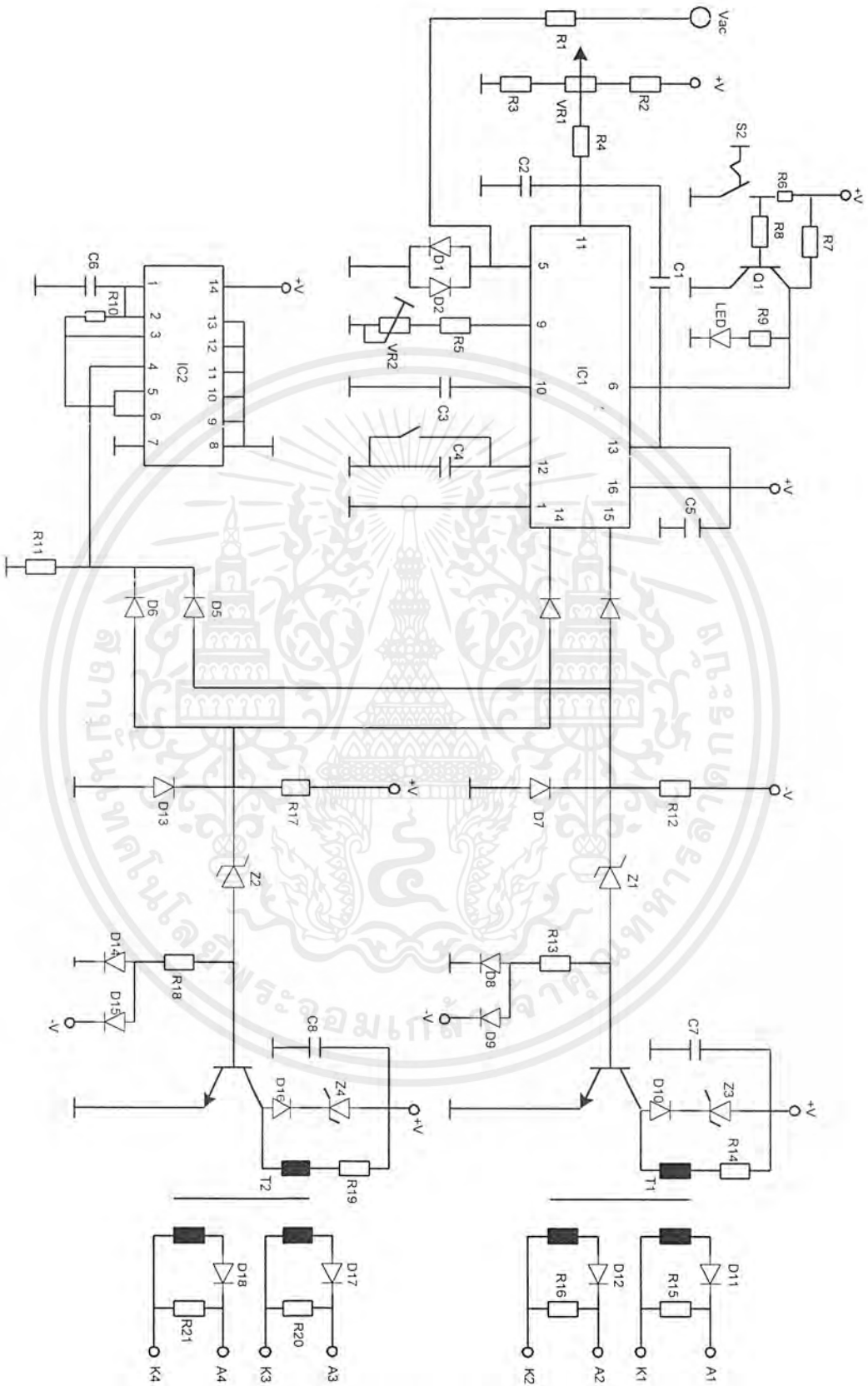


รูปที่ ก.5 ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นขาเกตของไทรสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

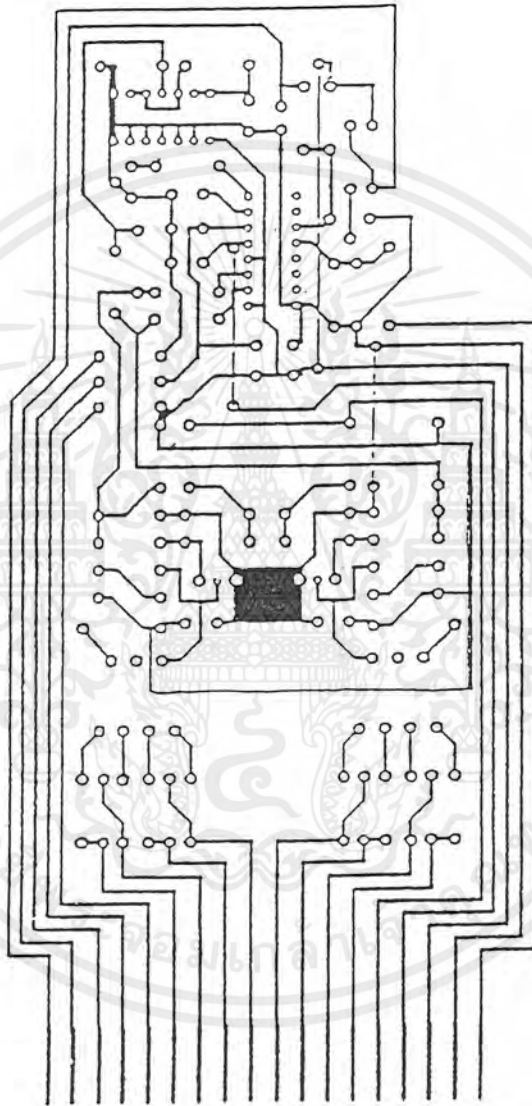


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



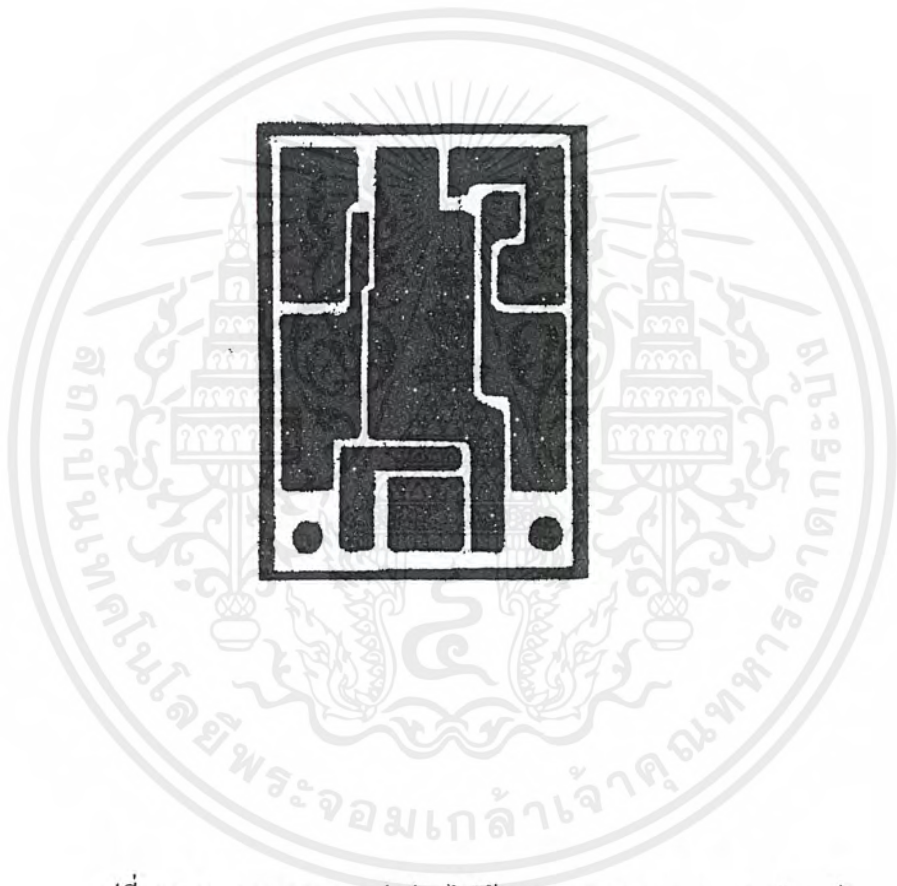
รูปที่ ข.1 วงจรชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นเกิดของไทรสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 ตายวงจรชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นเกตของไทรริสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 ลายวงจรของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 - 0 - 12 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

รายการข้อมูล และคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

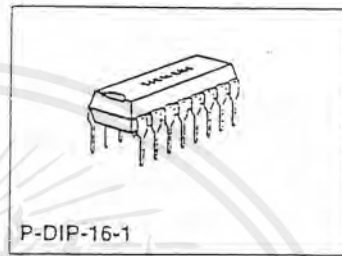
Phase Control IC

TCA 785

Bipolar IC

Features

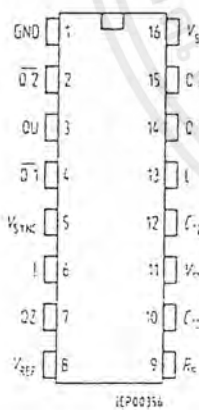
- Reliable recognition of zero passage
- Large application scope
- May be used as zero point switch
- LSL compatible
- Three-phase operation possible (3 ICs)
- Output current 250 mA
- Large ramp current range
- Wide temperature range



Type	Ordering Code	Package
TCA 785	Q67000-A2321	P-DIP-16-1

This phase control IC is intended to control thyristors, triacs, and transistors. The trigger pulses can be shifted within a phase angle between 0° and 180°. Typical applications include converter circuits, AC controllers and three-phase current controllers.

This IC replaces the previous types TCA 780 and TCA 780 D.



Pin Definitions and Functions

Pin	Symbol	Function
1	GND	Ground
2	Q2	Output 2 inverted
3	Q1	Output 1
4	Q3	Output 3 inverted
5	V _{sync}	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	QZ	Output Z
8	V _{REF}	Stabilized voltage
9	R _s	Ramp resistance
10	C ₁₀	Ramp capacitance
11	V ₁₁	Control voltage
12	C ₁₂	Pulse extension
13	L	Long pulse
14	Q 1	Output 1
15	Q 2	Output 2
16	V _s	Supply voltage

Pin Configuration
(top view)

Semiconductor Group

09.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description

The synchronization signal is obtained via a high-ohmic resistance from the line voltage (voltage V_S). A zero voltage detector evaluates the zero passages and transfers them to the synchronization register.

This synchronization register controls a ramp generator, the capacitor C_{10} of which is charged by a constant current (determined by R_9). If the ramp voltage V_{10} exceeds the control voltage V_{11} (triggering angle φ), a signal is processed to the logic. Dependent on the magnitude of the control voltage V_{11} , the triggering angle φ can be shifted within a phase angle of 0° to 180° .

For every half wave, a positive pulse of approx. $30 \mu s$ duration appears at the outputs Q 1 and Q 2. The pulse duration can be prolonged up to 180° via a capacitor C_{12} . If pin 12 is connected to ground, pulses with a duration between φ and 180° will result.

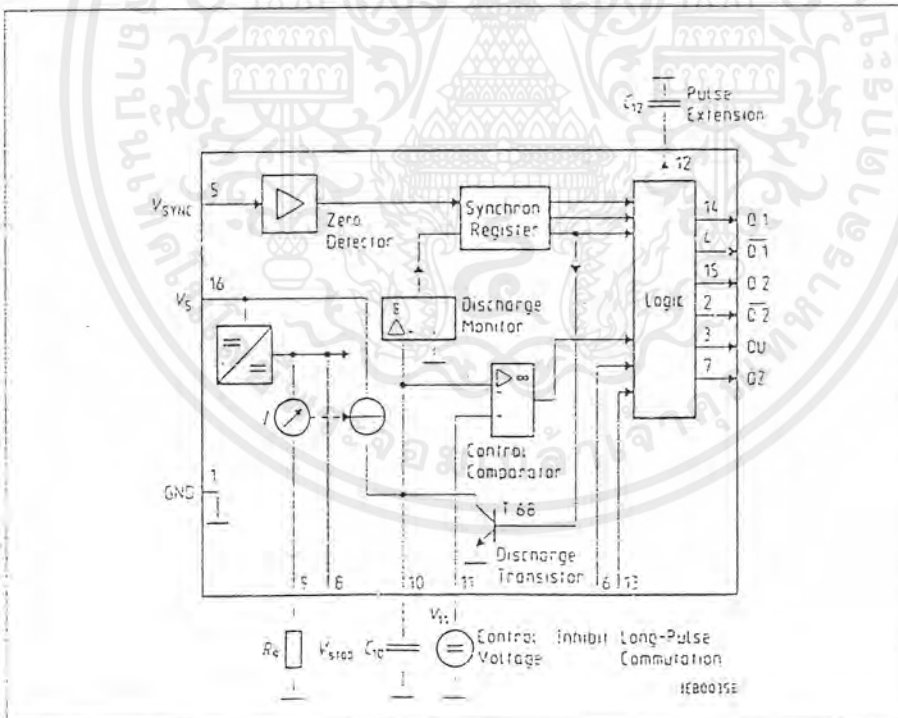
Outputs $\overline{Q1}$ and $\overline{Q2}$ supply the inverse signals of Q 1 and Q 2.

A signal of $\varphi + 180^\circ$ which can be used for controlling an external logic, is available at pin 3.

A signal which corresponds to the NOR link of Q 1 and Q 2 is available at output Q Z (pin 7).

The inhibit input can be used to disable outputs Q 1, Q 2 and $\overline{Q1}$, $\overline{Q2}$.

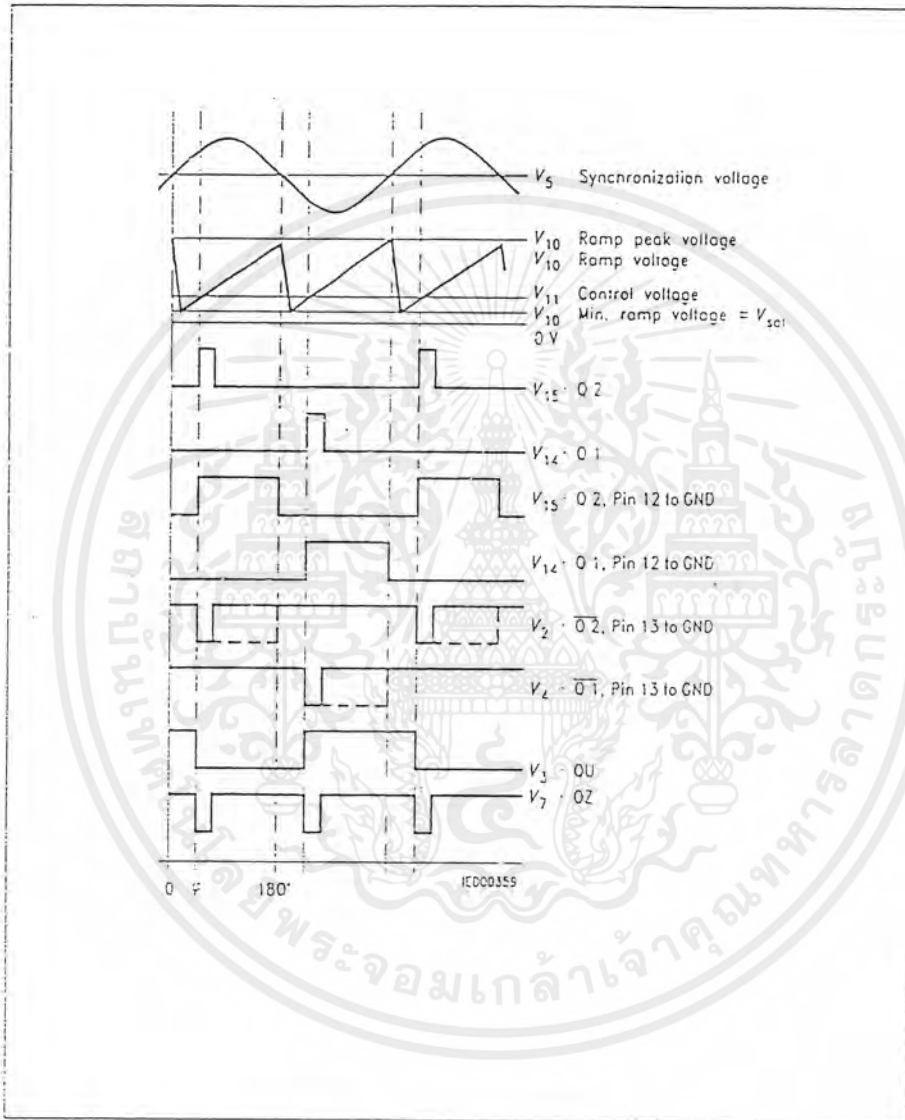
Pin 13 can be used to extend the outputs $\overline{Q1}$ and $\overline{Q2}$ to full pulse length ($180^\circ - \varphi$).



Block Diagram

Semiconductor Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Pulse Diagram

Semiconductor Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit
		min.	max.	
Supply voltage	V_s	-0.5	18	V
Output current at pin 14, 15	I_o	-10	400	mA
Inhibit voltage	V_i	-0.5	V_s	V
Control voltage	V_{11}	-0.5	V_s	V
Voltage short-pulse circuit	V_{15}	-0.5	V_s	V
Synchronization input current	V_s	-200	= 200	μ A
Output voltage at pin 14, 15	V_o		V_s	V
Output current at pin 2, 3, 4, 7	I_o		10	mA
Output voltage at pin 2, 3, 4, 7	V_o		V_s	V
Junction temperature	T_j		150	$^{\circ}$ C
Storage temperature	T_{stg}	-55	125	$^{\circ}$ C
Thermal resistance system - air	$R_{th,SA}$		80	K/W
Operating Range				
Supply voltage	V_s	8	18	V
Operating frequency	f	10	500	Hz
Ambient temperature	T_A	-25	85	$^{\circ}$ C

Characteristics

 $8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 85 \text{ }^{\circ}\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Supply current consumption S1 ... S6 open $V_{11} = 0 \text{ V}$ $C_{10} = 47 \text{ nF}; R_E = 100 \text{ k}\Omega$	I_s	4.5	6.5	10	mA	1
Synchronization pin 5 Input current R_2 varied	$I_{s \text{ rms}}$	30		200	μ A	1
Offset voltage	ΔV_s		30	75	mV	4
Control input pin 11 Control voltage range	V_{11}	0.2		$V_{10 \text{ peak}}$	V	1
Input resistance	R_{11}		15		$\text{k}\Omega$	5

Semiconductor Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785

Characteristics (cont'd)
 $8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}$; $-25 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85 \text{ }^\circ\text{C}$; $f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Ramp generator						
Charge current	I_{10}	10		1000	μA	
Max. ramp voltage	V_{10}			$V_2 - 2$	V	1
Saturation voltage at capacitor	V_{10}	100	225	350	mV	1.6
Ramp resistance	R_s	3		300	$k\Omega$	1
Sawtooth return time	t_r		80		μs	1
Inhibit pin 6 switch-over of pin 7						
Outputs disabled	V_{6L}		3.3	2.5	V	1
Outputs enabled	V_{6H}	4	3.3		V	1
Signal transition time	t_r	1		5	μs	1
Input current $V_s = 8 \text{ V}$	I_{6H}		500	800	μA	1
Input current $V_s = 1.7 \text{ V}$	$-I_{6L}$	50	150	200	μA	1
Deviation of I_{10} $R_s = \text{const.}$ $V_s = 12 \text{ V}$; $C_{10} = 47 \text{ nF}$	I_{10}	-5		5	%	1
Deviation of I_{10} $R_s = \text{const.}$ $V_s = 8 \text{ V to } 18 \text{ V}$	I_{10}	-20		20	%	1
Deviation of the ramp voltage between 2 following half-waves, $V_s = \text{const.}$	$\Delta V_{10 \text{ max}}$		≤ 1		%	
Long pulse switch-over pin 13 switch-over of S8						
Short pulse at output	V_{13H}	3.5	2.5		V	1
Long pulse at output	V_{13L}		2.5	2	V	1
Input current $V_{13} = 8 \text{ V}$	I_{13H}			10	μA	1
Input current $V_{13} = 1.7 \text{ V}$	$-I_{13L}$	45	65	100	μA	1
Outputs pin 2, 3, 4, 7						
Reverse current $V_0 = V_s$	I_{CEO}			10	μA	2.6
Saturation voltage $I_0 = 2 \text{ mA}$	V_{sat}	0.1	0.4	2	V	2.6

Semiconductor Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785

Characteristics (cont'd)

 $8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85 \text{ }^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Outputs pin 14, 15 H-output voltage – $I_o = 250 \text{ mA}$	$V_{14/15H}$	$V_s - 3$	$V_s - 2.5$	$V_s - 1.0$	V	3.6
L-output voltage $I_o = 2 \text{ mA}$	$V_{14/15L}$	0.3	0.8	2	V	2.6
Pulse width (short pulse) S9 open	t_p	20	30	40	μs	1
Pulse width (short pulse) with C_{12}	t_p	530	620	760	$\mu\text{s}/\text{nF}$	1
Internal voltage control Reference voltage Parallel connection of 10 ICs possible	V_{REF}	2.8	3.1	3.4	V	1
TC of reference voltage	α_{REF}		2×10^{-4}	5×10^{-4}	1/K	1

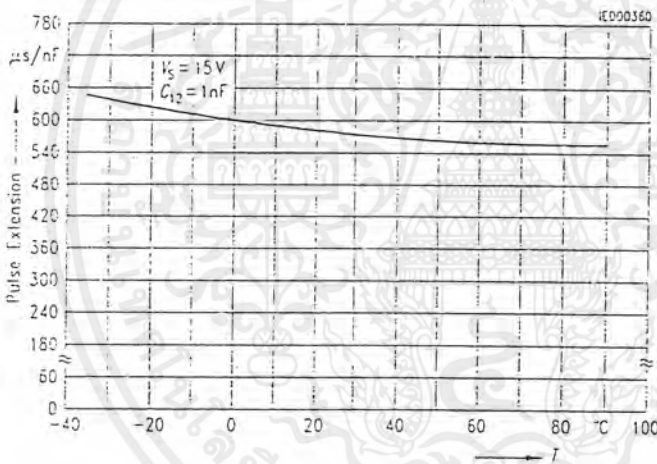
Semiconductor Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Hints for External Components

		min	max	
Ramp capacitance	C_{10}	500 pF	$1 \mu\text{F}^{1)}$	The minimum and maximum values of I_{10} are to be observed
Triggering point	$t_{T1} =$	$\frac{V_{11} \times R_9 \times C_{10}}{V_{REF} \times K}$	²⁾	
Charge current	$I_{10} =$	$\frac{V_{REF} \times K}{R_9}$	²⁾	Ramp voltage $V_{10 \text{ max}} = V_S - 2 \text{ V}$ $V_{10} = \frac{V_{REF} \times K \times t}{R_9 \times C_{10}}$ ²⁾

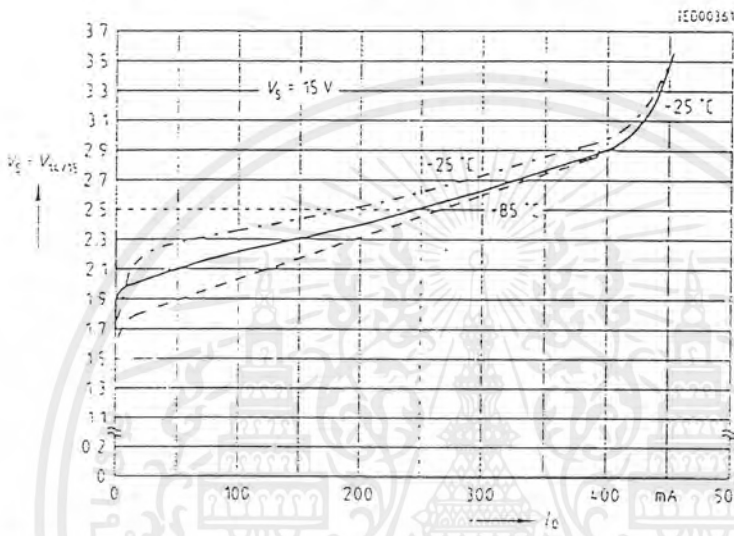
Pulse Extension versus Temperature



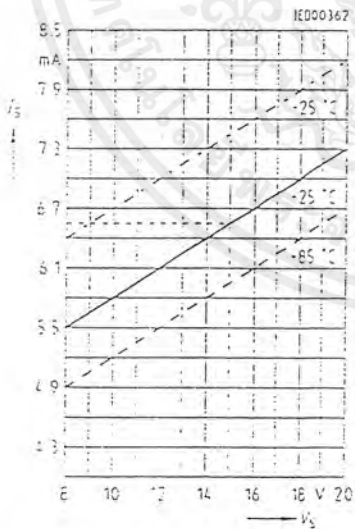
¹⁾ Attention to flyback times
²⁾ $K = 1.10 = 20 \%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

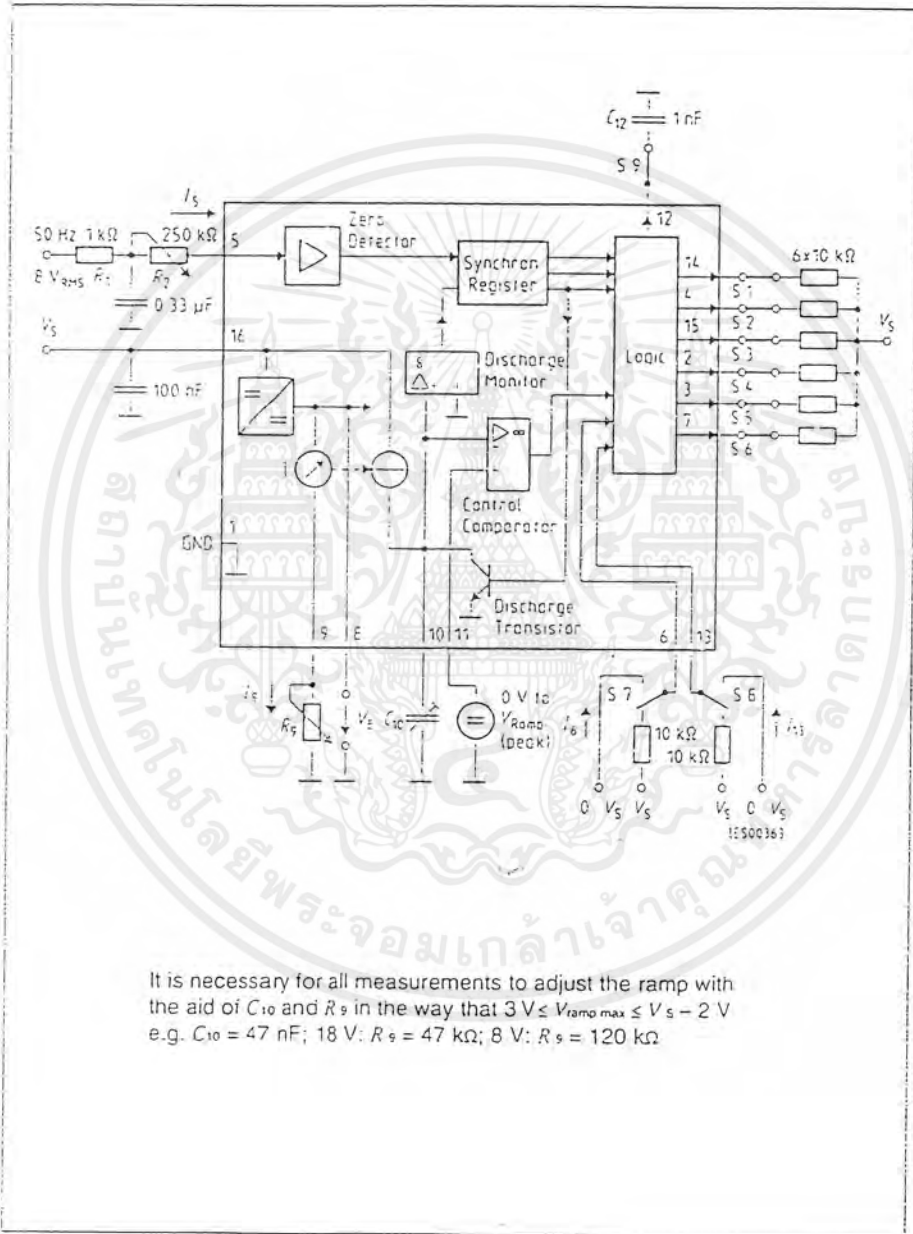
Output Voltage measured to + V_S



Supply Current versus Supply Voltage



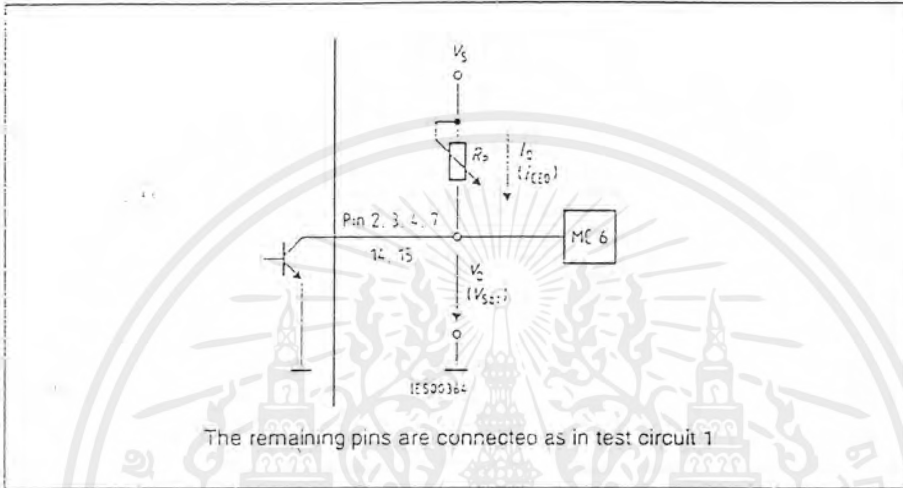
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



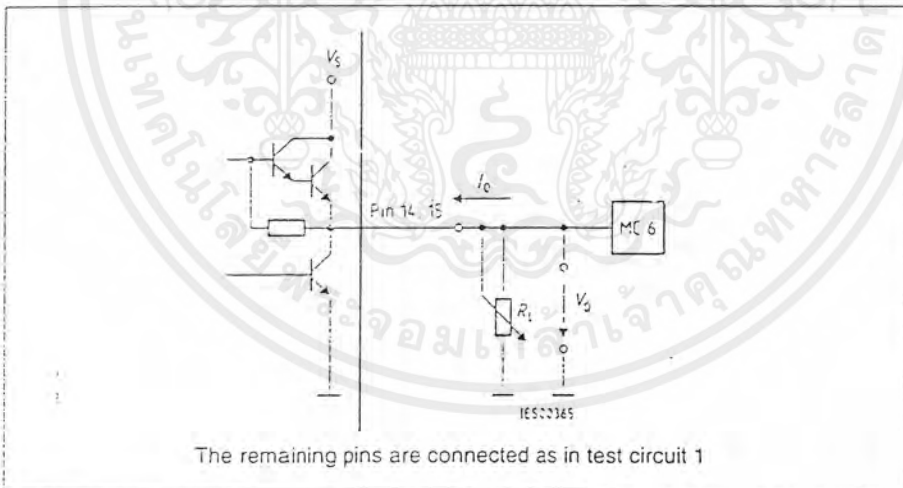
Test Circuit 1

Semiconductor Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

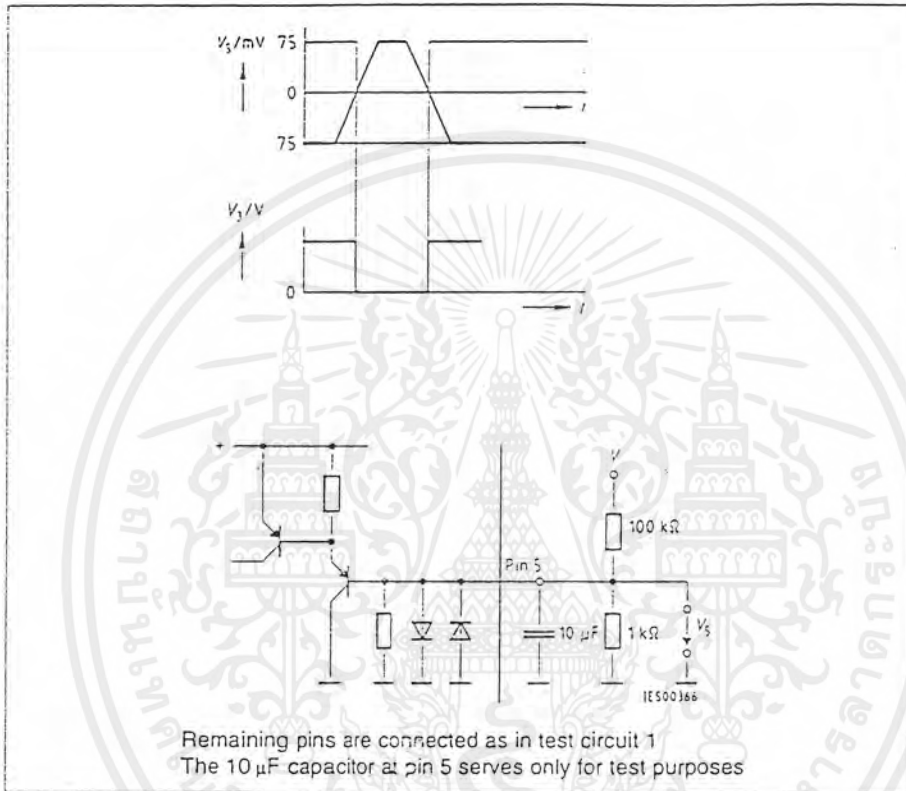


Test Circuit 2

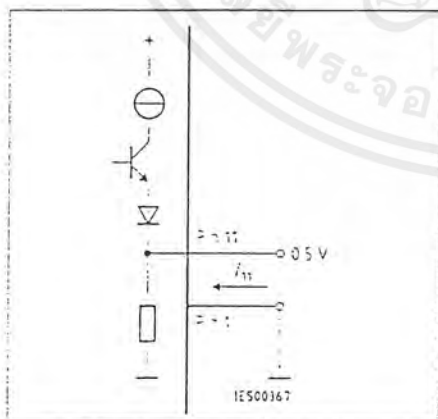


Test Circuit 3

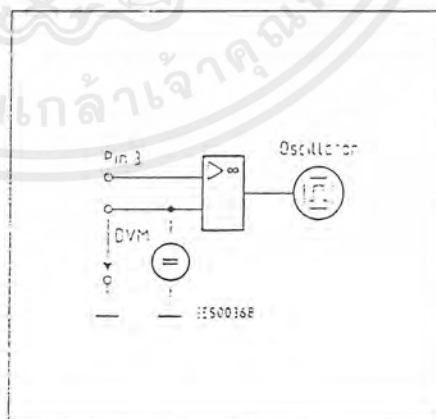
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Test Circuit 4

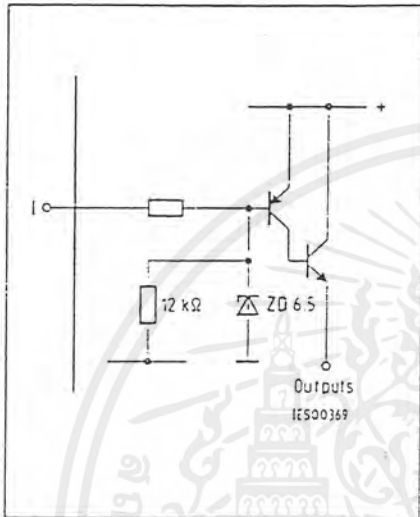


Test Circuit 5

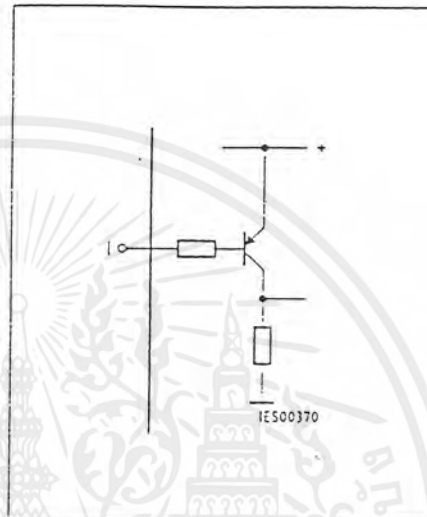


Test Circuit 5

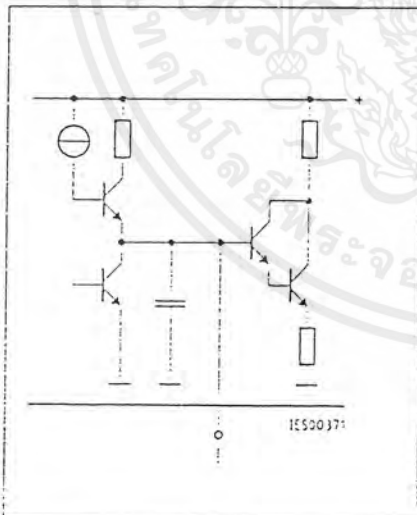
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



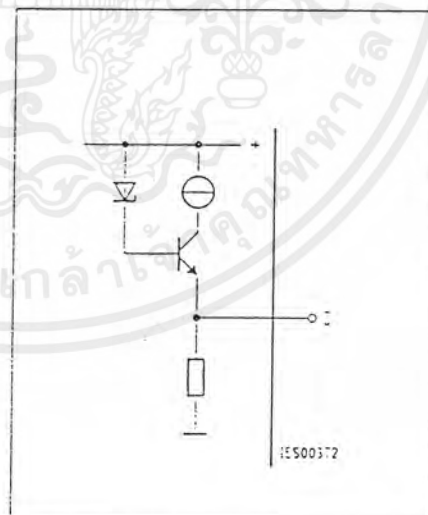
Inhibit 6



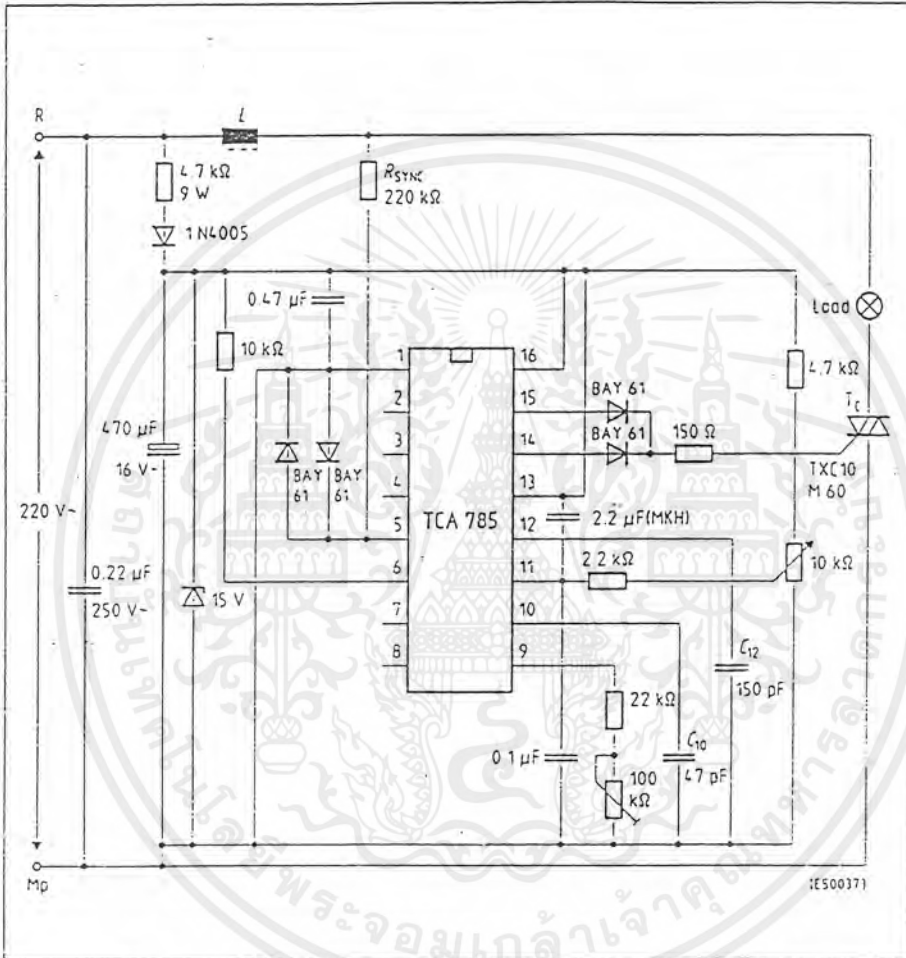
Long Pulse 13



Pulse Extension 12



Reference Voltage 8

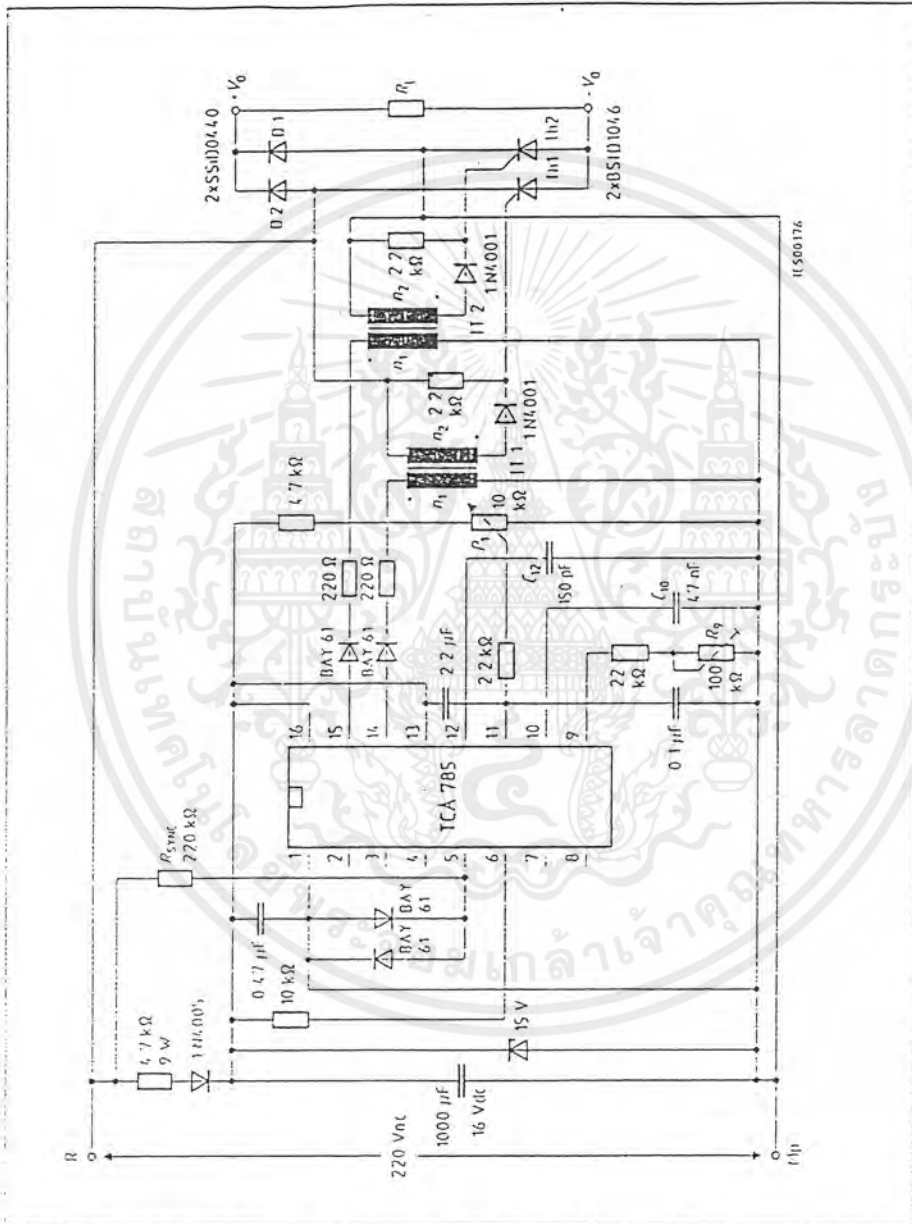


Application Examples
 Triac Control for up to 50 mA Gate Trigger Current

A phase control with a directly controlled triac is shown in the figure. The triggering angle of the triac can be adjusted continuously between 0° and 180° with the aid of an external potentiometer. During the positive half-wave of the line voltage, the triac receives a positive gate pulse from the IC output pin 15. During the negative half-wave, it also receives a positive trigger pulse from pin 14. The trigger pulse width is approx. 100 μs.

Semiconductor Group

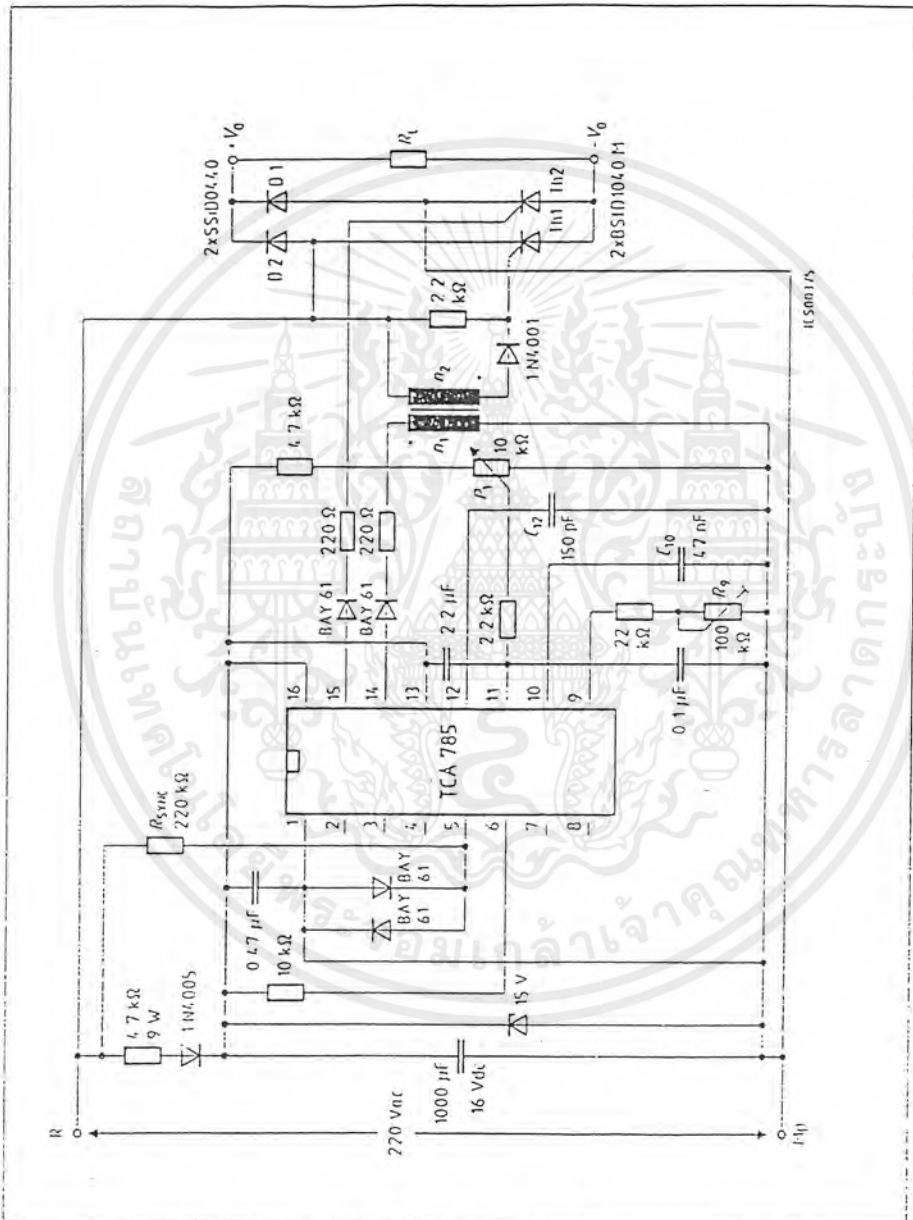
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Half-Controlled Single-Phase Bridge Circuit with Two Trigger Pulse Transformers for Low-Power Thyristors

Semiconductor Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Half-Controlled Single-Phase Bridge Circuit with Trigger Pulse Transformer and Direct Control for Low-Power Thyristors

Semiconductor Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ชัยยงค์ แก้วมงคล และนภัทร วจนเทพินทร์. “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1” .กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์. 2540
- ไมตรี วรวิจิตรยากุล. “ทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเล่ม 5” . กรุงเทพฯ : พลชัย, พิมพ์ครั้งที่ 2 , 2539
- วิชัย ศังขจันทร์านนท์. “ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1” กรุงเทพฯ
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), พิมพ์ครั้งที่ 3 , 2532



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายจรชัย ชัยทร
วันเดือนปีเกิด	17 กุมภาพันธ์ 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดยะลา
ภูมิลำเนาเดิม	148 หมู่ 6 ตำบลไผ่ลิง ถนนโรจนะ อำเภอพระนครศรีอยุธยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000 148 หมู่ 6 ตำบลไผ่ลิง ถนนโรจนะ อำเภอพระนครศรีอยุธยา
โทรศัพท์	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000 (035) 335061
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดธรรมมิกกราชวิทยา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตนนทบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	อนาคตจะเกิดได้ ต้องเริ่มที่ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญยานิพนธ์	นายนิรันดร์ โคมลวิฒนะ
วันเดือนปีเกิด	24 กุมภาพันธ์ 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดเลย
ภูมิลำเนาเดิม	445/18 ถนนมหาชาติไทยบำรุง ตำบลระแหง อำเภอเมือง จังหวัดตาก
ที่อยู่ปัจจุบัน	445/18 ถนนมหาชาติไทยบำรุง ตำบลระแหง อำเภอเมือง จังหวัดตาก
โทรศัพท์	(055) 514377
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนราชานุบาลน่าน
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนตากพิทยาคม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตตาก
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตตาก
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	ตนเป็นที่พึ่งแห่งตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญยานิพนธ์	นายประสิทธิ์ พรธปัญญา
วันเดือนปีเกิด	30 สิงหาคม 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ภูมิลำเนาเดิม	121/6 หมู่ 2 ตำบลคลองจิก อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13160
ที่อยู่ปัจจุบัน	121/6 หมู่ 2 ตำบลคลองจิก อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13160
โทรศัพท์	(035) 220327
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนเชียงรากน้อย (ประชานุกูล)
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตนนทบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	หวังให้ไกลแล้วไปให้ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานិพนธ์	นายภาณุวัฒน์ เทพหัสติน ณ. อยุรยา
วันเดือนปีเกิด	23 เมษายน 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดชลบุรี
ภูมิลำเนาเดิม	1/39 หมู่ 3 ตำบลสุรศักดิ์ อำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี 20110
ที่อยู่ปัจจุบัน	1/39 หมู่ 3 ตำบลสุรศักดิ์ อำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี 20110
โทรศัพท์	(038) 310901

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนคาราสุมุท
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนคาราสุมุท
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	โรงเรียนเทคโนโลยีภาคตะวันออก
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	โรงเรียนเทคโนโลยีภาคตะวันออก
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	อย่าคิดว่าทำไม่ได้ ถ้ายังไม่ได้ลองทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้