สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมมอเตอร์

นาย เฉลิมเกียรติ เทพสาธาญ

วศ.
ฉ425
2534
เลขหมู่
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี
6125531

โครงงานนี้พิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOR SPEED CONTROL SYSTEM

Mr. CHALERMKIAT TEPSOMRAN

A SPECTIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF APPLIED PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ระบบควบคุมมอเตอร์
โดย	นาย เฉลิมเกียรติ เทพสาราญ
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. วิชิต ศิริโชติ
	ผศ.ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

(ดร. เสน่ห์ เอกะวิภาต)

คณะกรรมการโครงงานพิเศษ

ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร ปรีชา เทียนสมประสงค์)

กรรมการ

(อ. วิชิต ศิริโชติ)

กรรมการ

(ผศ.ดร อารีย์ วิเชียรฉาย)

กรรมการ

(ผศ.ดร บุญส่ง ศิวโมกษธรรม)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ระบบควบคุมมอเตอร์
นักศึกษา	นาย เฉลิมเกียรติ เทพสิทธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร อารีย์ วิเชียรฉาย
	อ. วิชิต ศิริชัยดิ
ภาควิชา	พิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2534

บทคัดย่อ

จากสภาพการณ์ของวงการอุตสาหกรรมสมัยใหม่ การทำงานหลายๆอย่างต้องการให้ผู้ประกอบการสามารถที่จะเข้าแทรกในการ ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ซึ่งการควบคุมมักจะใช้ไธริสเตอร์ การรวมมอเตอร์เข้ากับการใช้ไธริสเตอร์ และ อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิคส์ประกอบกันขึ้นเป็นระบบนี้เรียกว่า "*ระบบการควบคุมอัตราเร็ว*" หรือ "*ระบบขับกำลัง*" โดยที่ระบบการควบคุมนี้จะใช้วิธี "ควบคุมเฟส" ซึ่งสามารถสร้างได้ง่าย และ มีราคาถูกจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในระบบเล็กๆ เช่น เครื่องใช้ภายในบ้าน หรือ ตามสำนักงาน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spectial Project Title	MOTOR SPEED CONTROL SYSTEM
Name	Mr. Chalermkiat Tepsomran
Special Project Advisor	ASST.PROF. Aree Wichainchai
	Mr. Wichit Sirichote
Department	Applied Physics
Academic year	1991

Abstract

In modern industrial situations, there are many applications which require the operator to be able to intervene to control the motor speed. Such control is usually accomplished by using thyristor. The combination of the motor, the controling thyristor, and the associated electronics component is referred to as *a speed control* or *drive control*. Speed control by phase control method can be built up easily and low cost . So it is convient to take with small system such as home-equipment or office and so on

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ วิชิต ศิริชัยชติ อาจารย์ เกียรติศักดิ์ คมวัชระ ผู้ให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาในการทำโครงงานพิเศษ ด้วยดีมาตลอด

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย ผู้คอยกระตุ้นเตือนให้ระลึกถึง การทำโครงงาน และคอยเอาใจใส่การทำโครงงาน อยู่เสมอมา

ขอขอบคุณ คุณ สุวิทย์ เตชะพิชญะ ที่คอยช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่เสมอๆในขณะทำรายงานฉบับนี้

และสุดท้ายนี้ผู้ที่จะต้องกล่าวขอบคุณอย่างมากที่สุดก็คือ

คุณ ชูศักดิ์ เทพสำราญ

คุณ สมใจ เทพสำราญ

คุณ พิมพา เทพสำราญ

และ คุณ นิตยา เทพสำราญ

ผู้อุปการะ และให้การเลี้ยงดู ตลอดจนเป็นผู้ให้กำลังใจในการศึกษาเล่าเรียนมาโดยตลอด

นาย เฉลิมเกียรติ เทพสำราญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญรูป	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว	2
2.1 มอเตอร์ที่แยกเฟสออกจากกัน	4
2.2 มอเตอร์ชนิดเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ และวิ่งด้วยการเหนี่ยวนำ	6
2.3 มอเตอร์ที่ใช้ตัวเก็บประจุทั้งในขณะหมุนเริ่มแรกและในขณะวิ่งหรือทำงานตามปกติ	7
2.4 มอเตอร์ชนิดใช้การผลัก	8
2.5 ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์	13
บทที่ 3 ไธริสเตอร์และการเรียงกระแสที่มีการควบคุม	15
3.1 หลักการทำงานและลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์	16
3.2 หลักการทำงานและลักษณะสมบัติของไตรแอค	19
3.3 การจุดชนวนไธริสเตอร์	22
3.4 การควบคุมการเรียงกระแสเฟสเดียว	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การควบคุมในช่วงครึ่งคลื่น 34
3.4.2 การควบคุมในช่วงครึ่งคลื่นบวกผสมครึ่งคลื่นลบคงที่ 34
3.4.3 การควบคุมเต็มคลื่นสำหรับภาระเอซี 35
3.4.4 การควบคุมการเรียงกระแสเต็มคลื่น 36
3.4.5 การควบคุมการเรียงกระแสเต็มคลื่นสำหรับ
ภาระดีซีที่เป็นเชิงเหนี่ยวนำ 36

บทที่ 4 การควบคุมมอเตอร์เอซีโดยวิธีควบคุมเฟส 38
4.1 วงจรจุดชนวนเบื้องต้นสำหรับควบคุมเฟสครึ่งคลื่น 40
4.1.1 การใช้ตัวเก็บประจุเป็นตัวหน่วงเวลาการจุดชนวน 40
4.1.2 การใช้อุปกรณ์เบรคโอเวอร์ต่อเข้ากับเกทเพื่อจุดชนวน .. 44
4.1.3 การใช้วงจรยูเจทีรีแลกซ์เซชั่นออสซิลเลเตอร์
เข้าจุดชนวน 47
4.2 วงจรจุดชนวนเบื้องต้นสำหรับการควบคุมเฟสเต็มคลื่น 50
4.2.1 วงจรจุดชนวนควบคุมเฟสที่ใช้ตัวเก็บประจุ
และตัวต้านทาน 50
4.2.2 วงจรจุดชนวนควบคุมเฟสโดยใช้ไดโอด 4 ชั้น 51
4.2.3 วงจรจุดชนวนควบคุมเฟสโดยใช้ยูเจที 55
4.3 การระมัดระวังป้องกันไธริสเตอร์ขณะใช้งาน 59
4.3.1 การป้องกันอัตราการเพิ่มค่า
ของกระแสอาโนด di/dt 59
4.3.2 การป้องกันแรงดันกระโชกหรือ
แรงดันเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ dv/dt 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว
โดยการจุดชนวนควบคุมเฟส 66
4.4.1 วงจรควบคุมมอเตอร์แบบแยกวงจรจุดชนวนออกจาก
แหล่งจ่ายกำลังให้โหลด 66
4.4.2 วงจรควบคุมมอเตอร์แบบไม่แยกวงจรจุดชนวนออกจาก
แหล่งจ่ายกำลังให้โหลด 70

บทที่ 5 บทสรุป 72

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ประวัติผู้เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

บทที่ 2

รูปที่ 2.1-1 โครงสร้างของมอเตอร์ที่แยกเฟสออกจากกัน 4

2.1-2 วงจรของมอเตอร์ที่แยกเฟสออกจากกัน 5

2.1-3 ลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันของมอเตอร์ 5

2.2-1 โครงสร้างของมอเตอร์ชนิดเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ
และวิ่งด้วยการเหนี่ยวนำ 6

2.3-1 มอเตอร์ที่ใช้ตัวเก็บประจุทั้งในขณะหมุนเริ่มแรกและในขณะวิ่ง
หรือทำงานตามปกติ 7

2.3-2 ลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันของมอเตอร์ 7

2.4-1 โครงสร้างของมอเตอร์ชนิดใช้การผลัก 8

2.4-2 อาการที่เกิดขึ้นของมอเตอร์ชนิดผลักเมื่อแปรงถ่านอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ 10

2.4-3 รูปแสดงมอเตอร์ผลักจริงๆ 11

2.4-4 รูปแสดงความสัมพันธ์ของเส้นแรงแม่เหล็กและแรงเคลื่อนไฟฟ้า
ที่เกิดในมอเตอร์ผลัก 12

2.5-1 ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ใช้ตัวควบคุมความเร็วชนิดแรงหนีศูนย์ 14

2.5-2 เส้นโค้งต่างๆแสดงคุณลักษณะของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

รูปที่ 3 (ก) การเรียงสารกึ่งตัวนำแบบพีและแบบเอ็นเป็นชั้น PNPN 15

(ข) รูปสมมูลของสิ่งประดิษฐ์ PNPN เป็นไดโอดสามตัวต่อเรียงกัน 15

3.1.1 (ก) โครงสร้างของเอสซีอาร์ 17

(ข) สัญญลักษณ์ของเอสซีอาร์ 17

3.1.2 (ก) การต่อเอสซีอาร์เข้ากับวงจรไฟฟ้าโดยแสดงกระแส

และแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าบวก 17

(ข) เส้นโค้งลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์ 17

3.2.1 (ก) การต่อสิ่งประดิษฐ์พีเอ็นพีเอ็นสองชิ้นอย่างขนานแต่กลับขั้วกัน 20

(ข) โครงสร้างรวมของ (ก)

3.2.2 (ก) โครงสร้างภายในของไตรแอค 20

(ข) สัญลักษณ์ของไตรแอค 20

3.2.3 เส้นโค้งลักษณะสมบัติของไตรแอค 21

3.3.1 วงจรจุดชนวนด้วยไฟฟ้าดีซีอย่างง่าย 24

3.3.2 วงจรจุดชนวนดีซีที่ดัดแปลงจากไฟฟ้าเอซีเลี้ยงวงจร 26

3.3.3 (ก) วงจรจุดชนวนด้วยเฟสของสัญญาณเอซีแบบง่าย 27

3.3.4 (ก) วงจรจุดควบคุมเฟสครึ่งคลื่นแบบง่ายด้วยความต้านทานแปรค่าได้ ... 28

(ข) วงจรควบคุมเฟสครึ่งคลื่นด้วยความต้านทานแปรค่าได้

ตัวเก็บประจุและไดโอด 28

3.3.5 วงจรจุดชนวนครึ่งคลื่นที่ใช้หม้อแปลงที่มีแกนสามารถอิ่มตัวได้เข้าต่อ 29

3.3.6 แผนผังการใช้เครื่องกำเนิดพัลส์เข้าจุดชนวนเอสซีอาร์ 31

3.4.1 วงจรเบื้องต้นของการควบคุมเฟสเอซี 33

3.4.2 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสของภาระที่เป็นความต้านทาน

ของวงจรรูปที่ 3..4.1 (ก) สำหรับการควบคุมในช่วงครึ่งคลื่น 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 รูปคลื่นของแรงดันคร่อมภาระของการควบคุมในช่วง
ครึ่งคลื่นบวกผสมครึ่งคลื่นลบคงที่ 34
3.4.4 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสของการควบคุมเต็มคลื่นเฟสเดียวสำหรับ
ภาระเอซีที่เป็นเชิงเหนี่ยวนำ 36
3.4.5 รูปคลื่นของแรงดันคร่อมภาระสำหรับการควบคุม
การเรียงกระแสเต็มคลื่น 36
3.4.6 (ก) วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นเฟสเดียวแบบสองพัลส์ พุชพูล 37
(ข) วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นเฟสเดียวแบบสะพาน 37
(ค) รูปคลื่นแรงดันคร่อมภาระสำหรับ (ก) และ (ข) 37

บทที่ 4

รูปที่ 4.1 การควบคุมเฟสครึ่งคลื่น 39
4.2 การควบคุมเฟสเต็มคลื่น 39
4.3 วงจรควบคุมเกทของเอสซีอาร์ 40
4.4 การปรับปรุงวงจรควบคุมเกทของเอสซีอาร์ให้สามารถ
ปรับมุมหน่วงเวลาการนำกระแสได้สูงกว่าวงจรรูปที่ 4.3 41
4.5 วงจรที่ใช้ศึกษาในโครงงานพิเศษ 42
4.6 รูปคลื่นแสดงแรงดันคร่อมอาโนด-คาโทด (V_{AK})
และแรงดันคร่อมโหลด (V_{load}) ของวงจร single RC circuit 43
4.7 รูปคลื่นแสดงแรงดันคร่อมอาโนด-คาโทด และ โหลด
ของวงจร double RC circuit
4.8 วงจรควบคุมเกทโดยใช้ไดโอด 4 ชั้น 45
4.9 วงจรที่ใช้ศึกษาในโครงงานพิเศษ ไดโอด 4 ชั้นใช้ ไดแอค แทน 46
4.10 ลักษณะสมบัติของแรงดันที่วัด ณ ตำแหน่งต่างๆในวงจรรูปที่ 4.9 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 วงจรจุดชนวนเอสซีอาร์ โดยใช้ยูเจที 48

4.12 รูปคลื่นของแรงดันซีเนอร์ (V_s) แรงดันคร่อมความต้านทาน R_1 และแรงดันคร่อมโหลด 49

4.13 วงจรจุดชนวนอย่างง่ายสำหรับไตรแอค 51

4.14 วงจรจุดชนวนไตรแอคที่สมบูรณ์ 53

4.15 วงจรแสดงการถอดเอาหม้อแปลงออก 54

4.16 วงจรจุดชนวนโดยใช้ยูเจทีแบบใช้การป้อนกลับ 56

4.17 การป้องกันอัตราการเพิ่มค่าของกระแสอาโนด 60

4.18 วงจรป้องกันแรงดันกระโชก 64

4.19 วงจรป้องกันแรงดันเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ 65

4.20 วงจรควบคุมมอเตอร์แบบแยกวงจรจุดชนวนออกจากแหล่งจ่ายกำลังให้โหลด 68

4.21 วงจรควบคุมมอเตอร์แบบไม่แยกวงจรจุดชนวนออกจากแหล่งจ่ายกำลังให้โหลด 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในขบวนเครื่องต้นกำลังในปัจจุบัน มอเตอร์ไฟฟ้าจะเป็นเครื่องต้นกำลังที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในอุตสาหกรรมทั่วๆไปทั้งอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ทั้งนี้เป็นเพราะพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีความสะดวกในการ แปรรูปเป็นพลังงานรูปอื่นโดยอาศัยมอเตอร์ และมีราคาของพลังงานถูกเมื่อเทียบกับพลังงานที่ได้จากแหล่งอื่น

ถ้าเราจะแยกประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้าออกตามความสำคัญ และสัดส่วนที่ใช้งานอยู่ทั่วๆไป จะสามารถแยกออกได้สองชนิดคือ มอเตอร์กระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำและมอเตอร์อื่นๆที่เหลือ มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นมอเตอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะมีความแข็งแรงทนทาน มีราคาถูก มีประสิทธิภาพสูง ความแน่นอนในการใช้งานสูง การบำรุงรักษาสะดวก ในปัจจุบันเครื่องต้นกำลังส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรม เกือบทั้งหมดใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ และกว่า90%ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในรูปเครื่องต้นกำลังจะเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งจะทำให้เห็นความสำคัญของมอเตอร์ดังกล่าวได้อย่างชัดเจน ถึงแม้กระนั้นสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นหัวใจในการสร้างความเจริญทางเทคโนโลยีของโลกนี้ก็เกือบจะถูกมองข้ามไปโดยสิ้นเชิง

สำหรับเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำในปัจจุบันก็ได้พัฒนาไปอย่างมาก อุปกรณ์สวิตช์ชิ่ง (switching device) ต่างๆ เช่น ไธริสเตอร์ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ถูกผลิตออกมาจากหลายบริษัท ซึ่งสามารถทนกระแส และ แรงดันสูงๆได้ มีให้เลือกใช้กันอย่างมากมาย เนื่องจากความสะดวก และราคาไม่แพงมากนักนี่เองทำให้อุปกรณ์สวิตชิ่งถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย ข้อดีอีกอย่างของอุปกรณ์เหล่านี้ก็คือ เวลาที่ใช้ในการ ปิด-เปิด อุปกรณ์สวิตชิ่งที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ จะใช้เวลาในการปิด-เปิด อยู่ในระดับของไมโครวินาที(10^{-6}sec) แต่อุปกรณ์แบบ สวิตช์แบบกลไก (mechanical switch) เช่น สวิตช์ ที่ใช้ปิด-เปิด ไฟฟ้าภายในบ้านจะใช้เวลาในการ ปิด-เปิด อยู่ในระดับของ มิลลิวินาที (10^{-3}sec) ซึ่งเปรียบเทียบกันแล้วความเร็วในการ ปิด-เปิด ต่างกันถึง 1,000 เท่าทีเดียว

นอกจากนี้แล้ว อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำยังไม่มีปัญหาใน เรื่องของหน้าสัมผัสเหมือนกับ mechanic switch ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานต่ำลง อีกทั้งยังไม่มีปัญหาเรื่องของการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกายไฟ (arching) ขณะหน้าสัมผัสกระทบกันด้วย จากข้อดีเหล่านี้จึงมีการนำเอาอุปกรณ์ switching ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง

ในกระบวนการควบคุมมอเตอร์ก็เช่นกัน เราจะใช้ ไธริสเตอร์ เช่น ไตรแอค, เอสซีอาร์ (silicon controlled rectifier) เป็นตัว ปิด-เปิด พลังงานจากแหล่งจ่ายกำลังให้กับ ภาระ (load)โดยใช้การทริก (trig) ซึ่งหมายถึงการยอมให้กระแสไหลผ่านตัว ไธริสเตอร์ ได้โดยการจ่ายกระแสให้ขาเกต เพียงเล็กน้อย ซึ่งถ้าเวลาที่ใช้ในการเปิดเข้าสู่สภาวะนำกระแสเกิดขึ้นเร็วก็จะมีกำลังจ่ายเข้าสู่ load ได้มากขึ้น ตรงกันข้ามถ้าเวลาที่ใช้ในการเปิดเข้าสู่สภาวะนำกระแสเกิดขึ้นช้า กำลังที่จ่ายให้ load ก็จะน้อยลง

สำหรับการ trig ที่ขาเกต (gate) ของ ไธริสเตอร์ สามารถทำได้หลายวิธีเช่น ใช้ วงจร RC หรือ วงจร double RC ซึ่งจะให้สัญญาณ เป็นรูป ซายน์ (sine) ป้อนเข้าขาเกตของ ไธริสเตอร์ หรืออาจใช้ ยูเจที (unijunction transistor),ไดแอค, พียูที (programable unijunction transistor) ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะให้สัญญาณ trig อยู่ในรูปของ สัญญาณพัลส์มีลักษณะ เป็นสัญญาณแคบๆ ที่มีสันหน้าสูงชันซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียที่ขาเกตลงได้ เนื่องจากไธริสเตอร์ เมื่อทริกให้นำกระแสแล้วก็ไม่จำเป็นจะต้องมีสัญญาณมา ทริกอย่างต่อเนื่องตลอดไป ดังนั้นสัญญาณที่เป็นพัลส์ (pulse) แคบๆจึงเหมาะสมกับการ ทริก ให้ไธริสเตอร์ ทำงานเนื่องจากไม่เป็นการสูญเสียที่ขาเกต

จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการกล่าวถึงเนื้อหาอย่างกว้างๆของโครงงานพิเศษฉบับนี้ซึ่งในบทต่อไปจะได้นำมากล่าวอย่างละเอียดอีกครั้ง และในบทท้ายๆของโครงงานพิเศษก็จะแสดงผลการวิจัย และสรุปผล ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ หรือเป็นแนวความคิดในการใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวเป็นมอเตอร์ที่มีโครงสร้างและหลักการทำงานในการทำให้มันหมุนได้คล้ายกับมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟส จะแตกต่างกันก็ตรงที่ตัวอยู่กับที่มีการพันขดลวดเป็นแบบเฟสเดียวและได้รับไฟจากไฟเฟสเดียวด้วย ดังนั้นจึงทำให้เกิดสนามแม่เหล็กสลับกันไปมาขึ้นที่ตัวอยู่กับที่ซึ่งไม่ใช่สนามแม่เหล็กหมุนที่ความเร็ว synchronous เหมือนอย่างกับพวกที่มีการพันแบบสองเฟสหรือสามเฟส จากเหตุผลนี้จึงทำให้เส้นแรงที่สลับกันไปมานี้ไม่สามารถที่จะทำให้เกิดแรงบิดหมุนขึ้นได้ในขณะที่ตัวหมุนยังหยุดอยู่ นี่ก็คือสาเหตุว่าทำไมมอเตอร์เฟสเดียวจึงไม่มีแรงบิดเริ่มแรกในตัวของมันเอง

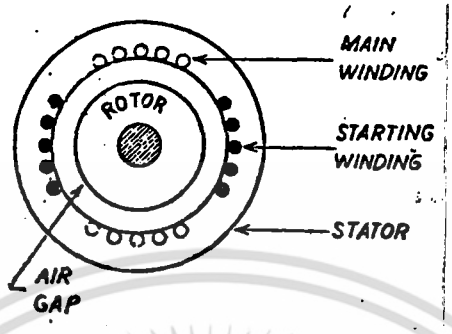
อย่างไรก็ดีถ้าหากว่าตัวหมุนถูกทำให้หมุนไปด้วยมือหรือวิธีใดวิธีหนึ่งในทิศทางใดทิศทางหนึ่งแล้ว ย่อมทำให้แรงบิดและอัตราเร่งเกิดขึ้นกับมอเตอร์นั้นจนกระทั่งมีความเร็วเต็มที่ได้

ตัวหมุน (rotor) ของมอเตอร์แบบนี้ส่วนใหญ่เป็นแบบกรงกระรอก (squirrel cage) ส่วนทางตัวอยู่กับที่นั้นก็มีการพันขดลวดตัวนำผิดแผกแตกต่างกันไปบ้าง แล้วแต่ชนิดของมอเตอร์การที่กล่าวว่ามอเตอร์เฟสเดียวมีโครงสร้าง และหลักการทำงานในการที่ทำให้มันหมุนได้คล้ายกับมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟสนั้น หมายความว่ามอเตอร์แบบนี้มีทั้งตัวอยู่กับที่และตัวหมุนโดยที่ตัวอยู่กับที่นั้นจะมีการพันขดลวด เพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในชั่วขณะเริ่มแรก หรือมีอยู่ตลอดไปก็ได้ โดยอาศัยอุปกรณ์ช่วยอื่นๆ เช่น ขดเริ่มทำให้หมุน (starting winding) หรือตัวเก็บประจุ (capacitor) ต่อร่วมกับขดทำให้หมุน หรืออาจทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเลื่อนหรือเคลื่อนที่ไปรอบหรือเกิดสนามแม่เหล็กโดยอาศัยคุณสมบัติของตัวหมุนและตัวอยู่กับที่ร่วมกันก็ได้ ส่วนตัวหมุนนั้นก็อาจเป็นแบบกรงกระรอก หรืออาจไม่เป็นก็ได้แต่ก็ต้องเป็นตัวที่จะทำให้เกิดมีการเหนี่ยวนำขึ้นในตัวมันเพื่อทำให้เกิดแรงบิดขึ้นได้เมื่อมีสนามแม่เหล็กหมุน หรือเลื่อนได้หมุนผ่านตัวมัน ซึ่งจะกล่าวแยกเป็นเรื่องๆไปตามชนิดของมอเตอร์แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 <u>มอเตอร์ที่แยกเฟสออกจากกัน</u> (split-phase motor)

โครงสร้างประกอบด้วย



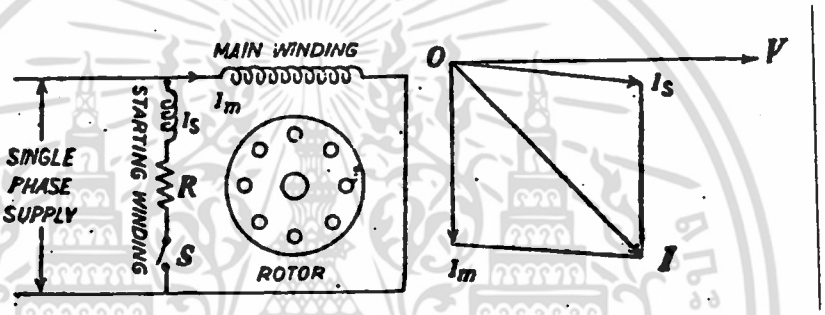
รูป 2.1-1

1) ตัวอยู่กับที่ (stator) มีขดลวดอยู่ 2 ชุด ชุดหนึ่งมีไว้สำหรับใช้งานตามปกติเรียกว่าชุดสำหรับวิ่ง (running winding หรือ main winding) ชุดขดลวดชุดนี้มีความต้านทานต่ำแต่ reactance สูงกว่าชุดสำหรับทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน โดยที่มีขนาดเส้นลวดใหญ่กว่าชุดหมุน ชุดสำหรับวิ่งหรือใช้งานนี้เป็นชุดหลักที่มีไฟผ่านตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นขณะเริ่มหมุนทีแรกหรือว่าขณะที่ทำงานปกติ ชุดที่สองเป็นชุดสำหรับเริ่มทำให้หมุน (starting winding) ขดลวดชุดนี้พันไว้ที่ตัวอยู่กับที่เช่นกัน แต่ว่าให้ ลงในช่อง (slot) เป็นมุมห่างไปจากชุดหลัก 90^{o} ไฟฟ้าทั้งนี้เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นในขณะ เริ่มแรก ชุดนี้มีความต้านทานของขดลวดตัวนำสูงแต่ว่า reactance ต่ำและเส้นลวดมีขนาดเล็กขดลวดชุดนี้ต่ออนุกรมกับ สวิตช์หนีศูนย์กลาง (centrifugal switch) แล้วจึงนำไปต่อขนานกับชุดสำหรับวิ่ง ถ้าไม่ใช้สวิตช์หนีศูนย์กลางก็อาจใช้ relay เป็นตัวตัดขดเริ่มทำให้หมุนหรือขดช่วยทำให้หมุน (starting winding or auxiliary winding) ก็ได้ ดังเช่นที่ใช้กับมอเตอร์อัดน้ำยา (compressor) ของตู้เย็นหรือเครื่องปรับอากาศก็ได้ โดยปกติแล้วมอเตอร์ที่ใช้อัดน้ำยาของตู้เย็น หรือเครื่องปรับอากาศที่ใช้กับไฟเฟสเดียวนั้นจะใช้ตัวเก็บประจุต่ออยู่ด้วย ซึ่งจะกล่าวอีกครั้งหนึ่งในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ตัวหมุน (rotor) เป็นแบบกรงกระรอกธรรมดาซึ่งอาจมีสองกรงซ้อนกัน หรือ กรงเดียว ก็ได้ แล้วแต่จุดประสงค์ของการใช้งาน ตัวนำที่ฝังอยู่ในตัวหมุนเป็นรูปกรงกระรอกนี้อาจจะฝังเฉียงๆ (skew) ก็ได้ ที่แกนของตัวหมุนมี สวิตช์หนีศูนย์กลางติดอยู่ด้วยทั้งนี้เพื่อตัดขดเริ่มทำให้หมุนออกไปหลังจากที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 70% ของ synchronous

รูปตัดและวงจรของมอเตอร์ชนิดนี้ดูได้จากรูป 2.1-1 และ 2.1-2 จากรูป 2.1-2 พบว่ามีความต้านทานที่มีค่าสูงอีกหนึ่งตัว ต่ออนุกรมเข้ากับขดทำให้หมุน ความต้านนี้อาจไม่ต้องใช้ก็ได้ ถ้าหากว่าความต้านทานของขดเริ่มทำให้หมุนมีค่าสูงพอ



รูป 2.1-2 และ 2.1-3

จากคุณสมบัติของขดลวดทั้งสองที่กล่าวมาแล้ว จึงทำให้กระแส I_S และ I_M มีมุมแตกต่างกันเกือบ 90^o ดังรูป 2.1-3 กระแส I_S มาทีหลัง (lag) แรงเคลื่อนไฟ V ไปเป็นมุมเล็กน้อยทั้งนี้เพราะค่าความต้านทานสูงกว่าค่า reactance มาก ฉะนั้นจึงทำให้กระแส I_S เกือบทับกับ (inphase) V แต่ว่ากระแส I_M อันเนื่องมาจากขดหลัก (main winding)นั้นมีความต้านทานต่ำแต่ reactance สูง ดังนั้นจึงทำให้ I_M มาทีหลัง V เกือบ 90^o เมื่อเป็นเช่นนั้นจึงทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้น เพื่อใช้ในการเริ่มหมุนของมอเตอร์ ส่วนสวิตช์หนีศูนย์กลาง (centrifugal switch) S นี้จะทำหน้าที่ตัดไฟของขดเริ่มหมุน (starting winding) ออกไป หลังจากที่มอเตอร์วิ่งได้เกือบใกล้ความเร็วพิกัด หรือประมาณที่ 75% ของความเร็วที่synchronous

มอเตอร์แบบนี้มีแรงบิดเริ่มแรกประมาณ 1 ถึง 2 เท่าของแรงบิดที่พิกัด โดยใช้

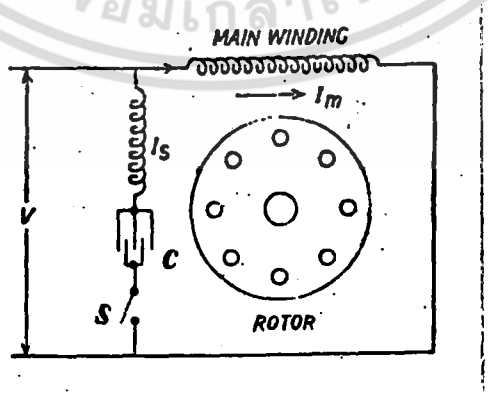
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเริ่มแรกตั้งแต่ 5 ถึง 7 เท่าของกระแสที่พิกัด จึงทำให้เหมาะสมในการใช้งานกับเครื่องกลึงชนิดเล็ก ตัวแยกโดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลาง (centrifugul separators) และตัวเป่า (blowers) เหล่านี้เป็นต้น

ทิศทางของการหมุนมอเตอร์เหล่านี้กลับทิศได้ โดยการสลับขั้วต่อไฟของชุดใดชุดหนึ่งจากสองชุดนั้น (แต่ไม่ใช่สลับทั้งสองชุด) หลังจากนั้นจึงจ่ายไฟให้กับขดทั้งสองก็จะทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศ มอเตอร์แบบนี้บางทีก็เรียกว่า"มอเตอร์ที่เริ่มหมุนโดยใช้ความต้านทาน" นอกจากมอเตอร์แบบที่กล่าวข้างบนแล้ว ยังมีมอเตอร์แยกเฟสที่อาศัย capacitor เป็นตัวแยกเฟสอีก 2 แบบคือ capacitor-start induction run และ capacitor-start capacitor run ดังนั้นเพื่อแยกให้เห็นความแตกต่างของมอเตอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้จึงแยกได้ดังต่อไปนี้

2.2 <u>มอเตอร์ชนิดเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุและวิ่งด้วยการเหนี่ยวนำ</u> (Capacitor start Induction-Run Motor)

มอเตอร์แบบนี้มีโครงสร้างคล้ายแบบ 2.1 ต่างกันที่ว่ามอเตอร์แบบนี้ทำให้กระแส I_s และ I_m มีเฟสแยกกันโดยใช้ตัวเก็บประจุ หรือตัวควบแน่น (capacitor or condenser) ต่ออนุกรมเข้ากับขดเริ่มทำให้หมุน (starting winding) ดังรูป 2.2-1 ตัวเก็บประจุที่ใช้นี้เป็นชนิดสารละลาย (electrolytic) ดังนั้นจึงต้องต่อขั้วบวกและลบให้ถูกต้องด้วย



รูป 2.2-1

ตัวเก็บประจุนี้จะถูกตัดออกไปโดยสวิทช์หนีศูนย์กลางหลังจากที่ มันมีความเร็วประมาณ 75%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

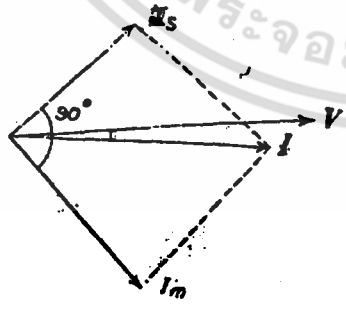
ของความเร็วที่ synchronous ตัวเก็บประจุนี้จะเก็บอยู่ที่เปลือกหรือแยกออกต่างหากจากตัวมอเตอร์ก็ได้

กระแส I_m นี้มาทีหลัง V เป็นมุมใหญ่มุมหนึ่งในขณะเดียวกัน I_s มาก่อน V เป็นมุมหนึ่งเช่นกันดังนั้นจึงทำให้ได้กระแสลัพธ์ I ซึ่งเกือบจะทับกับ V ดังนั้นจึงทำให้แรงบิดเริ่มแรกสูงซึ่งทำให้เหมาะสมที่จะนำไปขับตัวอัด (compressor) ปั๊ม (pump) เครื่องผสมเหนียว (dough mixers) และอื่นๆ

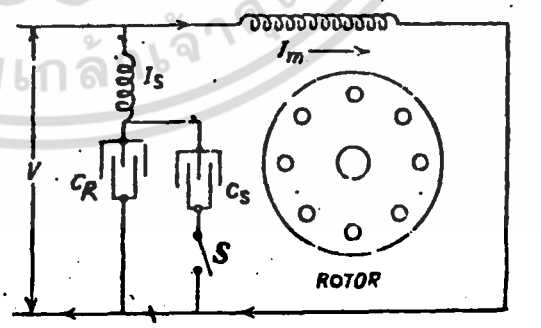
2.3 <u>มอเตอร์ที่ใช้ตัวเก็บประจุทั้งในขณะหมุนเริ่มแรกและในขณะวิ่งหรือทำงานตามปกติ</u>

(Capacitor-Start Capacitor-Run Motor)

มอเตอร์แบบนี้มีตัวเก็บประจุ 2 ตัวคือ C_s และ C_r ดังรูป 2.3-1 ตัว C_s ซึ่งใช้เป็นตัวทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนนี้ มีความจุเกือบ 3 เท่าของ C_r ซึ่งใช้สำหรับวิ่ง และเป็นตัวเก็บประจุชนิด กระดาษ (paper) ตัว C_s นี้จะถูกตัดออกไปโดยอัตโนมัติ หลังจากที่มอเตอร์หมุนได้ใกล้เคียงความเร็วที่พิกัด ในการตัด C_s นี้นอกจากใช้สวิทช์หนีศูนย์กลางเป็นตัวตัดแล้วก็อาจใช้ current coil relay เป็นตัวตัดก็ได้ส่วนใหญ่ในปัจจุบันนิยมใช้ current coil relay เป็นตัวตัดโดยการใช้ C_r ที่เหมาะสมจึงทำให้ กระแส I_s และ I_m แตกต่างกันเกือบ 90^o (รูป 2.3-2) ซึ่งทำให้เหมือนกับว่ามอเตอร์นั้นได้รับไฟจากไฟ 2 เฟส



รูป 2.3-2



รูป 2.3-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการต่อตัว เก็บประจุขนาด เล็กไว้ในวงจรของมอ เตอร์ก็คือ

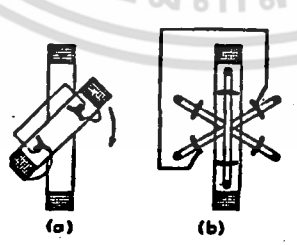
(1) ทำให้สามารถทน over-load ได้ดีขึ้น

(2) มีตัวประกอบกำลัง (p.f.) สูงขึ้นกว่า เดิม

(3) ทำให้วิ่งได้ เงียบกว่าซึ่ง เป็นสิ่งปรารถนามากในการใช้ในห้องทดลอง หรือสำนักงาน

2.4 มอ เตอร์ชนิดใช้การผลัก (Repulsion Motor)

มอ เตอร์ชนิดนี้ เป็น single phase commutator motors ชนิดหนึ่ง ซึ่งจด ทะ เบียนลิขสิทธิ์ในปี ค.ศ. 1887 ใน สหรัฐอเมริกาโดย Elihu Thomson ที่ตัวอยู่กับที่มี การพันขดลวดแบบไฟ เฟส เดียว ส่วนที่ตัวหมุนนั้นก็ เป็นแบบไฟตรงธรรมดาที่มี commutator และมีแท่งถ่านสำหรับลัดวงจร ดังรูป 2.4-1 (a) ซึ่ง เป็นมอ เตอร์ผลัก เบื้องต้นของ Elihu Thomson ส่วนรูป 2.4-1(b) นั้นก็ขยาย เพิ่ม เติมมาจากรูป (a) โดยที่มีวงจรทาง อาร์มา-เจอร์ของแต่ละชุด เป็ดวงจร ในการที่มอ เตอร์หมุนได้นั้น เกิดขึ้นจากการลัดวงจรของอาร์มา-เจอร์จากแปรงถ่านคู่หนึ่งซึ่งมีแนวแกนแยกออกไปจาก แนวแกนของขดลวดที่ตัวอยู่กับที่ในกรณี ที่ตำแหน่งแปรงถ่านที่ถูกลัดวงจรนี้อยู่ในแนวแกน เดียวหรือต่างกัน 90° กับแนวแกนขดลวดที่พัน อยู่ที่ตัวอยู่กับที่นั้นจะทำให้มอ เตอร์ไม่มีการหมุน ทั้งนี้ เพราะไม่มีแรงผลัก มันจะหมุนได้ก็ต่อ เมื่อ แปรงถ่านอยู่ระหว่างตำแหน่ง 0 กับ 90°



Elementary repulsion motor of Elihu Thomson.

รูป 2.4-1

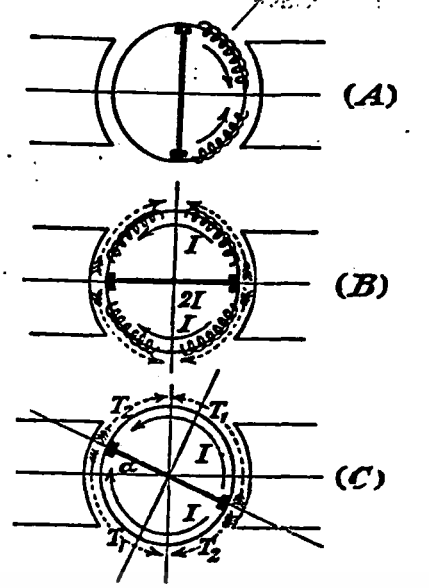
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์แบบนี้แตกต่างกับ a.c. series motor ก็ตรงที่ว่าไม่มีกระแสจากวงจรภายนอกส่งผ่านเข้าไปในอาร์มาเจอร์ ทั้งนี้เพราะแท่งถ่านถูกลัดวงจรไว้ดังรูป 2.4-2 เราเราลองมาพิจารณากันว่า เมื่อแปรงถ่านเปลี่ยนไปตั้งไว้ที่ต่างๆ แล้วจะมีอะไรเกิดขึ้นบ้างในที่นี้จะพิจารณามอเตอร์ผลักที่มีแม่เหล็ก 2 ขั้วที่ได้รับสนามกระตุ้นจากไฟสลับโดยมี อาร์มาเจอร์เป็นแบบไฟตรงธรรมดา จากรูป 2.4-2(A) ให้ตำแหน่งของแปรงถ่านที่ลัดวงจรมีแนวแกนตั้งฉากกับแนวแกนของสนามกระตุ้น ณ ตำแหน่งนี้ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น ในแต่ละครึ่งของขดลวดที่พันอาร์มาเจอร์ในทิศทางตรงกันข้าม (จากทฤฎีของสนามแม่เหล็กหมุน 2 อัน) ซึ่งทำให้หักล้างกันหมดไป เมื่อเป็นเช่นนั้นย่อมไม่ทำให้เกิดกระแสไหลในอาร์มาเจอร์ และทำให้ไม่มีแรงบิดเกิดขึ้น

จากรูป 2.4-2 (B) ตำแหน่งแปรงถ่านเลื่อนไปอยู่ในแนวแกนสนามแม่เหล็กที่เกิดจากตัวอยู่กับที่ ณ ตำแหน่งนี้ทำให้เกิดกระแส I ไหลในอาร์มาเจอร์ของแต่ละครึ่งซึ่งมีทิศทางสวนกัน กระแสเหล่านี้ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น 4 ส่วนดังลูกศรที่เป็นจุด จากรูป 2.4-2(B) นี้ซึ่งทำให้แรงทั้งหมดหักล้างกันไป ดังนั้นจึงทำให้แรงบิดเป็นศูนย์อีก

จากรูป 2.4-2 (C) ตำแหน่งแปรงถ่านเลื่อนไประหว่างแนวแกนที่ตั้งฉากกันของทั้งสองแกน ให้แนวแกนของแปรงถ่านทำมุมเอียงกับแนวแกนของสนามแม่เหล็กจากตัวอยู่กับที่ไปเป็นมุม θ และให้แรงบิดที่เกิดขึ้นเป็น T_1, T_2 ตามรูป 2.4-2 (C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.4-2 อาการที่เกิดขึ้นของมอเตอร์ชนิดผลัก

เมื่อแปรงถ่านอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ (A),(B) และ (C)

$\therefore$ แรงบิดลัพธ์ $T = 2 (T_1 - T_2)$

$\therefore$ $T \propto$ กระแสระหว่างแปรงถ่าน x ส่วนของเส้นแรงจากตัวอยู่กับที่ซึ่งอยู่ในแนว

ตั้งฉากกับแนวแกนของแปรงถ่าน

แต่กระแสระหว่างแปรงถ่าน $\propto$ ส่วนของเส้นแรงจากตัวอยู่กับที่ซึ่งอยู่ในแนว

เดียวกับแนวแกนของแปรงถ่าน

$$\propto \phi \cos \alpha$$

$$\therefore T \propto \phi \cos \alpha \phi \sin \alpha$$

$$\propto \phi \sin \alpha \phi \cos \alpha$$

$$\propto \sin \alpha \cos \alpha$$

$$\propto \sin 2\alpha$$

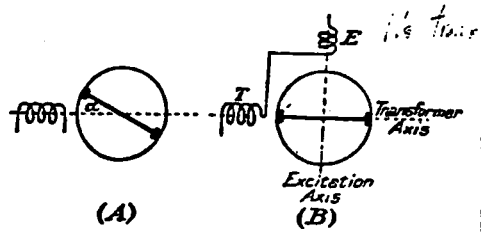
ดังนั้น T มีค่าสูงสุดเมื่อ $2\alpha = 90°$ นั่นคือ $\alpha = 45°$

รูป 2.4-3 (A) นั้นเป็นรูปที่ใช้เขียนแทนมอเตอร์ผลักจริงๆ ซึ่งเขียนแทนได้โดยรูป 2.4-3 (B) รูป B นี้แยกสนามลัพธ์ที่เกิดขึ้นบนตัวอยู่กับที่ออกเป็นส่วนตั้งฉากกันคือในแนวแกนของแปรงถ่านเรียกว่าแกนของหม้อแปลง (transformer axis) กับอีกแกนหนึ่งซึ่งตั้งฉากกับแกนนี้เรียกว่าแกนของการกระตุ้น (excitation axis) ฉะนั้นถ้ามีจำนวนขดลวดทั้งหมดของสนามแม่เหล็กเป็น T_f แล้วจะได้ว่า

$\therefore$ จำนวนรอบของขดลวด $T = T_f \cos \alpha$

จำนวนรอบของขดลวด $E = T_f \sin \alpha$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.4-3

ขดลวด E นี้ จะไม่มีการแสดงออกของการเกิดการเหนี่ยวนำจากหม้อแปลง (no transformer action) ขึ้นที่อาร์มาเจอร์ทั้งนี้เพราะขดลวดของอาร์มาเจอร์กับ E ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ยกเว้นแต่พวกขดลวดที่โดนล้อวงจรที่ความกว้างของแปรงถ่านเท่านั้น ดังนั้นจึงทำให้ขดลวด E ไม่อาจส่งพลังงานไปยังอาร์มาเจอร์ได้ หน้าที่ของ E ก็คือเป็นตัวจ่ายการกระตุ้นอย่างเดียว ในขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนอยู่นั้นได้รับพลังงานมาจากขด T ซึ่งอยู่ที่ตัวอยู่กับที่ ในขณะเดียวกันเส้นแรงแม่เหล็กของขด T ก็ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนสถิตย์ *(static emf) ขึ้นที่ขด T โดยที่แรงเคลื่อนนี้มีเฟสต่างไปจาก เส้นแรงแม่เหล็กของขด T(ϕ_t) เป็นมุม 90° แต่ ϕ_t มีมุมต่างกับสนามแม่เหล็กกระตุ้น ϕ_e = 90° ดังนั้นจึงทำให้มอเตอร์มีสนามแม่เหล็กเป็น

a) สนามแม่เหล็กหมุนเป็นวงกลมเท่ากันถ้าเส้นแรงจากแกนทั้งสองเท่ากัน($\phi_t = \phi_e$)

b) สนามแม่เหล็กหมุนเป็นรูปวงรีถ้าเส้นแรงมีขนาดต่างกัน($\phi_t \neq \phi_e$)

ในอาร์มาเจอร์มีแรงเคลื่อนไฟสถิตย์ที่เกิดจากกริยาของหม้อแปลง (transformer action) อยู่ในแนวแกนของขด T ซึ่งตั้งฉากกับ ϕ_t แต่ ϕ_t ตั้งฉากกับ ϕ_e และ ϕ_e นี้ทำให้เกิดแรงเคลื่อนพลศาสตร์ +(dynamic emf) ขึ้นในอาร์มาเจอร์ซึ่ง inphase กันกับ ϕ_e ดังนั้นแรงเคลื่อนพลศาสตร์นี้จึงมีเฟสต่างจากแรงเคลื่อนสถิตย์ 180° ดังรูป 2.4-4 ผลต่างที่ได้จากแรงเคลื่อนทั้งสอง (e_{ta} กับ e_{ea}) นี้คือแรงเคลื่อนตกคร่อม IR แต่ถ้าสมมุติว่าไม่มีความต้านทานในอาร์มาเจอร์

*แรงเคลื่อนไฟสถิตย์ก็คือ แรงเคลื่อนไฟที่เกิดจากปฏิกิริยาของหม้อแปลง

+แรงเคลื่อนไฟพลศาสตร์ คือแรงเคลื่อนไฟที่เกิดจากปฏิกิริยาของเครื่องกำเนิดไฟ

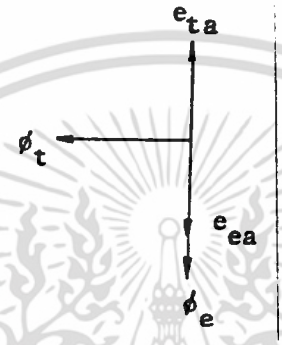
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือ $e_{ta} = e_{ea}$

ให้ ϕ_t = เส้นแรงสูงสุดของขด T

ϕ_e = เส้นแรงสูงสุดของขด E

T_a = จำนวนรอบของอาร์มาเจอร์



รูป 2.4-4 แสดงความสัมพันธ์ของเส้นแรงแม่เหล็กและแรงเคลื่อนไฟที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ผลัก

แรงเคลื่อนพลศาสตร์ $E_d \propto \phi_e T_a NP$ .....(2.4-1)

และแรงเคลื่อนสถิตย์ $E_s \propto \phi_t T_a f$ .....(2.4-2)

เมื่อ N และ P เป็นความเร็วและจำนวนขั้วแม่เหล็ก

แต่ $E_d = E_s$

$\therefore \phi_e NP = \phi_t f$

ถ้า $N_s = 120f/P$

$\therefore f \propto NP$

$\therefore \phi_e NP = \phi_t N_s P$

$\therefore \phi_t/\phi_e = N/N_s$

ดังนั้นสนามแม่เหล็กทั้งสองจะเท่ากันที่ความเร็ว synchronous เท่านั้น ณ ที่ความเร็ว N_s นี้ สนามแม่เหล็กที่ได้ก็เป็นสนามแม่เหล็กหมุนอย่างแท้จริงอันหนึ่ง

ที่ความเร็วต่ำกว่า N_s ได้ $\phi_t < \phi_e$

ที่ความเร็วสูงกว่า N_s ได้ $\phi_t > \phi_e$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

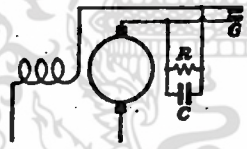
ฉะนั้นภายใต้สภาวะ เหล่านี้ย่อมทำให้สนามแม่เหล็กลัพธ์ เป็นวงรีโดยที่แกนสำคัญ (major axis) มีความเร็วต่ำกว่า, N_s กลายเป็นแกนอนุ (minor axis) ซึ่งมีความเร็วสูงกว่า แต่ที่ความเร็ว synchronous นั้นอาร์มาเจอร์และสนามแม่เหล็กหมุนมีความเร็วเท่ากัน ดังนั้นจึงไม่มีการสูญเสียในแกนเหล็กของอาร์มาเจอร์ (∴ ไม่มีความถี่ที่อาร์มาเจอร์) พร้อมกันนี้ก็ไม่มีกระแสไหลวนในขดลวดที่อยู่ภายใต้แปรงถ่านที่ความเร็วสูงกว่า synchronous ทำให้ ϕ_t สูงขึ้นอย่างมากจึงทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็กของอาร์มาเจอร์เป็นจำนวนมาก และยังทำให้เกิดประกายไฟแลบขึ้นระหว่าง commutator กับแปรงถ่านทั้งนี้เพราะมีกระแสลัดวงจรไหลวนระหว่างซี่ commutator กับแปรงถ่านที่ไปลัดวงจรของขดลวดบางขด สภาพเหล่านี้จึงเป็นตัวจำกัดความเร็วของมอเตอร์ให้มีความเร็วใกล้กับความเร็วที่ synchronous แต่ถ้าต้องการให้มีความเร็วสูงนั้นต้องทำให้ ϕ_e ลดลงไป

2.5 The Universal Motor

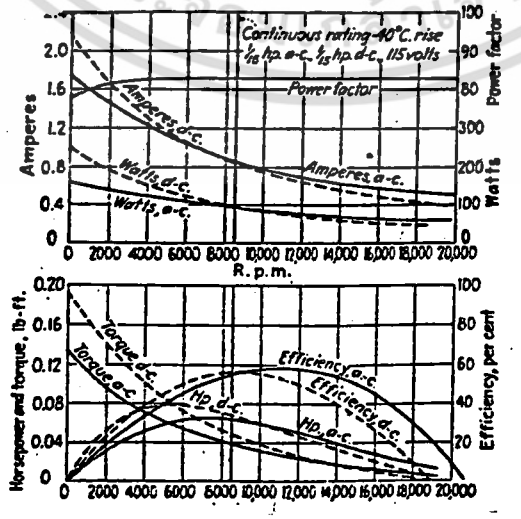
มอเตอร์แบบนี้มีใช้กันนับไม่ถ้วนในบ้าน, ที่ทำงาน, สโตร์ และโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหลายที่ต้องการใช้มอเตอร์ตัวเล็ก (ไม่ถึง 1 แรงม้า) เป็นตัวขับ มอเตอร์แบบนี้ใช้ได้ทั้งไฟสลับและไฟตรงส่วนใหญ่เป็น series motor ทั้งนี้ เพราะมีแรงบิดเริ่มแรกสูง โดยมีค่าประมาณ 3-4 เท่าของแรงบิดที่พิกัด มอเตอร์นี้ออกแบบมา เพื่อให้ใช้ได้กับไฟที่มีระดับแรงเคลื่อนอยู่ในช่วง 32-250 volts และ ความถี่ 0-60 H_z โดย มีพิกัดต่ำกว่า 3/4 แรงม้า ความเร็วเฉลี่ยสูงคืออยู่ในราว 7000 รอบ/นาที ที่ภาระปกติฉะนั้น จึงทำให้อัตราส่วนของแรงม้าต่อน้ำหนักมีค่าสูงกว่ามอเตอร์แบบธรรมดา มอเตอร์นี้ออกแบบมาให้มีสนามแม่เหล็กต่ำทั้งนี้เพื่อลดประกายไฟที่ commutator และแกนเหล็กที่ตัวอยู่กับที่ก็ต้องเป็นแบบ ที่มีน้ำยาอาบก่อน (laminated) ที่จะนำมาอัดทำเป็นแกนเหล็ก แปรงถ่านที่ใช้ก็ต้องมี ความต้านทานสูงมาก เพื่อลดกระแสหมุนวนที่เกิดจากขดลวดที่โดนลัดวงจร จากแปรงถ่านนั้นๆบางทีก็ต้องใช้ขดชดเชย (compensating) เพื่อลดประกายไฟนี้ แต่ทั่วๆไปแล้วมอเตอร์ขนาดเล็กก็ไม่จำเป็นต้องใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกตินั้น series มอเตอร์จะมีความเร็วสูงเมื่อไม่มีภาระแต่ว่า universal มอเตอร์นี้ไม่เป็นเช่นนั้น เพราะว่ามีแรงเสียดทานและแรงลบมากพอที่จะทำให้ความเร็วตอนไม่มีภาระอยู่ในค่าที่ปลอดภัยโดยที่อยู่ในช่วง 15,000-20,000 rpm ความเร็วปกติของมอเตอร์นี้ประมาณ 7,000 rpm ที่ภาระปกติ ดังนั้นจึงสูงไปสำหรับงานบางอย่างแต่ก็แก้ไขได้โดยใช้เฟืองทดแทนเพื่อลดความเร็วซึ่งมีอยู่ในตัวมอเตอร์ การเปลี่ยนความเร็วก็ทำได้โดยใช้ตัวควบคุม (governor) ให้อยู่ในช่วงที่ใช้งานได้พอสมเหตุสมผล รูป 2.5-1 ประกอบด้วยหน้าสัมผัส G หนึ่งคู่ผูกติดอยู่บนสปริงที่หมุนไปกับแกนของมอเตอร์ ในการปรับความเร็วที่ต้องการนั้นทำได้โดยทำให้หน้าสัมผัส G เปิดออกส่วน R ก็จะเป็นตัวจำกัดกระแสไม่ให้สูงไปกว่าค่าที่ตั้งไว้ส่วน C นั้นเป็นตัวจำกัดประกายไฟที่จะเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัส G รูป2.5-2 แสดงคุณลักษณะของ universal มอเตอร์ขนาด 1/16 แรงม้าซึ่งเป็นของ W.H. Fromm, (Why Use Universal Motor) Elec. Mfg.,July 1936.



รูป 2.5-1 ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ใช้ตัวควบคุมความเร็วชนิดแรงหนีศูนย์



รูป 2.5-2 เส้นโค้งต่างๆแสดงคุณลักษณะของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

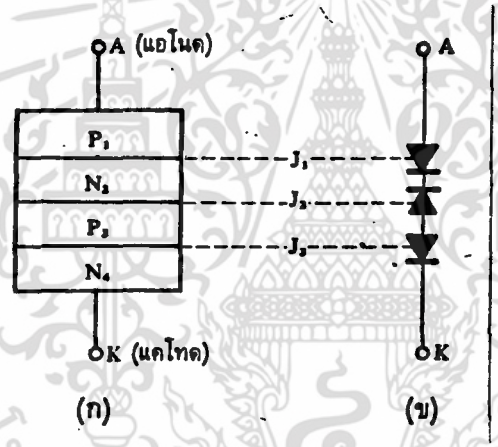
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หอสมุดคณะวิทยาศาสตร์ จุฬ.

บทที่ 3

ไธริสเตอร์และการเรียงกระแสที่มีการควบคุม

ไธริสเตอร์เป็นชื่อรวมหรือชื่อตระกูล (family name) ของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ผลิตขึ้นจากสารกึ่งตัวนำแบบพีและแบบเอ็นเรียงสลับกันเป็นชั้นๆ ตั้งแต่สี่ชั้นขึ้นไปซึ่งทำให้เกิดรอยต่อพีเอ็นสามรอยต่อขึ้นเรียงกันเป็นอนุกรม (รูปที่ 3)สามารถทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิดวงจร สามารถควบคุมจังหวะการเปิดให้นำกระแสได้สามารถนำไปควบคุมกำลังไฟฟ้าใหญ่ได้ ถูกผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ.2500 โดย General Electric Company



รูป 3 (ก) การเรียงสารกึ่งตัวนำแบบพีและแบบเอ็นเป็นชั้น PNPN

(ข) รูปสมมูลของสิ่งประดิษฐ์ PNPN เป็นไดโอดสามตัวต่อเรียงกัน

ไธริสเตอร์มีสมาชิกหลายชนิดซึ่งอาจมีคุณสมบัติให้กระแสไหลได้ทางเดียว หรือ ให้กระแสไหลได้สองทางและอาจมีขั้ว สองขั้ว สามขั้วหรือสี่ขั้ว ดังเช่น

เอสซีอาร์ (SCR = silicon controlled rectifier) เป็นไธริสเตอร์ชนิดที่มีสามขั้วคือ Anaode Cathode และ Gate มีคุณสมบัติให้กระแสไหลได้ทิศทางเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากอาโนดไปยังคาโทด และอาจเรียกชื่อว่าไตรโอดไธริสเตอร์ที่กั้นกระแสไม่ให้กระแสไหลกลับ

ไตรแอค (Triac = triode ac switch) เป็นไธริสเตอร์ชนิดที่มีสามขั้ว คือ เกท และอีกสองขั้วเป็นได้ทั้งอาโนดและคาโทด เพราะว่าไตรแอคมีคุณสมบัติให้กระแสไหลได้สองทิศทาง และอาจเรียกชื่อว่าไตรโอดไธริสเตอร์ที่ให้กระแสไหลได้สองทิศทาง (bidirectional triode thyristor)

เอสซีเอส (SCS = silicon controlled switch) เป็นไธริสเตอร์ชนิดที่มีสี่ขั้ว คือ อาโนด คาโทด เกตบวกและเกตลบ มีคุณสมบัติให้กระแสไหลได้ทิศทางเดียว และอาจมีชื่อเรียกว่า เตโตรดไธริสเตอร์ที่กั้นไม่ให้กระแสไหลกลับ (reverse blocking tetrode thyristor)

เอสยูเอสหรือช็อคเลย์ไดโอด (SUS = silicon unilateral switch หรือ Shockley diode) เป็นไธริสเตอร์ชนิดที่มีสองขั้ว คือ อาโนดกับคาโทด และมีคุณสมบัติให้กระแสไหลได้ทิศทางเดียว เป็นต้น

3.1 หลักการทำงานและลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์

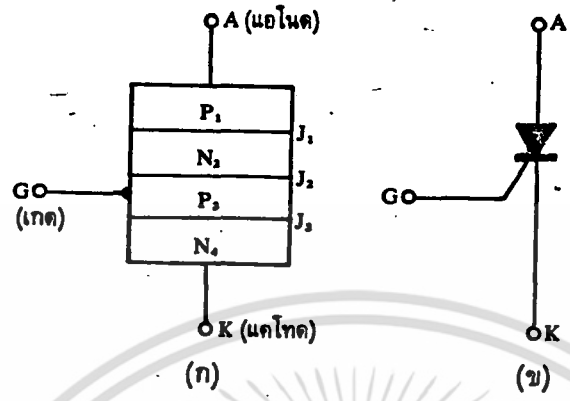
เอสซีอาร์เป็นไธริสเตอร์ชนิดหนึ่งที่มีสามขั้วเรียกว่า อาโนด(A) และคาโทด(K) และเกต(G) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายรูป 3 (ซึ่งเป็นรูปโครงสร้างของเอสยูเอส) ยกเว้นแต่ว่าที่ชั้นของสาร P_3 มีขั้วเกต(G) เข้าต่อติดดังแสดงในรูปที่ 3.1.1(ก) และเขียนสัญลักษณ์แทนด้วยรูปที่ 3.1.1(ข)

เมื่อต่อเอสซีอาร์เข้ากับวงจรไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3.1.2 (ก) ถ้าปิดสวิตช์ Sw_1 และ Sw_2 ลงแล้วปรับค่าแรงดันเลี้ยงวงจรอาโนด E_{AA} และวงจรเกต E_{GG} ให้เหมาะสม เราจะได้เส้นโค้งลักษณะสมบัติดังแสดงในรูปที่ 3.1.2 (ข) โดยให้ยึดถือหลักที่ว่า กระแสอาโนด I_A และกระแสเกต I_G มีค่าบวกถ้ากระแสไหลเข้าสู่ขั้วของเอสซีอาร์ และแรงดันอาโนด V_A และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

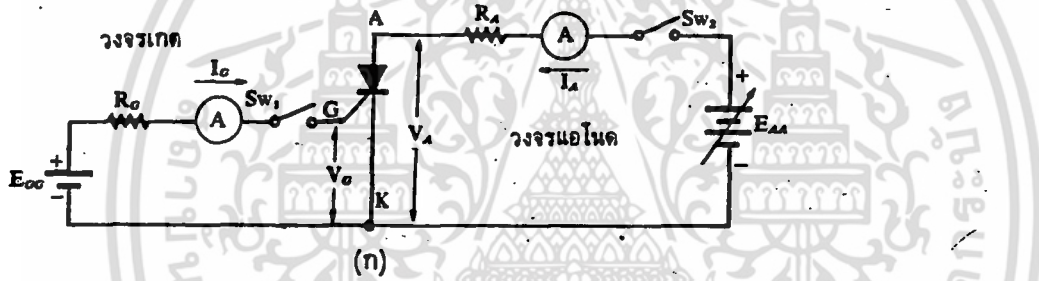
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

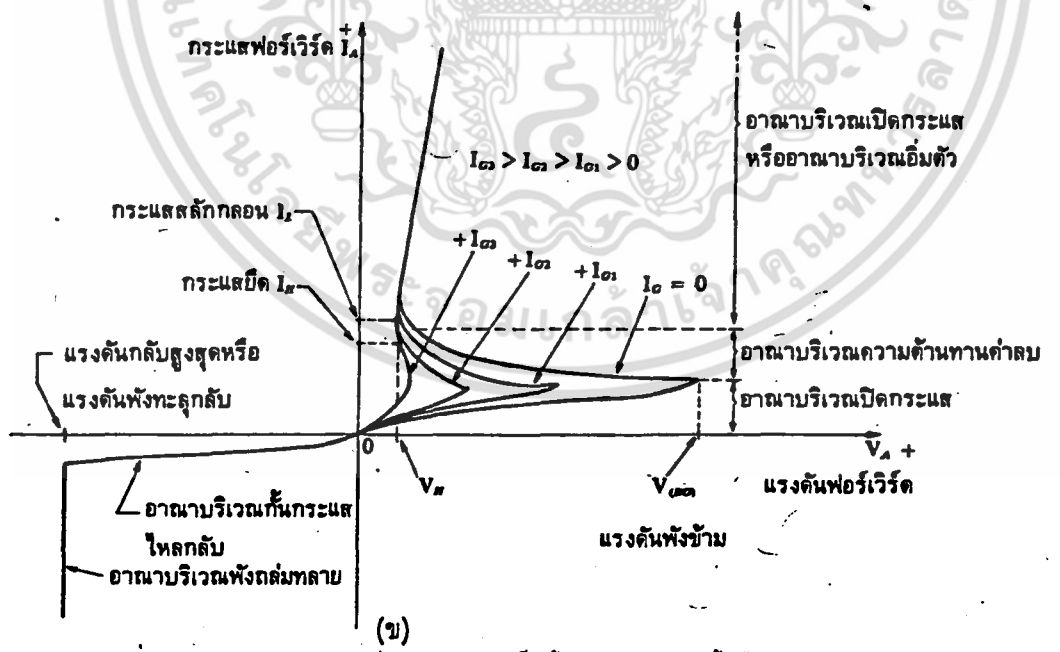
แรงดันเกต V_G มีค่าบวกถ้าอาโนดและเกตมีศักย์สูงกว่าคาโทดดังที่เขียนไว้ในรูปที่3.1.2(ก)



รูปที่ 3.1.1 (ก) โครงสร้างของเอสซีอาร์

(ข) สัญลักษณ์ของเอสซีอาร์





รูปที่ 3.1.2 (ก) การต่อเอสซีอนาร์เข้ากับวงจรไฟฟ้าโดยแสดงกระแส

และแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าบวก

(ข) เส้นโค้งลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเริ่มต้นการทดลองให้เปิดสวิตช์ Sw_1 ไว้ ปิดสวิตช์ Sw_2 ลง และให้แรงดันอาโนด V_A มีค่าเริ่มต้นจากน้อยไปหามาก โดยให้ $I_G = 0$ แล้วเพิ่มค่าแรงดันอาโนดจากศูนย์ให้ขึ้นทางบวก หรือในทิศฟอร์เวิร์ดเราจะเห็นกระแส I_A เพิ่มค่าจากศูนย์เพียงเล็กน้อย เรียกว่า "เอสซีอาร์อยู่ในสภาวะปิดกระแส" แต่เมื่อแรงดัน V_A เพิ่มค่าสูงถึงค่า $V_{(BO)}$ ซึ่งเรียกว่า "แรงดันพังข้าม" (breakover voltage) แล้วเอสซีอาร์เปลี่ยนสถานะเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสได้เองโดยต้องการเวลาชั่วครู่หนึ่ง เรียกว่า "เวลาเปิดกระแส" (turn-on time) (ดูนิยามในหัวข้อ 3.2) เราเรียกช่วงนี้ว่า "อาณาบริเวณปิดกระแส หรืออาณาบริเวณกั้นกระแสทิศฟอร์เวิร์ด" (cut-off region หรือ forward blocking region)

ถ้าเราควบคุมกระแส I_A ให้เพิ่มค่าสูงขึ้นทีละน้อยด้วยการเพิ่มค่าแรงดันอาโนด E_{AA} เราจะเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าของ V_A ดังแสดงในรูปที่ 3.1.2 (ข) ซึ่งเมื่อภายหลังที่ค่าแรงดัน V_A นี้ได้ผ่านค่าแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ แล้ว เราสามารถแบ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้ออกได้เป็นสองช่วง ช่วงแรกเป็นช่วงที่แรงดันอาโนด V_A ลดค่าลงจากแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ ไปสู่ค่า V_H และกระแส I_A เพิ่มค่าสูงขึ้นจากค่า $I_{(BO)}$ (อยู่ตรงจุดเกินแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$) ไปสู่ค่า I_H (อยู่ตรงจุดเกิด V_H) โดยกระแส I_H นี้เป็นค่ากระแสที่น้อยที่สุดที่สามารถรักษาให้เอสซีอาร์อยู่ในสถานะเปิดกระแส เรียกกระแสนี้ว่า "กระแสโฮลดิง" (holding current) โดยช่วงนี้เป็นช่วงของการที่เอสซีอาร์กำลังเปลี่ยนสถานะจากสภาวะปิดกระแสเข้าสู่สภาวะเปิดกระแส เราเรียกช่วงนี้ว่า "อาณาบริเวณของความต้านทานค่าลบ (negative resistance region) ช่วงที่สองเป็นช่วงที่กระแส I_A มีค่าใหญ่กว่ากระแส I_H เล็กน้อยไปจนถึงค่าที่ใหญ่มากมายโดยแรงดันอาโนดเพิ่มค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย เราเรียกช่วงที่สองนี้ว่า "อาณาบริเวณเปิดกระแส หรือ "อาณาบริเวณอิ่มตัว" (high conduction region หรือ saturation region) กระแส I_A ที่ไหลอยู่ในช่วงนี้มีค่าใหญ่มากจะสามารถทำอันตรายต่อเอสซีอาร์ให้ชำรุดเสียหายได้ เราจึงจำเป็นต้องใช้ความต้านทาน R_A ที่มีค่าใหญ่ต่ออนุกรมเข้าในวงจรอาโนดเพื่อจำกัดกระแส I_A ไม่ให้มีค่าใหญ่มากเกินไป ถ้าเราต้องการให้เอสซีอาร์ที่อยู่ในสถานะที่เปิดกระแส เปลี่ยนกลับไปสู่สถานะปิดกระแสให้เรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดกระแสอาโนด I_A ให้มีค่าต่ำลงกว่ากระแส I_H ในขณะที่ $I_G = 0$ ยังมีกระแสอีกชื่อหนึ่ง คือ กระแส latching I_L ซึ่งนิยามว่าเป็น กระแสที่เล็กที่สุดที่สามารถรักษาให้เอสซีอาร์อยู่ในสถานะเปิดกระแสทันทีทันใดภายหลังจากการเปลี่ยนสถานะ จากสภาวะปิดกระแสไปสู่สภาวะเปิดกระแสโดยปลดเอาสัญญาณป้อนเข้าเกตออก ซึ่งเมื่อเราได้ลดกระแส I_H ให้ต่ำกว่ากระแส I_L ได้แล้ว เอสซีอาร์จะหยุดเปิดกระแส เราเรียกช่วงนี้ว่า "อาณาบริเวณปิดกระแส หรือ อาณาบริเวณกั้นกระแสทิศฟอร์เวิร์ด" (forward blocking region) การเปลี่ยนสภาวะนี้ต้องการเวลาชั่วครู่หนึ่ง เรียกว่า "เวลาปิดกระแส"(turn-off time)t_q การลดกระแส I_A ให้ต่ำกว่ากระแส I_L แล้วเปลี่ยนกลับกระแสสูงขึ้นไปใหม่ในระยะเวลาที่สั้นกว่าเวลาปิดกระแสของเอสซีอาร์ แล้วเอสซีอาร์จะกลับเข้าสู่สถานะเปิดกระแสต่อไปตามเดิม กระแสเกต I_G มีอิทธิพลมากในการช่วยให้เอสซีอาร์จากสภาวะปิดกระแสเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องใช้แรงดันอาโนด V_A สูงมาก ซึ่งเมื่อเราจัดให้ I_G มีค่าใหญ่มากขึ้นจะยิ่งทำให้แรงดันพังข้ามของเอสซีอาร์ต่ำลง

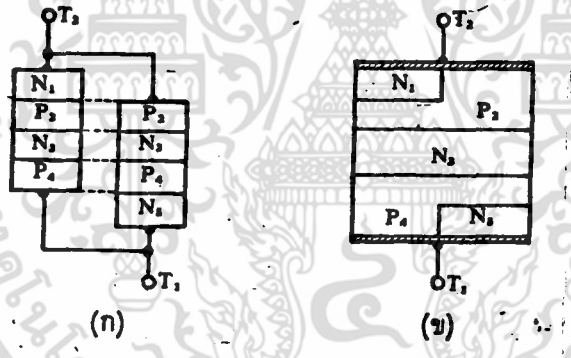
เมื่อจัดให้แรงดันอาโนด V_A มีค่าลบหรือมีแรงดันกลับ (reverse voltage)กระแสอาโนดจะไหลกลับทางและมีค่าน้อยมาก เรียกช่วงนี้ว่า "อาณาบริเวณกั้นกระแสไหลกลับ" (reverse blocking region) ต่อเมื่อเราเพิ่มค่าแรงดันอาโนดค่าลบไปจนถึงค่าที่เรียกว่า "แรงดันพังทะลุกลับ" (reverse breakdown voltage) กระแสอาโนดจะไหลเพิ่มค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยทั่วๆไป ผู้ผลิตเอสซีอาร์จะออกแบบให้เอสซีอาร์มีค่าแรงดันพังทะลุกลับมีค่าเท่ากับหรือใหญ่กว่าค่าแรงดันพังข้ามทิศฟอร์เวิร์ดในขณะ $I_G = 0$

3.2 หลักการทำงานและลักษณะสมบัติของไตรแอค

ไตรแอคดป็นไธริสเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่มีสามขั้วคล้ายเอสซีอาร์แต่สามารถให้กระแสไหลผ่านได้ทั้งสองทิศทางซึ่งแตกต่างกับเอสซีอาร์ที่สามารถให้กระแสไหลผ่าน ในทิศฟอร์เวิร์ดได้ทิศทางเดียว ดังนั้นเราจึงไม่สามารถเรียกขั้วทั้งสองของไตรแอค (ที่มีรูปร่างใหญ่ที่ใช้เป็น

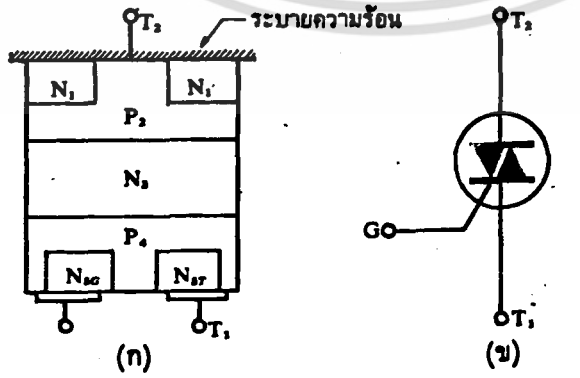
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วสำหรับกระแสไหลเข้าออก) ว่าขั้วใดเป็นอาโนด หรือว่าขั้วใดเป็นคาโทด แต่เรียกเป็นขั้ว T_1 และ T_2 แทน และขั้วที่สามมีรูปร่างเล็กนั้นเป็นขั้วเกต(G)ไตรแอคมีหลักการทำงานเหมือนกับเอสซีอาร์สองตัวต่อขนานกันแต่กลับขั้วกัน ซึ่งคล้ายกับเอาสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำพีเอ็นพีเอ็นสองชิ้นมาต่อขนานแต่กลับขั้วกันดังแสดงในรูปที่ 3.2.1(ก) ซึ่งจะเห็นว่ามีชั้นของสารกึ่งตัวนำแตกต่างกันห้าชั้นคือ $N_1P_2N_3P_4N_5$ เมื่อนำเข้ารวมกันเป็นโครงสร้างอย่างเดียวกันก็จะเขียนได้ดังรูปที่ 3.2.1(ข) เมื่อต่อขั้วเกตและดัดแปลงโครงสร้างภายในให้เป็นแบบลัดวงจรอีมิเตอร์ (shorted emitter structure)ดังแสดงในรูปที่ 3.2.2(ก) เราจะได้ไตรแอค ซึ่งมีสัญลักษณ์ดังแสดงในรูปที่ 3.2.2 (ข) โดยทั่วๆไป เราใช้ขั้ว T_1 ที่แสดงในรูปที่ 3.2.2 นี้เป็นขั้วอ้างอิง เช่น เมื่อกล่าวว่า แรงดันที่ขั้ว T_2 เป็นบวก จะมีความหมายว่าขั้ว T_2 มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าขั้ว T_1 เป็นต้น



รูปที่ 3.2.1 (ก) การต่อสิ่งประดิษฐ์พีเอ็นพีเอ็นสองชิ้นอย่างขนานแต่กลับขั้วกัน

(ข) โครงสร้างรวมของ (ก)



รูปที่ 3.2.2 (ก) โครงสร้างภายในของไตรแอค (ข) สัญลักษณ์ของไตรแอค

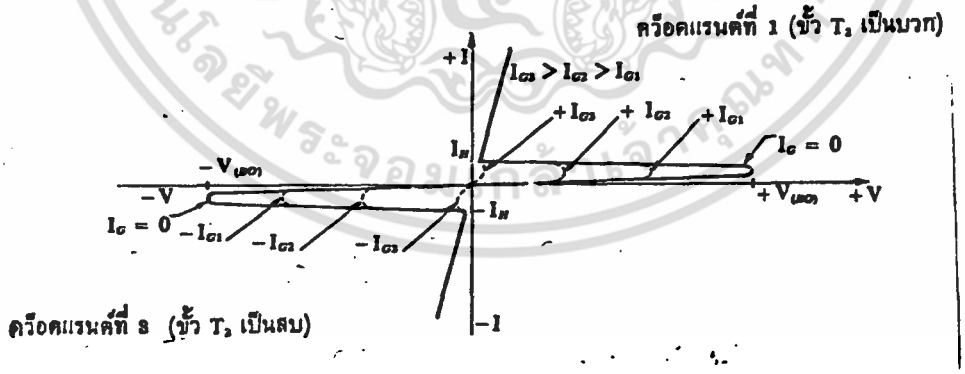
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่มีโครงสร้างแบบลัดวงจรอีมิเตอร์ ก็คล้ายกับใส่ความต้านทานเข้าขนานระหว่างเกตกับคาโทดเพื่อแบ่งกระแสรั่วที่เกิดขึ้นเนื่องจากกาย้อย และเนื่องจากประจุเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันคร่อมรอยต่อระหว่างเกตกับคาโทด วิธีการนี้อาจทำให้การป้อนกลับค่าบวกมีผลลดน้อยลงแต่กลับทำให้ไตรแอคทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูง และเมื่อแรงดันเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

ไตรแอคมีข้อดีที่มีราคาถูกกว่าเอสซีอาร์ ไตรแอคตัวเดียวสามารถใช้แทนเอสซีอาร์สองตัวที่ต่อขนานกันและต่อขั้วกลับกัน และแรงดันกลับทางที่สูงมากซึ่งทำให้เอสซีอาร์ชำรุดนั้น เมื่อนำมาป้อนเข้าไตรแอคแล้วแรงดันนี้เพียงแต่ทำให้ไตรแอคนำกระแสได้เท่านั้น ข้อเสียของไตรแอคคือไม่สามารถใช้กับวงจรที่มีความถี่สูงได้

การนำกระแสของไตรแอคจะเป็นดังเส้นโค้งลักษณะสมบัติดังแสดงในรูปที่ 3.2.3 ซึ่งซึ่งจะคล้ายกับเส้นโค้งลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์สำหรับสภาวะ เปิดนำกระแสสองเส้นมาต่อกลับหัวกัน

เมื่อ $I_G = 0$ ไตรแอคจะเปลี่ยนสถานะไปสู่สภาวะเปิดกระแสได้เองถ้าแรงดันที่ขั้ว T_2 มีค่าบวกและสูงถึงแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ (ดูควอดแรนต์ที่ 1 ของรูปที่ 3.2.3) หรือถ้าแรงดันที่ขั้ว T_2 เป็นลบและสูงถึงแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ (ดูควอดแรนต์ที่ 3 ของรูปที่3.2.3)



รูป 3.2.3 เส้นโค้งลักษณะสมบัติของไตรแอค

ไตรแอคที่กำลังอยู่ในสภาวะเปิดกระแสอาจเปลี่ยนกลับเข้าสู่สภาวะปิดกระแสได้ถ้าลดกระแสไหลผ่านไตรแอค I ลงให้เหลือน้อยกว่าค่ากระแส I_H เป็นเวลานานมากกว่าเวลาปิดกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไตรแอคซึ่งอยู่ในสภาวะปิดกระแสอาจ เปลี่ยนสถานะ เข้าสู่สภาวะ เปิดกระแสได้โดยใช้แรงดันที่ขั้ว T_2 น้อยกว่าแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ พร้อมกับใช้กระแส เกตค่าต่างๆ ซึ่งสามารถทำได้ 4 วิธี คือ

1) แบบ I^+ (ควอดแรนต์ที่ 1) เมื่อแรงดันที่ขั้ว T_2 เป็นบวกและแรงดันที่ขั้ว เกต เป็นบวก

2) แบบ I^- เมื่อแรงดันขั้ว T_2 เป็นบวก และแรงดันขั้ว เกต เป็นลบ

3) แบบ III^+ เมื่อแรงดันขั้ว T_2 เป็นลบ และแรงดันขั้ว เกต เป็นบวก

4) แบบ III^- (ควอดแรนต์ที่ 3) เมื่อแรงดันขั้ว T_2 เป็นลบและแรงดันขั้ว เกต เป็นลบ

ไตรแอคในท้องตลาดปัจจุบันสามารถทำงานได้ว่องไวตามวิธีแบบ I^+ และแบบ III^- มากที่สุด แบบ I^- จะให้ความว่องไวรองลงมา และแบบ III^+ มีความว่องไวต่ำมากจึงไม่นิยมใช้แบบ I^- และแบบ III^+

3.3 การจุดชนวนไธริส เตอร์

1) ใช้ป้อนแรงดันค่าบวก เข้าที่ขั้ว เกต การป้อนแรงดันค่าบวก เข้าที่ขั้ว เกตของ เอสซีอาร์ เป็นผลให้มีกระแส เกต เพิ่มค่าสูงขึ้น เอสซีอาร์ก็จะ เปิดนำกระแสได้ วิธีนี้เป็นวิธีที่ เรานิยมใช้จุดชนวนให้ไธริส เตอร์ เปิดนำกระแสทั่วๆไป

2) ใช้ "แสง" ช่วยจุดชนวน ไธริส เตอร์แบบที่ใช้แสงจุดชนวนนี้ เป็นแบบที่ เรียกว่า "แอล เอ เอสซีอาร์" (LASCR = light activated SCR) สร้างขึ้นโดยให้มีช่องไปร่งแสง เพื่อให้แสงลอดไปถึงสารพีที่ เป็นขั้ว เบสของ ทรานซิส เตอร์ NPN ด้วยคุณสมบัติรอยต่อพี เอ็นที่สามารถ เกิดคู่ของอิ เล็กตรอนและโฮลขึ้นได้ เมื่อมีรังสีพลังงานตกกระทบ (โดยคุณสมบัตินี้สามารถผลิตโฟโตไดโอด (photodiode) และ โฟโตทรานซิส เตอร์ (phototransistor) ออกมาใช้งาน) เมื่อมีคู่ของอิ เล็กตรอนและโฮลขึ้นจำนวนมากก็จะ เกิดกระบวนการป้อนกลับค่าบวกและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปิดให้ไธริส เตอร์นำกระแส

3) ใช้แรงดันพังข้ามทำให้ไธริส เตอร์ เปิดกระแส โดยการป้อนแรงดันสูง เข้าระหว่างอาโนดกับคาโทดของไธริส เตอร์ในทิศฟอร์ เวิร์ดจะทำให้ ชั้นปลอดพาหะที่รอยต่อ J_2 กว้างออก และแรงดันจะไปทำให้ พาหะข้างน้อยมีอัตรา เร่งสูงขึ้นวิ่งข้ามรอยต่อ J_2 เข้าชนกับอะตอมสารกึ่งตัวนำ เป็นผลให้พาหะข้างน้อยหลุด เพิ่มออกมา เมื่อแรงดันอาโนดถึงค่าแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ ก็ทำให้รอยต่อ J_2 เกิดพังถล่มทลาย ทำให้รอยต่อ J_2 กลาย เป็นถูกฟอร์ เวิร์ดไบแอส ทำให้กระแสอาโนดไหลผ่านไธริส เตอร์ได้มากมาย และไธริส เตอร์จึง เข้าอยู่ในสภาวะ เปิดกระแส

4) ใช้การ เปลี่ยนแปลงแรงดันต่อ เวลาในอัตราสูง (dv/dt) เข้าจุดชนวน เมื่อแรงดันที่ต่ออยู่ระหว่างอาโนดกับคาโทดของไธริส เตอร์ในทิศฟอร์ เวิร์ด เปลี่ยนแปลงค่าด้วยอัตรา เร็วสูง จึงทำให้ เกิดกระแส เกตชั่วครู่ซึ่งกระแสนี้ เกิดขึ้นจากค่าความจุ (C) ระหว่างอาโนดกับ เกตและระหว่าง เกตกับคาโทดด้วยค่าตามสูตร $i = c\ dv/dt$

กระแส เกตนี้จะไปทำให้ เกิดกระบวนการป้อนกลับค่าบวกขึ้นและไธริส เตอร์ก็ เข้าอยู่ในสภาวะ เปิดกระแส

5) ใช้อุณหภูมิสูง เข้าจุดชนวน ที่อุณหภูมิสูงของรอยต่อ J_2 ซึ่งตามปกติถูกไบแอสกลับจะมีพาหะข้างน้อยซึ่งทำให้กลาย เป็นกระแสรั่วมีค่า เพิ่มขึ้น เป็นสอง เท่าทุกๆครั้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น 80° ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิสูงมากพอก็จะมีพาหะข้างน้อยจำนวนมากที่ทำให้ เกิด เป็นกระแสที่มีขนาดสูงพอที่จะไปทำให้ เกิดกระบวนการป้อนกลับค่าบวก และทำให้ไธริส เตอร์สามารถ เข้าสู่สภาวะ เปิดกระแสได้

วิธีต่างๆดังกล่าวข้างบนนี้วิธีที่หนึ่ง ซึ่ง เป็นวิธีที่ใช้แรงดันค่าบวกป้อน เข้า เกต จะ เป็นวิธีที่ เรานิยมใช้มากที่สุด ศักย์บวกที่ดีที่ป้อนให้ เกตต้องสามารถให้กระแส เกต เป็นพัลส์ที่มีสันหน้าสูงชัน และ เนื่องจาก เมื่อไธริส เตอร์ เปิดกระแสก็สามารถนำกระแสต่อไป ได้โดยไม่ต้องการกระแส เกตอีก ดังนั้นกระแส เกตควร เป็นพัลส์ที่มีช่วงสั้นๆแต่มีความสูงของพัลส์สูงขึ้น เมื่อช่วงของพัลส์สั้นลง ก็สามารถทำให้ไธริส เตอร์ เปิดกระแสได้ดีและทำงาน เชื่อถือได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรจุดชนวน

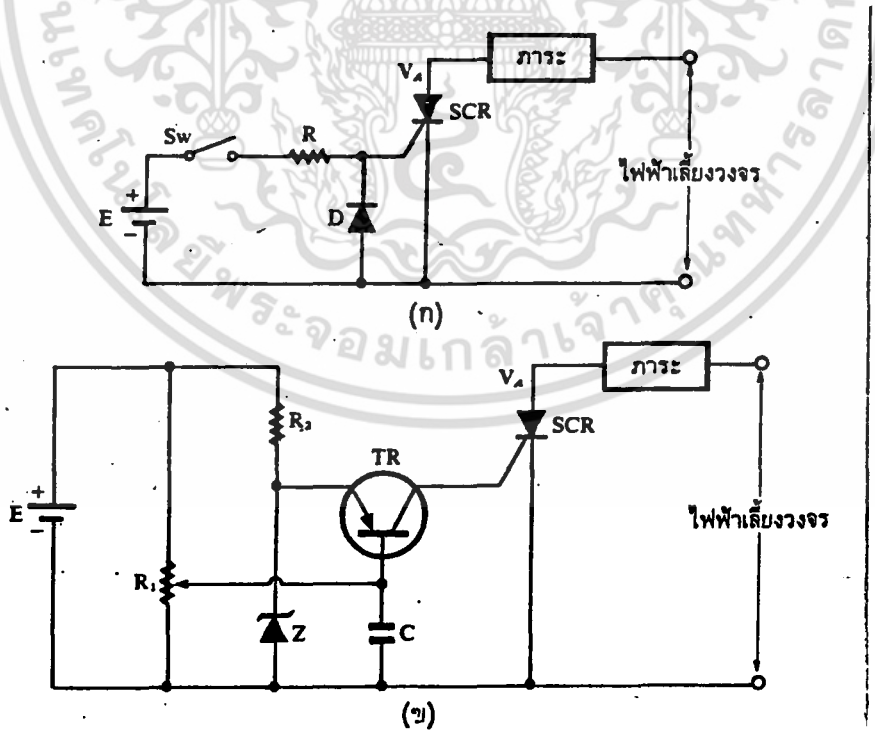
เนื่องจากวิธีการจุดชนวนไธริสเตอร์ที่เรานิยมมาก เป็นวงจรไฟฟ้า และ ด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2 นั้นเราต้องออกแบบวงจรจุดชนวนให้ได้ตามความต้องการต่อไปนี้

1) ต้องสามารถจุดชนวนได้ ถึงแม้ว่าจะเปลี่ยนไธริสเตอร์เป็นตัวอื่นแต่ยังคงเป็นเบอร์เดียวกันอยู่

2) ต้องมีแรงดันและกำลังไม่สูงเกินกว่าเกตจะทนทานได้

3) ต้องแน่ใจได้ว่า การจุดชนวนจะต้องไม่เกิดจากสัญญาณรบกวนอื่นๆ

1) วงจรจุดชนวนด้วยไฟฟ้าดีซี โดยใช้แหล่งจ่ายไฟ DC ต่อเข้าเกตของเอสซีอาร์ ผ่านสวิตช์ Sw และความต้านทาน R ดังแสดงในรูปที่ 3.3.1 (ก) ไดโอด D ทำหน้าที่ป้องกันแรงดันกลับไม่ให้ป้อนเข้าไประหว่างขั้วคาโทดกับเกตของไธริสเตอร์ในช่วงเวลา ครึ่งวัฏจักรลบมาถึง



รูป 3.3.1 วงจรจุดชนวนด้วยไฟฟ้าดีซีอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

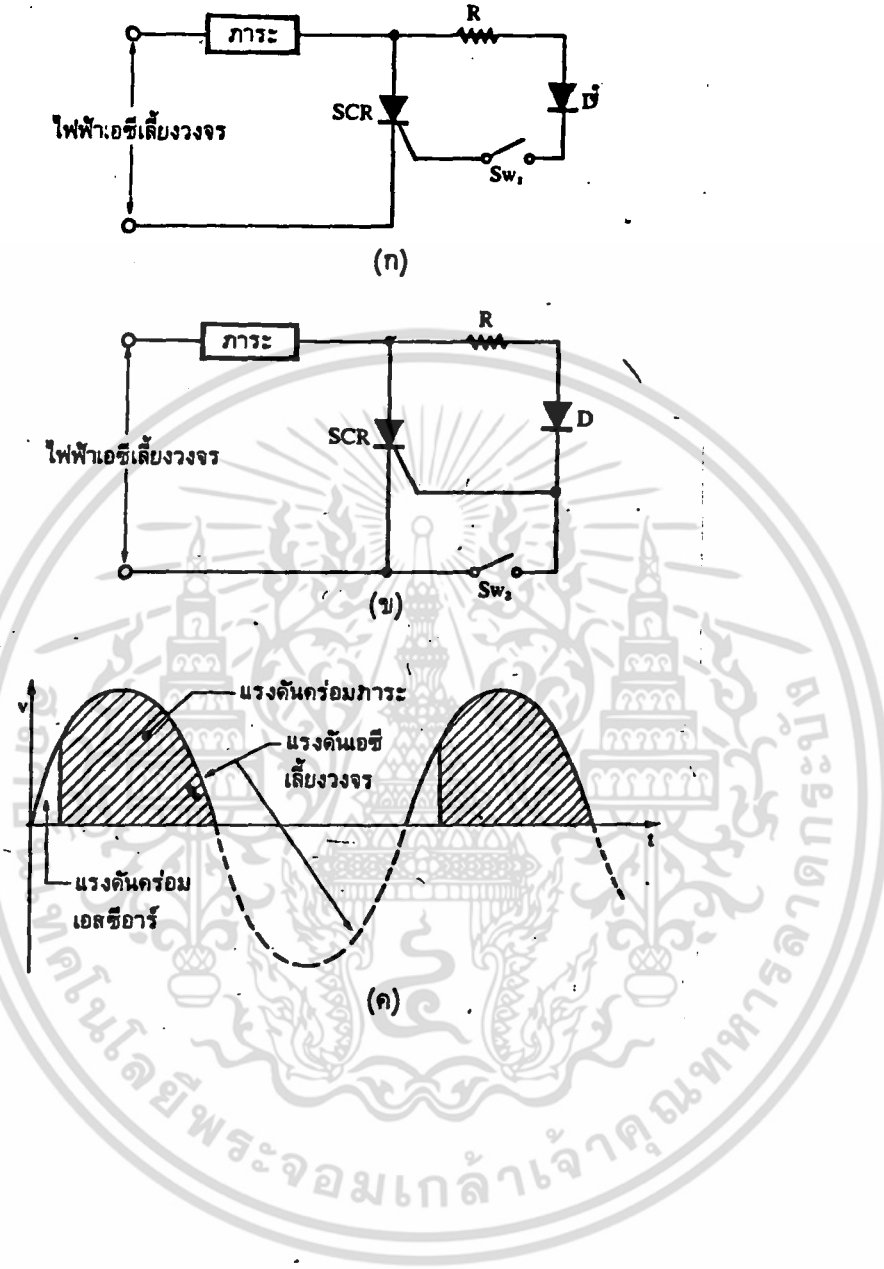
สวิตช์ Sw ที่เห็นเป็นสวิตช์ก้านเดี่ยว (single-pole) นั้นความจริงอาจเป็นหลอดนีออน ไดแอค (diac) ซีเนอร์ไดโอด (Zener diode) ทรานซิสเตอร์ หรือเอสซีอาร์ที่มีขนาดเล็ก ฯลฯ รูปที่ 3.3.1 (ข) แสดงการใช้ทรานซิสเตอร์ TR แทนสวิตช์ Sw นี้ เอสซีอาร์ในวงจรของรูปที่ 3.3.1 ทำหน้าที่เป็นเป็นสวิตช์ปิดเปิดวงจรขนาดใหญ่

การที่มีกระแสเกตไหลต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลาดังในรูปที่ 3.3.1 ทำให้เกิดมีกำลังสูญกระจายในเอสซีอาร์จึงไม่เป็นที่นิยมใช้ในการปฏิบัติ ยกเว้นแต่ว่าในวงจรที่ใช้งานนั้น เอสซีอาร์ได้ปิดกระแสไปก่อนที่กำลังสูญกระจายจะไปทำให้เอสซีอาร์ร้อนเกินกว่าขีดที่จะยอมให้ได้

รูปที่ 3.3.2 แสดงวงจรจุดชนวนที่ดัดแปลงเอาไฟฟ้าเอซีจากไฟเลี้ยงวงจรมาเรียงกระแสให้เป็นไฟฟ้าดีซีด้วยไดโอด D และใช้ความต้านทาน R จำกัดค่าช่วงสูงสุดของกระแสเกตไม่ให้มาก วิธีการทำให้เอสซีอาร์เปิดกระแสคือ ในรูปที่ 3.3.2 (ก) ให้ปิดสวิตช์ Sw_1 ลง สำหรับรูปที่ 3.3.2 (ข) ให้เปิดสวิตช์ Sw_2 ขึ้น แล้วเอสซีอาร์จะปิดกระแสเมื่อครึ่งคลื่นลบมาถึงโดยไดโอด D ทำหน้าที่กั้นแรงดันกลับที่จะป้อนเข้าเกต เอสซีอาร์จะเปิดและปิดกระแสอีกในวัฏจักรต่อไปเมื่อมีการกระทำซ้ำเติม

2) วงจรจุดชนวนด้วยเฟสของสัญญาณเอซี โดยใช้แรงดันเอซีเลี้ยงวงจรเข้าจุดชนวนผ่านความต้านทานที่แปรค่าได้ R ดังแสดงในรูปที่ 3.3.3 (ก) ซึ่งจะทำให้เอสซีอาร์เปิดกระแสขึ้นเมื่อกระแสเกตมีค่าใหญ่เพียงพอซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับความต้านทาน R และค่าของแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ ในครึ่งวัฏจักรบวกระหว่างเฟส (หรือมุม) 0° ถึง 90° และเอสซีอาร์จะปิดกระแสเมื่อครึ่งวัฏจักรลบมาถึงซึ่งมีรูปคลื่นแรงดันดังแสดงในรูปที่ 3.3.3 (ข) วงจรนี้เป็นวงจรที่มีราคาถูกแต่เกตของเอสซีอาร์อาจชำรุดได้เมื่อครึ่งวัฏจักรลบมาถึง จึงได้มีการปรับปรุงแก้ไขด้วยการใช้ไดโอด D เข้ากั้นแรงดันกลับที่เข้าขั้วเกต ดังเขียนแสดงในรูปที่ 3.3.4 (ก) ซึ่งวงจรสามารถควบคุมให้เอสซีอาร์เปิดกระแสแปรค่ามุมจาก 0° (คือเปิดให้นำกระแสครึ่งคลื่นเต็ม 100%) ถึงมุม 90° (คือเปิดให้นำกระแสครึ่งคลื่น 50%) เราจึงชอบนำไปใช้ในการควบคุมกระแสที่เรียกว่า"วิธีควบคุมเฟส"(phase control)ขอให้เราสังเกตว่ารูปที่ 3.3.4 (ก) นี้ไม่สามารถควบคุมใหญ่เกินกว่า 90°ได้ และ α เป็นมุมจุดชนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



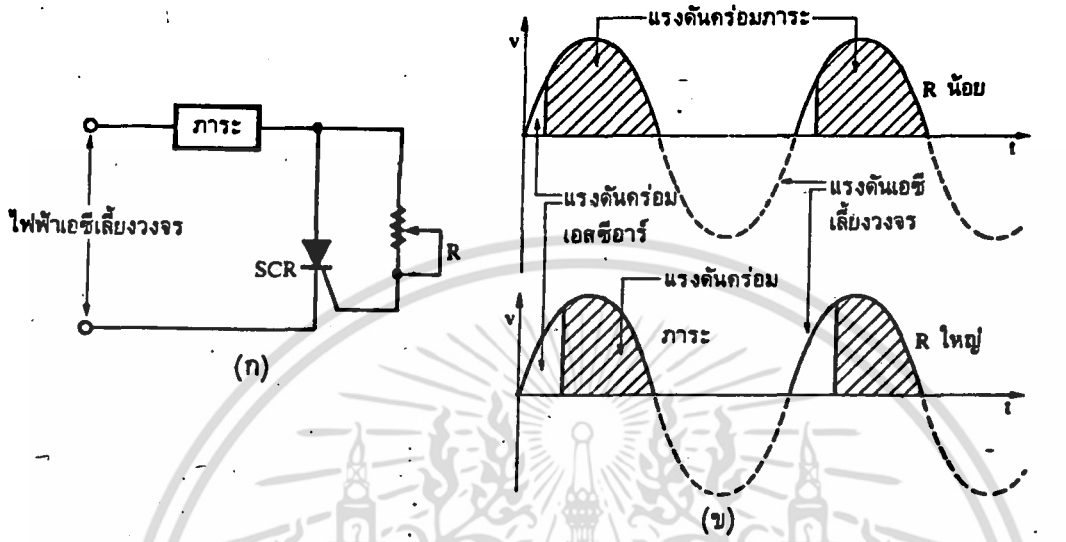
รูปที่ 3.3.2 วงจรจุดชนวนตีซีที่ดัดแปลงจากไฟฟ้า เอซี เลี้ยงวงจร

(ก) ต่อสวิตช์อนุกรมกับ เกต

(ข) ต่อสวิตช์ขนานกับ เกต

(ค) รูปคลื่นของแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3.3 (ก) วงจรจุดชนวนด้วย เฟสของสัญญาณ เอซีแบบง่าย

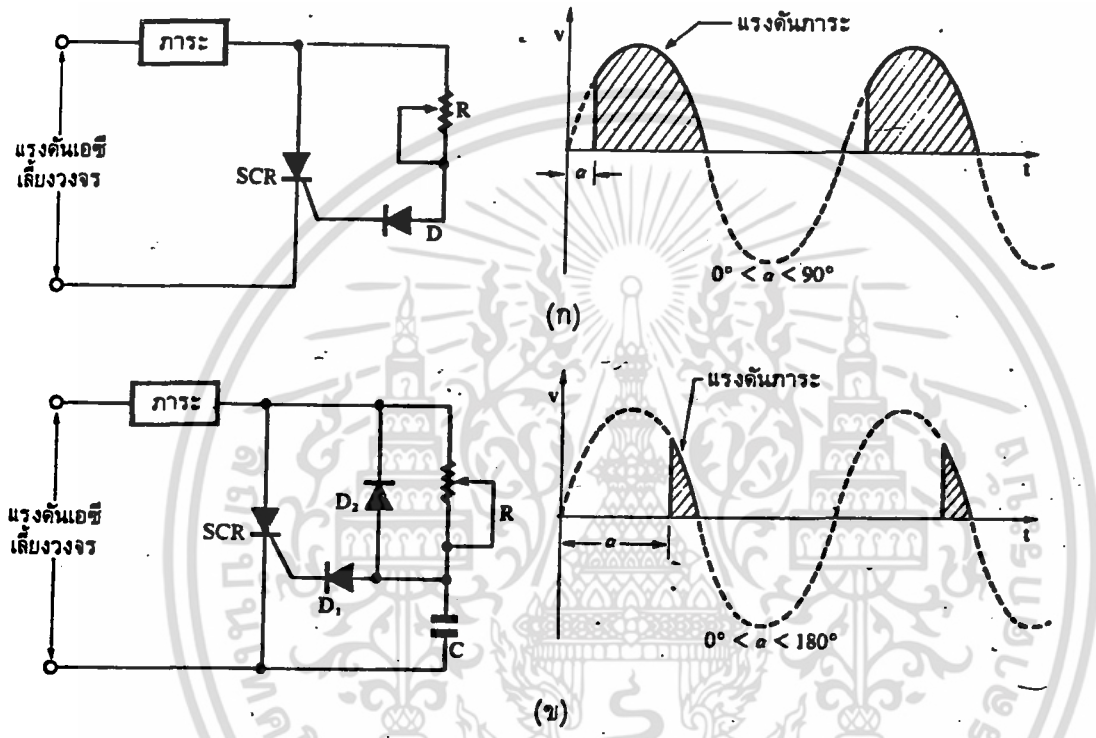
(ข) รูปคลื่นแรงดัน เมื่อค่าความต้านทาน R มีค่าน้อย

และค่ามาก

เพื่อที่ เราจะสามารถควบคุม เฟสได้จาก 0° ถึง 180° (คือสามารถควบคุมได้ เต็มครึ่งวัฏจักร) เราใช้ความต้านทาน R ตัว เก็บประจุ C และไดโอดต่อ เข้าร่วมกันดังแสดงในรูปที่ 3.3.4 (ข) โดยจะต้อง เลือกใช้ตัว เก็บประจุ C ให้ใหญ่มากพอที่จะสวมารถ เก็บประจุ เพื่อถ่ายออก เป็นกระแส เกตที่ใหญ่พอ เพียงที่จะจุดชนวนได้ และ เลือกค่า R เพื่อที่จะสามารถปรับค่า time constant ที่ RC ให้มุมจุดชนวน เกิดขึ้นจาก 0° ถึง 180° ได้ เนื่องจากวงจร RC จะทำให้แรงดัน เอซี เลี้ยงวงจรมี เฟสนำหน้าแรงดันที่ป้อน เข้า เกต ซึ่ง เมื่อแรงดัน เอซี เลี้ยงวงจรครึ่งวัฏจักรบวกผ่าน เข้ามาก็จะประจุให้ แผ่นบนของตัว เก็บประจุ C มีศักย์บวก ครั้นถึงเวลาที่ตั้งไว้ด้วยการปรับค่าความต้านทาน (R) จะทำให้ศักย์บวกบนตัว เก็บประจุ C มีค่าใหญ่มากพอที่จะให้กระแส เกตใหญ่ เพียงพอที่จะจุดชนวนได้ เป็นผลให้ เอสซีอาร์ เปิดกระแสตามต้องการ ซึ่ง เมื่อครึ่งวัฏจักรลบมาถึง เอสซีอาร์จะปิดกระแส และแรงดันค่าลบนี้จะให้กระแสไหลตัว เก็บประจุ C และไดโอด D_2 แล้วประจุให้มีศักย์ลบที่แผ่นบนของตัว เก็บประจุ C ซึ่ง เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งต้นใหม่รอคอยครึ่งวัฏจักรบวกที่จะมาถึงต่อไป สำหรับไดโอด D_1 ทำหน้าที่กั้นแรงดันกลับที่จะป้อน เข้า เกตในช่วงครึ่งวัฏจักรลบ วงจรนี้สามารถนำไปดัดแปลงใช้กับ วงจรควบคุมเฟส เต็มคลื่นได้



รูปที่ 3.3.4 (ก) วงจรควบคุม เฟสครึ่งคลื่นแบบง่ายด้วยความต้านทานแปรค่าได้

(ข) วงจรควบคุม เฟสครึ่งคลื่นด้วยความต้านทานแปรค่าได้

ตัว เก็บประจุและไดโอด

3) วงจรจุดซนวนด้วยพัลส์ ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2 แล้วว่า สัญญาณที่ใช้จุดซนวนที่ดีควร เป็นพัลส์ที่มีช่วงสั้นๆ มีความสูงมากและสันหน้าจะต้องชันสัญญาณนี้จะทำให้กำลังสูญกระจายของ เกตมีค่าลดลงกว่าสองวิธีที่กล่าวแล้วข้างบน และยังมีข้อดีที่ยิ่งใหญ่กว่าวิธีจุดซนวนด้วยไฟฟ้าดีอยู่ที่ เราสามารถใช้หม้อแปลงต่อ เข้าในวงจร เกตทำให้ เราสามารถ แยกวงจร เกตออกจากวงจรของแหล่งสัญญาณที่ใช้ควบคุม เกต เป็นผลให้ เราสามารถควบคุม เกตได้อย่างอิสระและง่าย

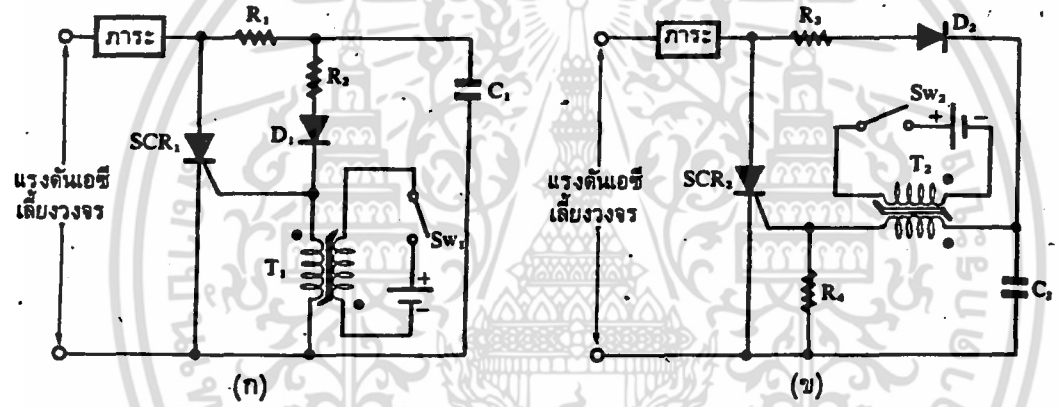
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถแบ่งวงจรออกเป็นสองพวกใหญ่ๆ คือ

- วิธีจุดชนวนด้วยพัลส์เดี่ยว (หรือ จุดชนวนด้วยการปิดเปิดพัลส์ง่ายๆ)

- วิธีจุดชนวนด้วยขบวนพัลส์ (หรือ จุดชนวนด้วยขบวนพัลส์แบบต่างๆ)

ก) **วิธีจุดชนวนด้วยพัลส์เดี่ยว** โดยการใช้หม้อแปลงที่มีแกนสามารถอิ่มตัวได้(saturable core transformer) เข้ามาช่วยดังแสดงในรูปที่ 3.3.5 สวิตช์ Sw ที่เห็นอยู่ในรูปอาจเป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบเสถียรหนึ่งสถานะ (monostable multiivbrator) ซึ่งสร้างขึ้นจากทรานซิสเตอร์ยูเจที (UJT = unijunction transistor)หรืออาจเป็นวงจรไทม์เมอร์ (Timer)555 ก็ได้



รูป 3.3.5 วงจรจุดชนวนครึ่งคลื่นที่ใช้หม้อแปลงที่มีแกนสามารถอิ่มตัวได้เข้าต่อ

(ก) แบบอนุกรม

(ข) แบบขนาน

ในรูปที่ 3.3.5(ก) ใช้ขดทุติยภูมิของหม้อแปลงที่สามารถอิ่มตัวได้ T_1 ต่อขนานกับเกตของเอสซีอาร์เริ่มต้นหม้อแปลง T_1 ไม่อิ่มตัว กระแสไหลผ่าน R_1,R_2 และ D_1 เข้าสู่เกตของเอสซีอาร์ ในช่วงแรกของครึ่งวัฏจักรบวกเป็นผลทำให้เอสซีอาร์เปิดกระแส ถ้าหม้อแปลง T_1 อิ่มตัวขดลวดของหม้อแปลง T_1 นี้มีอิมพีแดนซ์ต่ำกระแสที่เคยไหลผ่านเกตจะเปลี่ยนทางเดินมาไหลผ่านขดลวดของหม้อแปลง T_1 แทน ซึ่งเท่ากับปลดเอาสัญญาณจุดชนวนออกจากเกตทำให้เราสามารถตั้งต้นเตรียมการเปิดกระแสเอสซีอาร์ได้ใหม่เมื่อครึ่งวัฏจักรลบมาถึง แล้วเราจะ

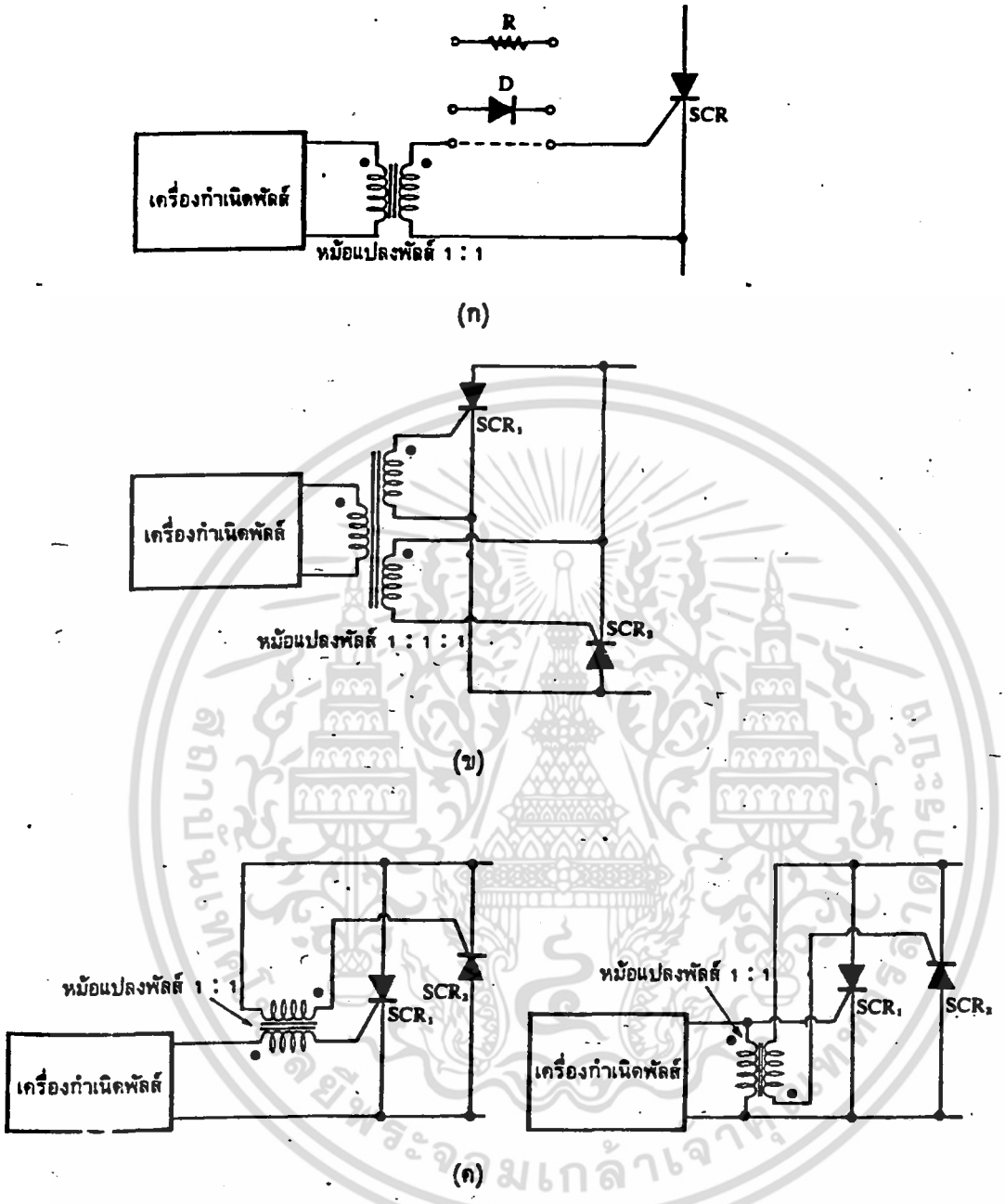
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถจุดชนวนได้ด้วยการป้อนแรงดันบวก เข้าทางขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง หรือปิดสวิตช์ Sw_1 ลงตัว เก็บประจุ C ใช้เป็น เครื่องกรองคลื่นที่จะมีรบกวนสัญญาณ เกตซึ่ง เป็นสา เหตุ เนื่องมา จากการ เปลี่ยนแปลงชั่วครู่ที่รวด เร็วมาก (fast transient) ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า เอซี

ในรูปที่ 3.3.5 (ข) ใช้ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงที่สามารถอิ่มตัวได้ T_2 ต่ออนุกรมกับตัว เก็บประจุ C_2 และ เกตของ เอสซีอาร์ในตอน เริ่มแรกของวัฏจักรบวก T_2 ยังไม่อิ่มตัวกระแสจะไหลผ่าน R_3 และ D_2 แล้วประจุ เข้า C_2 เมื่อครึ่งวัฏจักรบวกผ่านไปสองสามองศา T_2 จะเข้าอยู่ในสถาวะอิ่มตัว เป็นผลให้ C_2 ถ่ายประจุ เข้า เกตของ เอสซีอาร์อย่างรวด เร็ว เป็นสา เหตุให้ไธริส เตอร์นำกระแส ถ้าตอน เริ่มต้นของครึ่งวัฏจักรบวก T_2 อิ่มตัวกระแสจะไม่ไหล เข้าประจุ C_2 แต่จะไหลผ่านขดลวดทุติยภูมิของ T_2 ผ่าน เข้า เกตและความต้านทาน R_4 โดย R_4 นี้จะป้องกันไม่ให้แรงดัน เกตมีค่าสูง เกินกว่าค่าสูงสุดของแรงดันคร่อม เกต ดังนั้น เอสซีอาร์จะไม่ เปิดกระแส เมื่อ T_2 อิ่มตัวแล้วก็ เป็นการตั้งต้นใหม่ เตรียมพร้อม สำหรับการจุดชนวนต่อไปด้วยการป้อนแรงดันบวก เข้าทางขั้วอินพุตหรือปิด Sw_2 ลง

(ข) วิธีจุดชนวนด้วยขบวนพัลส์ โดยการใช้ เครื่องกำ เนิดพัลส์ ซึ่งอาจ เป็นวงจรกวัดแกว่งรีแล็กเซชั่น (relaxation oscillator) วงจรฟลิป-ฟลอป (flip-flop) วงจรมัลติไว เบรเตอร์แบบอ เสถียร (astable multivibrator) เป็นต้น ดังวงจรในรูปที่ 3.3.6 (ก) ซึ่ง เป็นวงจรที่ใช้หม้อแปลงพัลส์ที่มีขดลวดสองขดอัตราส่วน 1:1 ต่อ เข้าระหว่าง เกตกับคาโทดของไธริส เตอร์ หรืออาจมีความต้านทาน R ต่ออนุกรม เพื่อลดกระแส เกตให้อยู่ในค่าปลอดภัยหรือใช้แบ่งกระแสให้ เท่ากัน เมื่อใช้หม้อแปลงสามขดลวด 1:1:1 ต่อ เข้ากับ เกตของไธริส เตอร์สองตัวหรืออาจใช้ไดโอด D เข้าต่ออนุกรม เพื่อป้องกันการไหลกลับของ กระแส เกตในกรณีที่มีการ เกิดการกวัดแกว่ง เล็กๆ หรือริงกิง (ringing) เข้าแทรกหรือ เมื่อมีพัลส์กลับทาง เกิดขึ้นที่ เอาต์พุตของหม้อแปลง ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนสูง เราอาจจำ เป็นต้องต่อความต้านทาน เป็นภาระของขดลวดทุติยภูมิ เพื่อป้องกันการจุดชนวนผิดพลาด รูปที่ 3.3.6 (ข) และ (ค) เป็นวงจรที่ใช้ในการจุดชนวน เอสซีอาร์แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3.7 แผนผังการใช้เครื่องกำเนิดพัลส์เข้าจุดชนวนเอสซีอาร์

(ก) โดยจุดชนวนเอสซีอาร์หนึ่งตัวผ่านหม้อแปลงสองขด

(ข) โดยจุดชนวนเอสซีอาร์สองตัวผ่านหม้อแปลงสามขด

(ค) โดยจุดชนวนเอสซีอาร์สองตัวผ่านหม้อแปลงสองขด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การควบคุมการเรียงกระแสเฟสเดียว

เราสามารถควบคุมกระแสได้ด้วยวิธี "ควบคุมเฟส" (phase control) ซึ่งเป็นวิธีการทำให้มีการเรียงกระแสในช่วงมุมต่างๆของวัฏจักรกำลัง (power cycle) หรือเป็นกระบวนการที่ปิดเปิดไฟฟ้าเอซีเลี้ยงวงจร ไปสู่ภาระด้วยกระแสที่แปรค่าตามแต่จะต้องการ โดยบังคับให้มีการนำกระแสเพียงส่วนหนึ่งของวัฏจักร วิธีการนี้เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูง ในการควบคุมกำลังเฉลี่ยป้อนเข้าสู่ภาระ เช่น หลอดไฟฟ้า ขดลวดความร้อน มอเตอร์ ไฟฟ้าดีซีเลี้ยงวงจร ฯลฯ การควบคุมจะทำได้ด้วยการควบคุมมุมเฟส ของคลื่นเอซีที่ไธริสเตอร์เปิดกระแสให้ไหลผ่านในช่วงที่เหลืออยู่ของวัฏจักร และอาจปิดกระแสเมื่อครึ่งวัฏจักรลบได้มาถึง ซึ่งเป็นการหยุดไหลโดยธรรมชาติที่เรียกว่า "การทำให้กระแสหยุดไหลด้วยเฟส" หรือ "การทำให้กระแสหยุดไหลด้วยแรงดันของสายไฟฟ้า"

จากการใช้ไธริสเตอร์เป็นสิ่งประดิษฐ์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ เรามีการควบคุมเฟสเบื้องต้นหลายรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 3.4.1 ซึ่งมีภาระเป็นความต้านทานหรือเป็นตัวเหนี่ยวนำที่มีฟรีวีลลิงไดโอดต่อคร่อม โดยมีการควบคุมการเรียงกระแสขึ้นกับช่วงคลื่น คือ

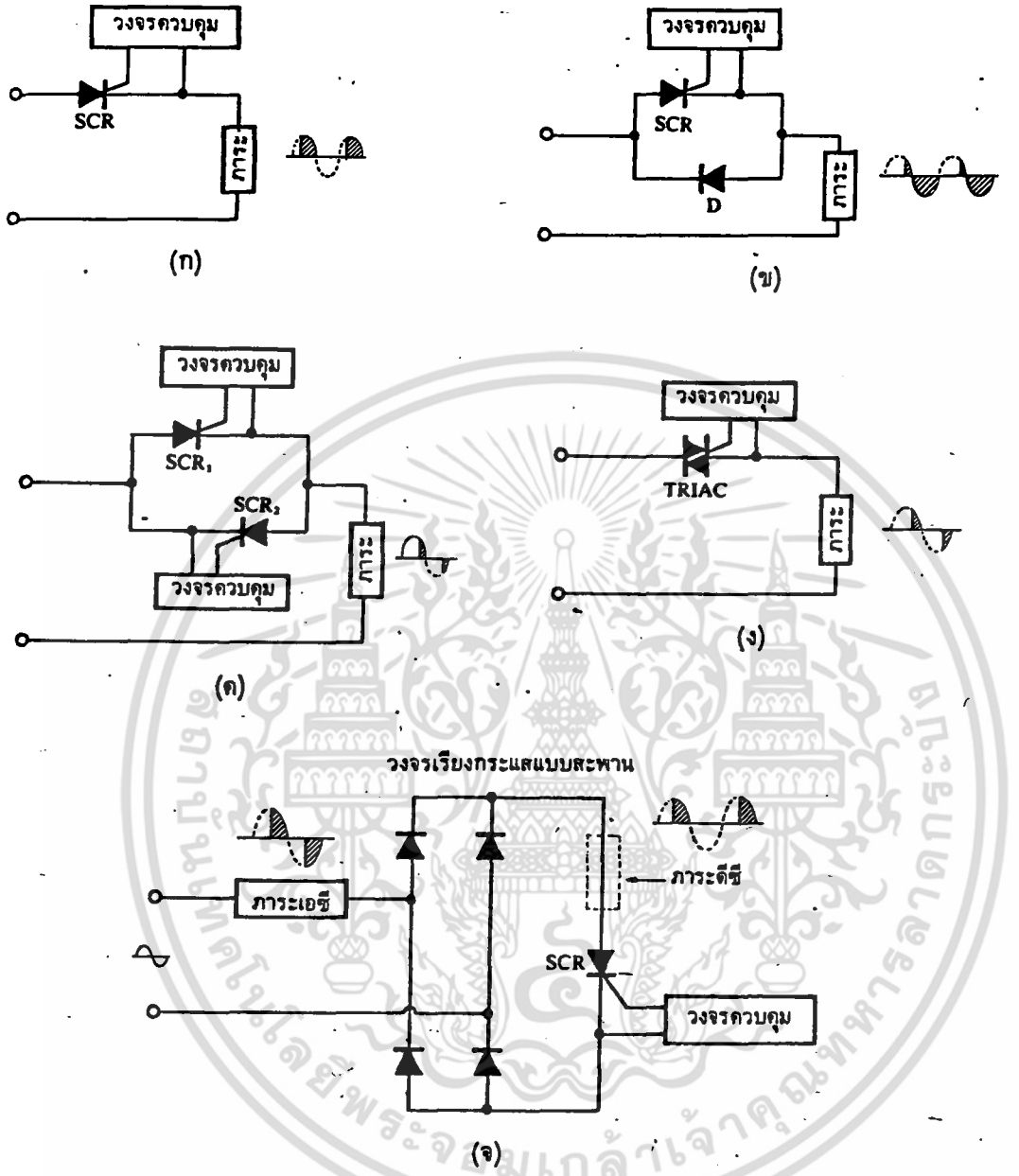
(1) การควบคุมในช่วงครึ่งคลื่น (controlled half-wave) ดังแสดงในรูปที่ 3.4.1 (ก)

(2) ควบคุมในช่วงครึ่งคลื่นผสมกับครึ่งคลื่นคงที่ (controlled half-wave plus fixed half-wave) ดังแสดงในรูปที่ 3.4.1 (ข)

(3) ควบคุมเต็มคลื่น (controlled full wave) ดังแสดงในรูปที่ 3.4.1 (ค) โดยใช้เอสซีอาร์สองตัวต่อขนานแต่กลับขั้วกัน และรูปที่ 3.4.1 (ง) โดยใช้ไตรแอค

(4) ควบคุมเต็มคลื่นสำหรับภาระเอซี หรือภาระดีซี (controlled full wave for AC or DC load) ดังแสดงในรูปที่ 3.4.1 (จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4.1 วงจรเบื้องต้นของการควบคุมเฟสเอซี

(ก) การควบคุมในช่วงครึ่งคลื่น

(ข) ควบคุมในช่วงครึ่งคลื่นผสมกับครึ่งคลื่นคงที่

(ค) ควบคุมเต็มคลื่นโดยใช้เอสซีอาร์

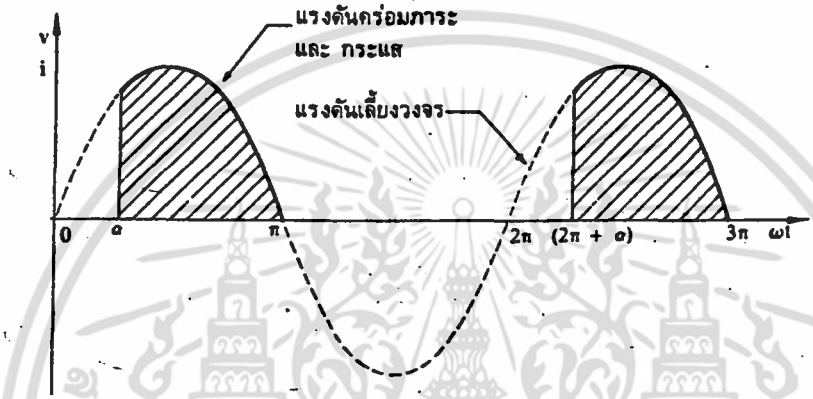
(ง) ควบคุมเต็มคลื่นโดยใช้ไตรแอค

(จ) ควบคุมเต็มคลื่นสำหรับภาระเอซีหรือภาระดีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 <u>การควบคุมในช่วงครึ่งคลื่น</u>

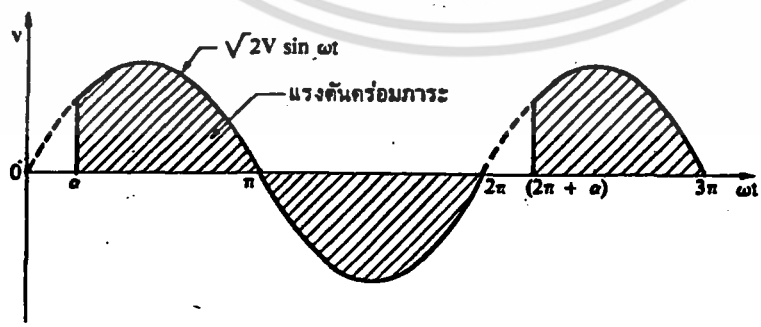
วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดใช้ควบคุมกระแสที่ไหลในทิศทางเดียว เหมาะสมกับภาระดีซี ที่มีวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.4.2 (ก) ซึ่งอาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "การควบคุมการเรียงกระแสครึ่งคลื่น" โดยมีมุมจุดชนวน **alpha** จาก 0° ถึง 180° ถ้าวงจรในรูปที่ 3.4.1 (ก) มีภาระเป็นความต้านทานล้วนๆ จะมีรูปคลื่นของแรงดันคร่อมภาระและกระแส ดังแสดงในรูปที่ 3.4.2



รูปที่ 3.4.2 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสของภาระที่เป็นความต้านทาน ของวงจรรูปที่ 3.4.1 (ก) สำหรับการควบคุมในช่วงครึ่งคลื่น

3.4.2 <u>การควบคุมในช่วงครึ่งคลื่นบวกผสมครึ่งคลื่นลบคงที่</u>

วงจรของวิธีการนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4.1 (ข) ซึ่งมีรูปคลื่นของแรงดันคร่อมภาระแสดงไว้ในรูปที่ 3.4.3 โดยมุม **alpha** มีค่าจาก 0° ถึง 180°



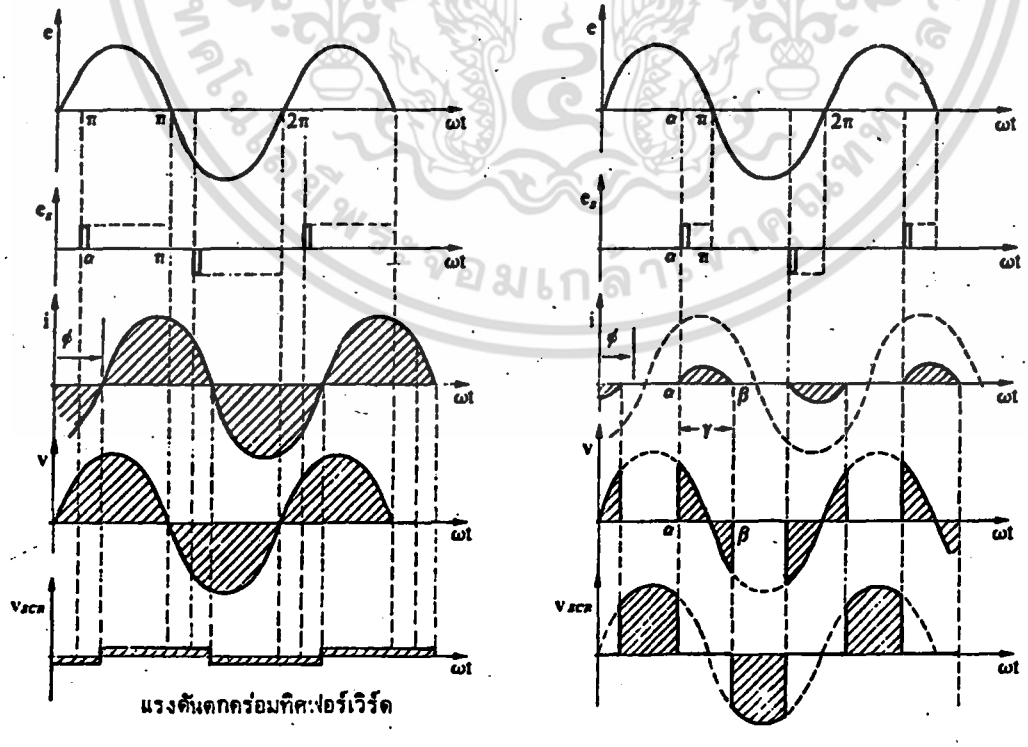
รูปที่ 3.4.3 รูปคลื่นของแรงดันคร่อมภาระของการควบคุมในช่วงครึ่งคลื่นบวกผสมครึ่งคลื่นลบคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 <u>การควบคุมเต็มคลื่นสำหรับภาระเอซี</u>

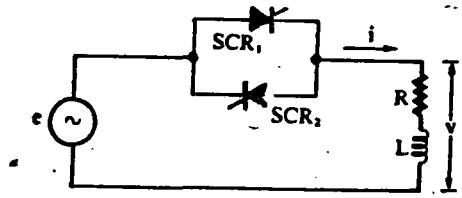
วงจรพื้นฐานของกรณีนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4.1 (ค) (ง) และ (จ) ส่วนในรูปที่ 3.4.4 แสดงวงจรของกรณีนี้เมื่อภาระประกอบด้วย ค่าความต้านทานและค่าเหนี่ยวนำในขณะทำงานจะมีเอสซีอาร์เปิดกระแสขึ้น เพียงตัวเดียวในครึ่งวัฏจักรหนึ่ง แล้วเปลี่ยนเป็นอีกตัวหนึ่งในอีกครึ่งวัฏจักรหนึ่ง

ขอให้เราสังเกตว่าถ้า alpha $< \phi$ ค่าเหนี่ยวนำจะทำให้กระแสไหลต่อเนื่อง แล้วเอสซีอาร์ไม่สามารถปิดกระแสได้ รูปคลื่นแรงดันและกระแสผลลัพธ์จะเคลื่อนต่อเนื่องเป็นรูปคลื่นซายน์ดังแสดงในรูปที่ 3.4.4 (ก) สำหรับกรณีที่ alpha $> \phi$ เอสซีอาร์จะทำงานสลับกันคนละครึ่งวัฏจักร โดยจะทำงานคล้ายกับเป็นวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น ที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.4.1 และให้รูปคลื่นกระแสและแรงดันขาดตอนเป็นห้วงๆ โดยมีเงื่อนไขที่ว่า การเปิดกระแสจะต้องไม่กินมุม γ เกินกว่า 180° ซึ่งเราจะมองเห็นอย่างชัดเจนว่า ขณะที่เราลดค่ามุม alpha ลงจนกระทั่ง $\gamma = 180°$ สำหรับกรณี alpha = ϕ เราจะได้รูปคลื่นของ i และ v เข้าใกล้รูปคลื่นซายน์มากที่เดียว



(ก) (ข)

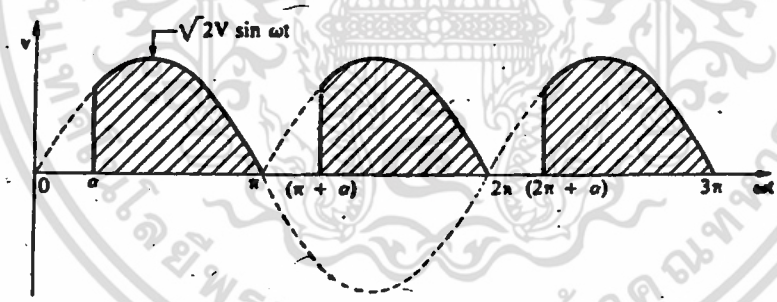
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4.4 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสของการควบคุมเต็มคลื่นเฟสเดียว
สำหรับภาระเอซีที่เป็นเชิงเหนี่ยวนำ
(ก) เมื่อมุมจุดชนวน **alpha** มีค่าน้อยกว่ามุมเฟส ϕ ของภาระ
(ข) เมื่อ **alpha** ใหญ่กว่า ϕ

3.4.4 <u>การควบคุมการเรียงกระแสเต็มคลื่น</u>

วงจรเบื้องต้นของกรณีนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4.1 (จ) ซึ่งเป็นวงจรที่มีการควบคุมกระแสไหลเข้าภาระดีซี โดยกระทำเต็มช่วงคลื่นซึ่งมุมจุดชนวน **alpha** มีค่ามุมเปลี่ยนจาก 0° ถึง 180° และให้รูปคลื่นของแรงดันคร่อมภาระ ดังแสดงในรูปที่ 3.4.5



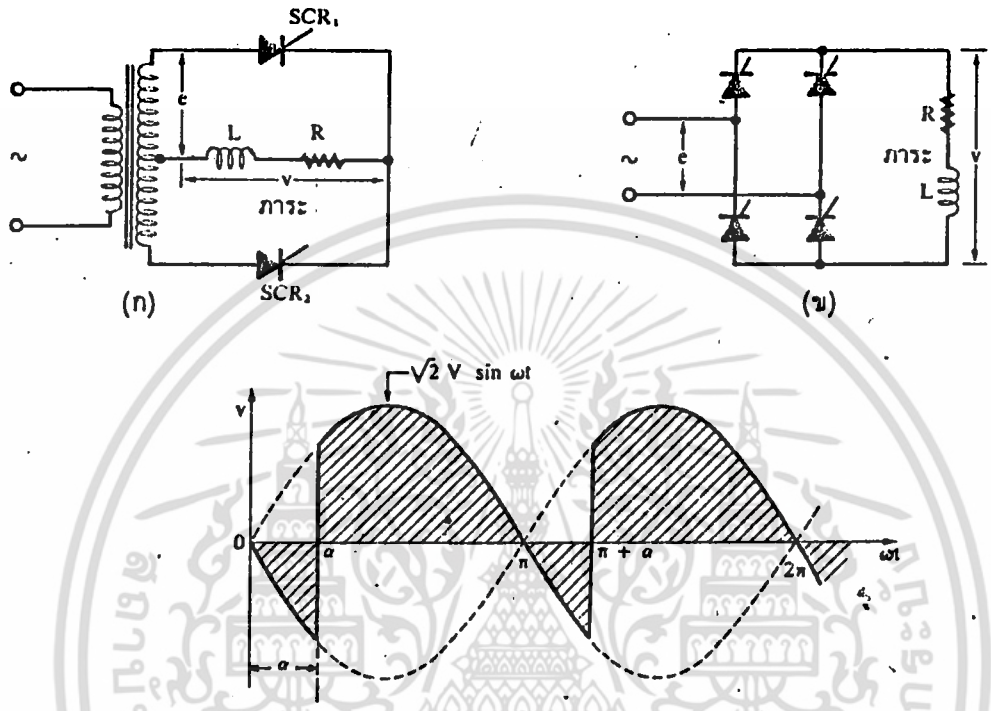
รูปที่ 3.4.5 รูปคลื่นของแรงดันคร่อมภาระสำหรับการควบคุมการเรียงกระแสเต็มคลื่น

3.4.5 <u>การควบคุมการเรียงกระแสเต็มคลื่นสำหรับภาระดีซีที่เป็นเชิงเหนี่ยวนำ</u>

วงจรของกรณีนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4.6 (ก) และ (ข) ซึ่งเป็นวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบมีหม้อแปลงวงพัลส์ "พุชพูล" (push-pull) และวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นเฟสเดียวแบบสะพาน (bridge) สองพัลส์ ตามลำดับเนื่องจากภาระที่ใช้ในวงจรรูปที่ 3.4.6 (ก) และ (ข) เป็นภาระดีซีที่ประกอบขึ้นด้วยความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำจึงยังมีกระแสไหลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ว่าแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงวงจร จะกลับทิศของศักย์แล้วก็ตามดังนั้นแรงดันคร่อมภาระจะมีรูปคลื่น เป็นดังแสดงในรูปที่ 3.4.6 (ค)



รูปที่ 3.4.6 (ก) วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นเฟสเดียวแบบสองพัลส์ พุชพูล

(ข) วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นเฟสเดียวแบบสะพาน

(ค) รูปคลื่นแรงดันคร่อมภาระสำหรับ (ก) และ (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การควบคุมมอเตอร์เอซีโดยวิธีควบคุมเฟส

จากบทที่ 2 และ 3 ที่กล่าวถึงคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ และ ทฤษฎีไธริสเตอร์ไปแล้วในบทที่ 4 นี้จะแสดงให้เห็นถึงขั้นตอน การทำโครงงานพิเศษ โดยการใช้ไธริสเตอร์เข้าควบคุมมอเตอร์เอซี ซึ่งการควบคุมมอเตอร์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1) วิธีการควบคุมค่าแรงดันป้อนเข้ามอเตอร์เอซี โดยการปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่ (duty cycle) หรือ (duty factor) ด้วยการจุดชนวนให้เปิดกระแสตรงแรงดันจุดตัดข้ามศูนย์ที่จุดต่างๆ

2) วิธีการควบคุมค่าแรงดันป้อนเข้ามอเตอร์เอซีโดยวิธีควบคุมเฟส (phase control) ซึ่งสามารถใช้ได้กับมอเตอร์เอซีเฟสเดียว หรือหลายเฟส

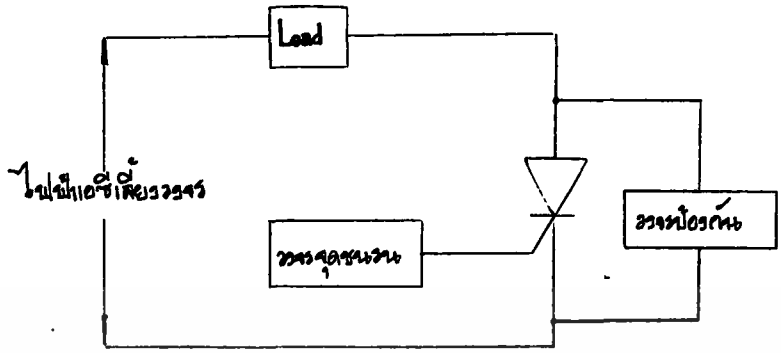
3) วิธีการควบคุมค่าแรงดัน และ ความถี่ป้อนเข้ามอเตอร์โดยการเปลี่ยน ไฟฟ้าดีซีเลี้ยงวงจรให้เป็นไฟฟ้าเอซี ด้วยอินเวอร์เตอร์ (inverter) แบบต่างๆ

4) วิธีการควบคุมมอเตอร์เอซีด้วยคอนเวอร์เตอร์มีดีซีเชื่อมโยง (DC link converter) ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงวงจร สองครั้งโดยเปลี่ยนจากไฟฟ้าเอซีให้เป็นดีซีแล้วเปลี่ยนดีซีกลับเป็นเอซีพร้อมทั้งมี การควบคุม "โวลท์ต่อเฮิรตซ์" ให้คงที่

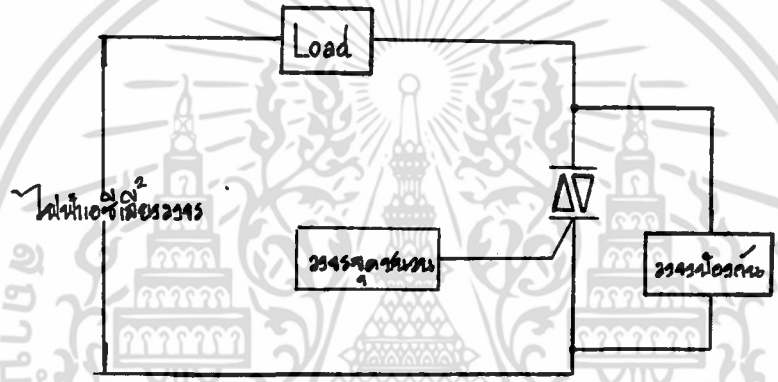
5) การควบคุมมอเตอร์เอซีเหนี่ยวนำ โดยการปรับเปลี่ยนพลังงานสลิป วิธีนี้ใช้ได้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ แบบส่วนหมุนมีขดลวดพันเท่านั้น

สำหรับการทำโครงงานพิเศษจะใช้วิธีที่ 2) ควบคุมมอเตอร์โดยเขียนแผนภาพวงจร ได้ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การควบคุมเฟสครึ่งคลื่น



รูปที่ 4.2 การควบคุมเฟสเต็มคลื่น

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าการควบคุมแบบครึ่งคลื่นมีการจ่ายกำลัง เพียงแค่ครึ่งวัฏจักรบวก เนื่องจากเมื่อครึ่งวัฏจักรลบ เอสซีอาร์จะถูกไบแอสกลับจึงทำให้ กระแสไม่สามารถไหลผ่านเอส-ซีอาร์ได้ ส่วนรูปที่ 4.2 กระแสสามารถไหลผ่านไตรแอคได้ทั้งครึ่งวัฏจักรบวก และ ลบทำให้ภาระ (load) ได้รับกำลังจากไฟเลี้ยงได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 วงจรจุดชนวนเบื้องต้นสำหรับควบคุมเฟสครึ่งคลื่น

สำหรับวงจรจุดชนวนที่ใช้ในโครงงานพิเศษชุดนี้แบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

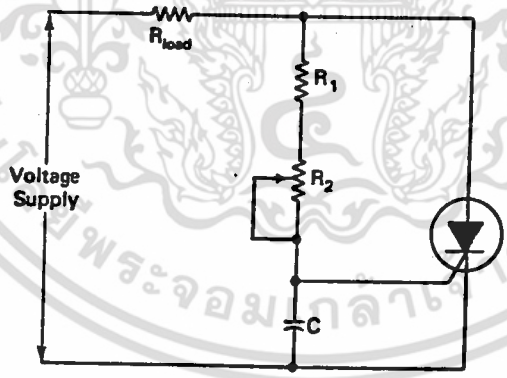
4.1.1 ใช้ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานเป็นตัวหน่วงเวลาการจุดชนวน

4.1.2 ใช้อุปกรณ์เบรคโอเวอร์ (breakover devices) ต่อเข้ากับขาเกทเพื่อจุดชนวน

4.1.3 ใช้วงจร ยูเจทีรีแลกเซชั่นออสซิลเลเตอร์ (UJT relaxation oscillator) เข้าจุดชนวน

4.1.1 <u>การใช้ตัวเก็บประจุเป็นตัวหน่วงเวลาการจุดชนวน</u>

วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายในการควบคุมการจุดชนวนที่ขาเกต โดยการใส่ตัวเก็บประจุเข้าที่เกทและคาโทด ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 วงจรควบคุมเกตของเอสซีอาร์

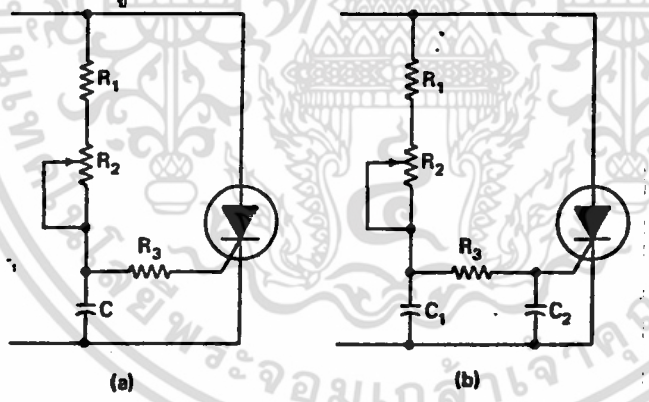
การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้ เมื่อไฟเอซีมีค่าลบแรงดันกลับทาง คร่อมเอสซีอาร์จะถูกจ่ายให้กับวงจร อาร์ซีทริกเกอร์ริ่ง (RC triggering circuit) โดยการประจุตัวเก็บประจุให้แผ่นบนของตัวเก็บประจุเป็นลบ และ แผ่นล่างของตัวเก็บประจุเป็นบวก เมื่อไฟเอซีเข้าสู่ครึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัฏจักรบวกแรงดันไบแอสตรง คร่อมเอสซีอาร์ก็จะประจุตัวเก็บประจุในทิศตรงกันข้าม ซึ่งแรงดันที่สร้างขึ้นในทิศทางใหม่นี้ จะถูกหน่วงเวลาออกไป จนกระทั่งประจุลบเคลื่อนออกไปจากแผ่นของตัวเก็บประจุ ทำให้การหน่วงเวลาในการให้แรงดันบวกเข้าที่ขาเกทสามารถยืดเวลาออกไปมากกว่า 90ฐ ได้ การใช้ค่าความต้านทานปรับค่าได้ (R_2) มีค่ามากๆทำให้การเริ่มประจุ ตัวเก็บประจุให้แผ่นบนเป็นบวกนานขึ้น และทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ช้า

เมื่อเราต่อความต้านทาน R_3 เข้าที่ขาเกทดังแสดงในรูปที่ 4.4 รูป 4.4 (a) ต้องการตัวเก็บประจุที่ประจุแรงดันได้มากกว่า 0.6 โวลท์ เพื่อทริกเอสซีอาร์ ค่าแรงดันของตัวเก็บประจุต้องมีค่าสูงพอที่จะให้มีกระแสไหลผ่านความต้านทาน และเข้าไปยังขาเกท ขณะที่ตัวเก็บประจุต้องประจุใหม่เพื่อให้แรงดันสูงขึ้น การทริกก็จะถูกหน่วงออกไป

รูปที่ 4.4 (b) แสดงวงจร double RC network จากรูปแรงดันที่ได้รับการหน่วงเวลาคร่อม C_1 ได้ถูกใช้ประจุ C_2 เป็นผลให้การหน่วงเวลาในการสร้างแรงดันเกทนานยิ่งขึ้นค่าตัวเก็บประจุในรูป 4.4 มักอยู่ในย่าน 0.01-1 micro f



รูปที่ 4.4 การปรับปรุงวงจรควบคุมเกตของเอสซีอาร์ให้สามารถปรับมุมหน่วงเวลาการนำกระแสได้สูงกว่าวงจรรูปที่ 4.3

ค่ามุมหน่วงเวลาการจุดชนวนต่ำสุด (minimum firing delay angle) ถูกกำหนดโดยค่าความต้านทาน R_1 และ R_3 ส่วนค่ามุมหน่วงเวลาการจุดชนวนสูงสุด (maximum firing delay angle) ซึ่งให้กระแสโหลดต่ำสุดโดยมากถูกกำหนดโดยค่าความต้านทาน R_2

ผู้ผลิตเอสซอาร์ส่วนใหญ่จะให้รายละเอียดเป็นกราฟ เพื่อช่วยในการกำหนดขนาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุ สำหรับวงจรควบคุมเกทของรูปที่ 4.4 ในกรณีทั่วไปเมื่อวงจรควบคุมเกทเหล่านี้ใช้กับไฟเอซีความถี่ 50 เฮิร์ต ค่าคงที่เวลา (time constant) ของวงจรอาร์ซี (RC circuit) ควรอยู่ในย่าน 1-30 มิลลิวินาที นั่นคือในวงจร single RC circuit ของรูปที่ 4.4 (a) ค่าผลคูณ $(R_1+R_2)C$ ควรอยู่ในย่าน 1-30 มิลลิวินาที และวงจร double RC circuit ของรูป 4.3 (b) ค่า $(R_1+R_2)C_1$ และ R_3C_2 ก็ควรมีค่าอยู่ ในย่านเดียวกันนี้ด้วย

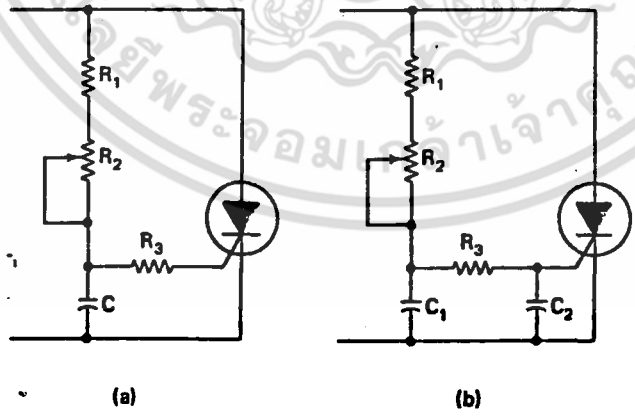
วงจรที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้ทดลองโดย ใช้โหลดเป็นความต้านธรรมดา เพื่อศึกษาดูลักษณะรูปคลื่นที่จุดต่างๆของวงจร โดยใช้ค่าอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

R_{LD} = 170 โอห์ม 30 วัตต์, R_1 = 15.6 กิโลโอห์ม, R_2 = 100 กิโลโอห์ม (ปรับค่าได้), R_3 = 2.2 กิโลโอห์ม, C = 0.98 ไมโครฟารัด, SCR เบอร์ C106M ใช้แหล่งจ่ายไฟเอซี 50 เฮิร์ต จากหม้อแปลง 220 : 110 วงจรที่ใช้แสดงดังรูปที่ 4.5 (a)

ส่วนรูปที่ 4.5 (b) ใช้อุปกรณ์ดังนี้

R_{LD} = 170 โอห์ม 30 วัตต์, R_1 = 4.7 กิโลโอห์ม, R_2 = 100 กิโลโอห์ม(ปรับค่าได้), R_3 = 2.2 กิโลโอห์ม, C_1 = 0.47 ไมโครฟารัด, C_2 = 0.05 ไมโครฟารัด

ใช้วงจรรูปที่ 4.5 (b)



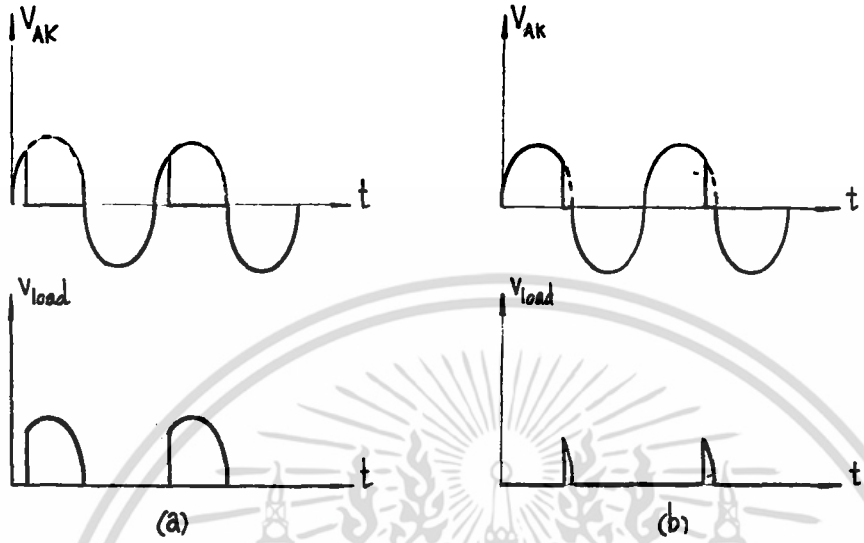
รูปที่ 4.5 แสดงวงจรที่ใช้ศึกษาในโครงงานพิเศษ

(a) วงจร single RC circuit

(b) วงจร double RC circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

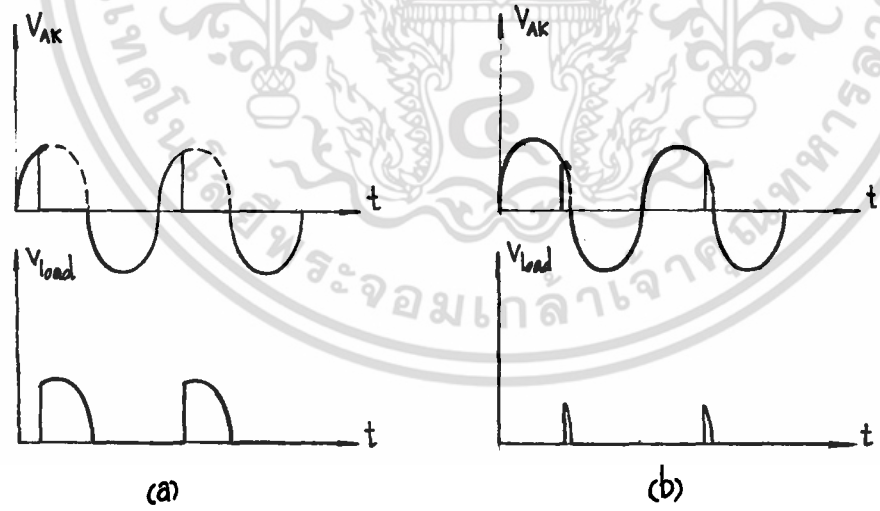
จากรูปที่ 4.5 (a) วัดแรงดันคร่อมขาอาโนด-คาโทด และแรงดันคร่อมโหลดได้ดังรูปที่ 4.6 (a) และ (b) ส่วนรูปที่ 4.5 (b) แสดงดังรูปที่ 4.7 (a) และ (b) ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 รูปคลื่นแสดงแรงดันคร่อมอาโนด-คาโทด (V_{AK})และแรงดันคร่อมโหลด (V_{load}) ของวงจร single RC circuit

(a) ค่ามุมหน่วงเวลาการจุดชนวนประมาณ 18° มุมนำกระแสประมาณ 162°

(b) ค่ามุมหน่วงเวลาการจุดชนวนประมาณ 144° มุมนำกระแสประมาณ 36°



รูปที่ 4.7 รูปคลื่นแสดงแรงดันอาโนด-คาโทด และ โหลด ของวงจร double RC circuit

(a) ค่ามุมหน่วงเวลาการจุดชนวนประมาณ 72° มุมนำกระแสประมาณ 108°

(b) ค่ามุมหน่วงเวลาการจุดชนวนประมาณ 162° มุมนำกระแสประมาณ 18°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ใช้อุปกรณ์เบรคโอเวอร์ (breakover device) ต่อเข้ากับเกทเพื่อจุดชนวน

วงจรในรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 มีข้อเสีย 2 ประการคือ

1. เสถียรภาพของขึ้นกับอุณหภูมิ
2. พฤติกรรมในการจุดชนวนไม่แน่นอน เมื่อเปลี่ยนเอสซีอาร์เป็นตัวอื่นทั้งที่ยังเป็นเบอร์เดียวกันอยู่

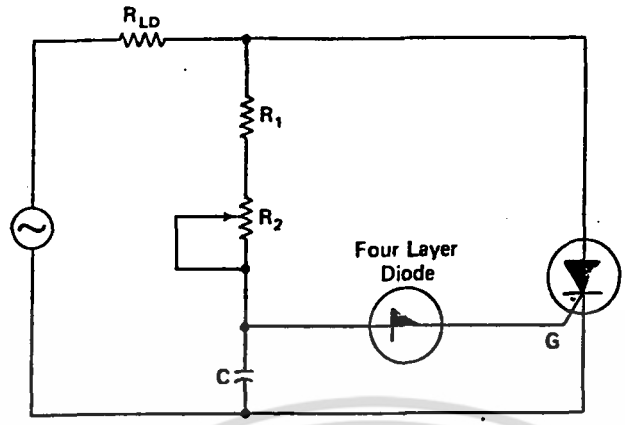
การป้องกันข้อเสียในข้อ 1 สามารถทำได้โดยจุดชนวนเอสซีอาร์ ด้วยกระแสเกทน้อยๆ เมื่ออุณหภูมิของเอสซีอาร์สูงขึ้น (I_{GT}ต่ำๆ) ดังนั้นจากวงจรจุดชนวนต่างๆที่กล่าวมา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเกิดขึ้น จะเป็นสาเหตุให้มุมนำกระแสเปลี่ยนแปลง และจะมีผลให้กระแสโหลดเปลี่ยนตามไปด้วย ในวงการอุตสาหกรรมต่างๆผลที่เกิดขึ้นนี้เป็นที่ยอมรับไม่ได้

ส่วนข้อเสียในข้อที่ 2 เป็นที่เอสซีอาร์มีคุณสมบัติเหมือนกับทรานซิสเตอร์ โดยการแสดงลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าภายในกลุ่มมีช่วงกว้าง นั่นคือเอสซีอาร์ 2 ตัวในชนิดเดียวกัน อาจจะแสดงความแตกต่างกันอย่างมากในลักษณะสมบัติ การเปลี่ยนแปลงกระแสเกท(I_{GT}) เป็นความแตกต่างที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุด

รูปที่ 4.8 แสดงถึงการแก้ไขความยุ่งยากที่กล่าวถึงข้างต้นว่า สามารถแก้ไขได้อย่างไร ไดโอด 4 ชั้น (four-layer diode) ในรูปที่ 4.8 มีค่าแรงดันเบรคโอเวอร์ที่แน่นอน ถ้าแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าต่ำกว่าจุดเบรคโอเวอร์ ไดโอด 4 ชั้น จะกระทำตัวเหมือนกับสับสวิตช์ขึ้นเมื่อแรงดันคร่อมแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ มีค่าสูงถึงจุดเบรคโอเวอร์ ไดโอด 4 ชั้นจะถูกจุดชนวน และกระทำตัวเหมือนกับสับสวิตช์ลง เมื่อเป็นเช่นนี้จะมีกระแสเกทไหลเข้าไปยังขาเกท ซึ่งทำให้มีการทริกที่แน่นอน

ข้อดีของไดโอด 4 ชั้นก็คือมันมีความสัมพันธ์กับการไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ และแรงดันเบรคโอเวอร์ที่จะคงค่านี้ไว้ไม่เปลี่ยนแปลงเป็นค่าอื่นๆ ด้วยเหตุนี้ความไม่สมบูรณ์ของเอสซีอาร์ จึงไม่มีความสำคัญ เนื่องจากไดโอด 4 ชั้นเป็นตัวกำหนดจุดทริกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



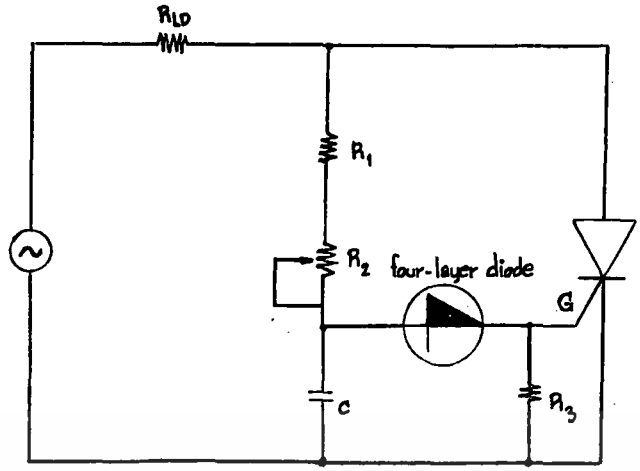
รูปที่ 4.8 วงจรควบคุมเกทโดยใช้ไดโอด 4 ชั้น (four-layer diode)

ยังมีอุปกรณ์อื่นๆอีกซึ่งสามารถต่อเข้ากับเกทแล้วให้ผลเช่นเดียวกัน โดยที่อุปกรณ์เหล่านั้นมีลักษณะสมบัติการทำงานเหมือนกับไดโอด 4 ชั้น มีการทำงานที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิและมีความแตกต่างของแรงดันเบรคโอเวอร์ไม่ห่างกันมากนัก ตัวอย่างเช่น เอสยูเอส (silicon unilateral switch), เอสบีเอส (silicon bilateral switch), ไดแอค (diac) และ ยูเจที (unijunction transistor)

วงจรที่ใช้ทดลองประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

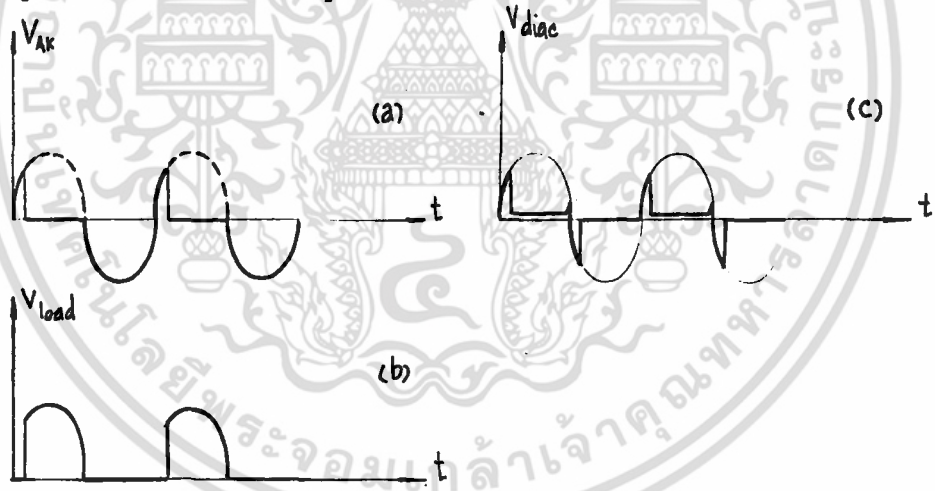
R_{LD} = 170 โอห์ม 30 วัตต์, R_1 = 15.6 กิโลโอห์ม, R_2 = 100 กิโลโอห์ม(ปรับค่าได้), R_3 = 1 กิโลโอห์ม, C = 0.98 ไมโครฟารัด, Diac (DB3 V_{BO} = 32 v.) และ SCR C106M วงจรที่ใช้แสดงดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 วงจรที่ใช้ศึกษาในโครงงานพิเศษ ไดโอด 4 ชั้น (four-layer diode) ใช้ ไดแอค (Diac) แทน

ลักษณะรูปคลื่นของสัญญาณแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ลักษณะสมบัติของแรงดันที่วัด ณ ตำแหน่งต่างๆ ในวงจรรูปที่ 4.9

(a) แรงดันคร่อมอาโนด-คาโทด (V_{AK})

(b) แรงดันคร่อมเกท (V_G)

(c) แรงดันคร่อมโหลด (V_{load})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเป็นการทดสอบถึงการไม่เปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิของไดโอด 4 ชั้น จึงได้ทดลองโดยการใช้หัวแร้งจี้กับตัวถังของเอสซีอาร์นาน 2-3 วินาที แล้วใช้ออสซิลโลสโคปจับที่ตำแหน่งต่างๆ ของวงจรดูอีกครั้ง ผลปรากฏว่าลักษณะของรูปคลื่นยังคงเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง หลังจากนั้นลองเปลี่ยน เอสซีอาร์เป็นตัวอื่นแต่ยังคงเป็นชนิดเดียวกันอยู่ก็ยังคงให้ผลเหมือนเดิม

4.1.3 <u>ใช้วงจรยูเจทีรีแลกเซชั่นออสซิลเลเตอร์ (UJT relaxation oscillator) เข้าจุดชนวน</u>

เหตุผลหลายประการซึ่งเป็นความเหมาะสมที่จะใช้ยูเจทีร่วมกับเอสซีอาร์ก็คือ

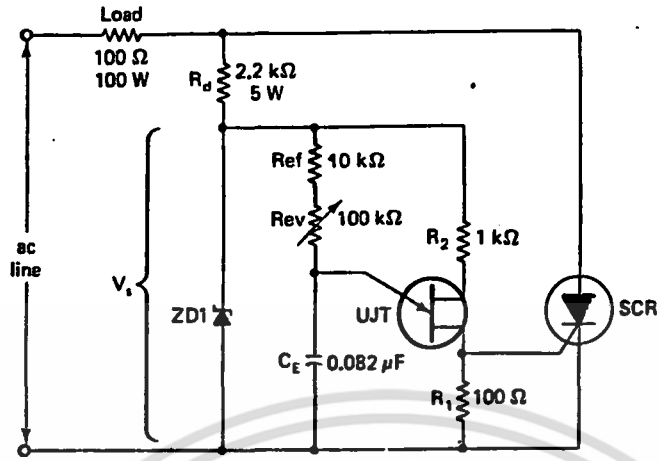
1. ยูเจทีสร้างสัญญาณออกเป็นแบบพัลส์ ซึ่งมีสันหน้าสูงชันเหมาะอย่างมากสำหรับการเปิดให้เอสซีอาร์นำกระแสโดยปราศจากกำลังสูญเสียที่ขาเกท (gate power dissipation)

2. จุดทำงานของยูเจทีโดยปกติ จะมีเสถียรภาพในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง และสามารถจะทำให้เสถียรภาพดียิ่งขึ้นไปอีก โดยการปรับปรุงเพียงเล็กน้อย สิ่งเหล่านี้จะไปลบล้างกับความไม่มีเสถียรภาพต่ออุณหภูมิของเอสซีอาร์

3. วงจรจุดชนวนโดยใช้ยูเจทีสามารถดัดแปลงเพื่อการควบคุมแบบมี "การป้อนกลับ" (feedback control) ได้ง่าย

หลักการทำงานของวงจร ยูเจทีรีแลกเซชั่นออสซิลเลเตอร์ อธิบายได้โดยพิจารณารูปที่ 4.11จากรูป ซีเนอร์ไดโอด ZD_1จะชลิบส่วนบนของสัญญาณที่แรงดันซีเนอร์ (zener voltage) ระหว่างครึ่งวัฏจักรบวกของเส้นสัญญาณไฟเอซี เมื่อถึงครึ่งวัฏจักรลบ ZD_1 ถูกไบแอสตรงเป็นผลให้แรงดัน V_s เกือบจะเป็นศูนย์โวลท์ ซึ่งจะเห็นได้ในรูปที่ 4.11 (b) ตัวเก็บประจุ C_E จะถูกประจุผ่านความต้านทาน R_E ขณะที่เส้นสัญญาณไฟเอซีเปลี่ยนจากบวกเป็นศูนย์ เมื่อตัวเก็บประจุ C_E มีค่าถึงแรงดันยอด (peak voltage) ของยูเจที ยูเจทีก็จะทำงานโดยการสร้างแรงดันพัลส์คร่อมความต้านทาน R_1 การทำงานของยูเจทีนี้ จะทำให้มีกระแสไหลผ่านโหลดขณะที่ยังคงอยู่ในครึ่งวัฏจักรบวก รูปคลื่นแรงดันคร่อมความต้านทาน R_1 และแรงดันคร่อมโหลดแสดงดังรูปที่ 4.11 (c) และ (d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

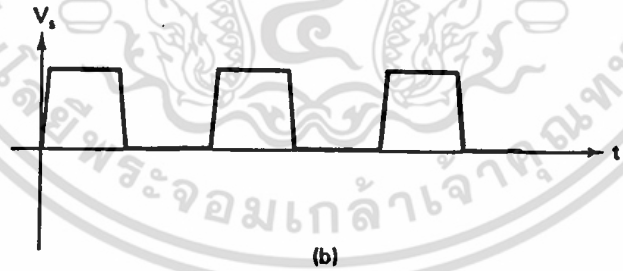


รูปที่ 4.11 (a) วงจรจุดชนวน SCR โดยใช้ยูเจที เมื่อยูเจทีทำงานมันจะทำการจุดชนวนเอสซีอาร์ ค่ามุมหน่วงเวลาการจุดชนวนปรับโดยความต้านทาน R_{eV}

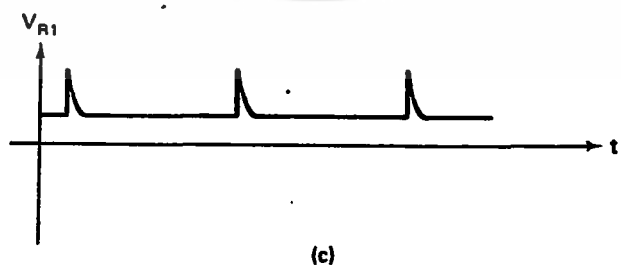
(b) รูปคลื่นแรงดัน V_s ซึ่งเกือบจะเป็นคลื่นสี่เหลี่ยมโดยสมบูรณ์

(c) รูปคลื่นแรงดันคร่อมความต้านทาน R_1 ซึ่งถูกจ่ายให้กับเกทของเอสซีอาร์ ค่าแรงดันระหว่างยอดแหลมของสัญญาณต้องมีค่าน้อย กว่าแรงดันจุดชนวนเกทของเอสซีอาร์

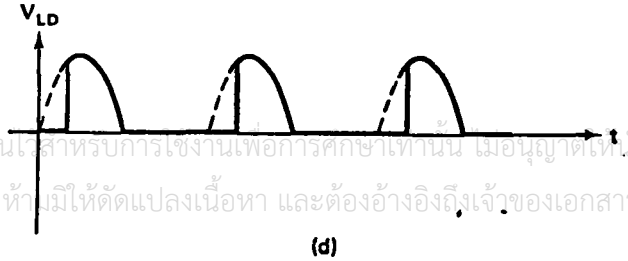
(d) แรงดันคร่อมโหลด ด้วยมุมหน่วงเวลาการจุดชนวนประมาณ 60°



(b)



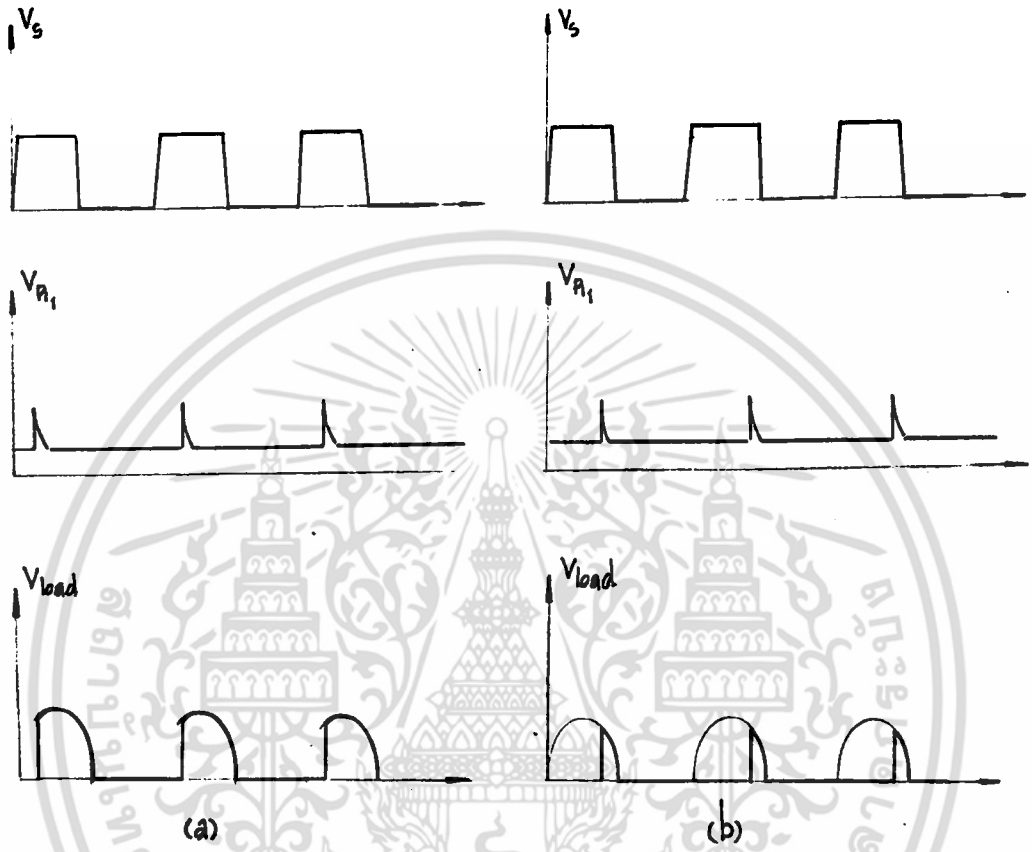
(c)



(d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวงจรที่ใช้ในการทดลองโครงงานพิเศษนี้ใช้วงจรชนิดเดียวกับรูปที่ 4.11 จึงขอละไม่เขียนแสดงวงจร ลักษณะรูปคลื่นของแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงให้เห็นในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 รูปคลื่นของแรงดันซีเนอร์ (V_s) แรงดันคร่อมความต้านทาน R_1 และแรงดันคร่อมโหลด

(a) มุมหน่วงเวลาการจุดชนวน 81° มุมนำกระแส 99°

(b) มุมหน่วงเวลาการจุดชนวน 162° มุมนำกระแส 18°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วงจรจุดชนวนเบื้องต้นสำหรับการควบคุมเฟสเต็มคลื่น

วงจรจุดชนวนควบคุมเฟสเต็มคลื่นเป็นวงจรที่ปรับปรุงมาจาก วงจรจุดชนวนควบคุมเฟสครึ่งคลื่น ถ้าหากในวงจรใช้ไธริสเตอร์เป็นไตรแอค เราสามารถใช้วงจรจุดชนวนควบคุมเฟสเต็มคลื่นได้เหมือนกับวงจรจุดชนวนควบคุมเฟสครึ่งคลื่น

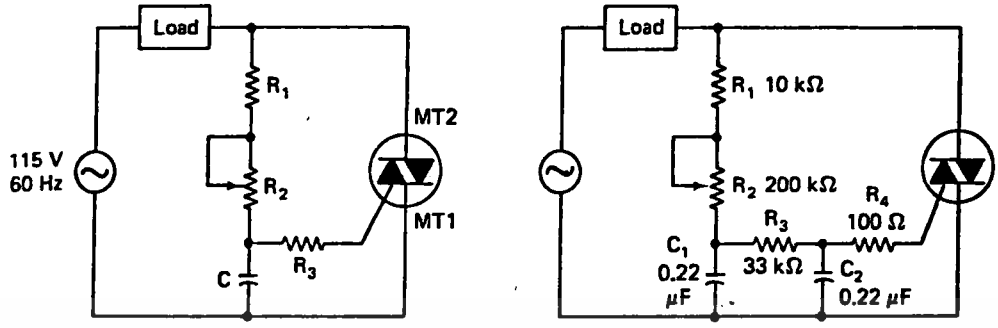
4.2.1 <u>วงจรจุดชนวนควบคุมเฟสที่ใช้ตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน</u>

วงจรจุดชนวนที่ง่ายที่สุดในการทริกไตรแอคแสดงดังรูปที่ 4.13 (a) ในรูป 4.13 (a) ตัวเก็บประจุ (C) ประจุโดยผ่านความต้านทาน R_1 และ R_2 ในระหว่างมุมหน่วงเวลาของแต่ละครึ่งวัฏจักรระหว่างครึ่งวัฏจักรบวก MT_2 เป็นบวกเมื่อเทียบกับ MT_1 และตัวเก็บประจุ (C) ประจุให้แผ่นบนของตัวเก็บประจุเป็นบวก เมื่อแรงดันที่ตัวเก็บประจุ (C) สะสมไว้มีค่ามากพอที่จะให้กระแสเกท (I_{GT}) โดยผ่านความต้านทาน R_3 เพื่อทริกไตรแอค ไตรแอคก็จะนำกระแสได้

ในระหว่างครึ่งวัฏจักรลบ ตัวเก็บประจุ (C) ประจุให้แผ่นบนของตัวเก็บประจุเป็นลบและเมื่อแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ มีค่าสูงพอที่จะให้กระแสเกท ในทิศทางที่กลับกันกับครึ่งวัฏจักรบวก ไตรแอคก็จะนำกระแสได้อีก

อัตราการประจุตัวเก็บประจุ ถูกกำหนดโดยความต้านทาน R_2 ถ้าความต้านทาน R_2 มาก อัตราการประจุจะช้าเป็นเหตุให้ การจุดชนวนถูกหน่วงเวลาออกไป และให้กระแสเฉลี่ยของโหลดต่ำ แต่ถ้าความต้านทาน R_2 น้อย อัตราการประจุจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้การจุดชนวนเร็วขึ้นและให้กระแสเฉลี่ยของโหลดสูง รูปที่ 4.13 (a) แสดงถึงวงจร single RC circuit ซึ่งมีข้อบกพร่องอยู่ที่ ไม่สามารถหน่วงเวลาการจุดชนวนไตรแอคเกิน 90° ไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงวงจรเสียใหม่ โดยใช้วงจร double RC circuit ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (b) วงจรนี้สามารถปรับย่านมุมหน่วงเวลาการจุดชนวนได้กว้างกว่าแบบแรก ค่าอุปกรณ์ที่ให้ไว้สามารถใช้กับไตรแอคที่ทนกระแสขนาดปานกลางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

รูปที่ 4.13 (a) วงจรจุดชนวนอย่างง่ายสำหรับไตรแอค มุมหน่วงเวลาปรับโดยความต้านทานปรับค่าได้ R_2

(b) การปรับปรุงวงจรจุดชนวนซึ่งสามารถปรับมุมหน่วงเวลาการจุดชนวนได้กว้างกว่า

4.2.2 วงจรจุดชนวนควบคุมเฟสโดยใช้ไดโอด 4 ชั้น (four-layer diode)

ตัวอย่างของวงจรจุดชนวนโดยใช้ไดโอด 4 ชั้น แสดงดังรูปที่ 4.14 (a) การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้ ขณะที่แหล่งจ่ายไฟเอซีมีการแกว่งแรงดันขึ้นลง ให้ค่าแรงดันบวกและลบสลับกันผ่านวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (bridge rectifier) วงจรจะทำการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (full-wave rectifier) ให้แก่วงจร อาร์ซีไทม์มิ่ง (RC timing network) แรงดันนี้เรียกว่า แรงดันบริดจ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 (c) แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ (V_c) จะมีค่าตามแรงดันบริดจ์ (V_{bridge}) โดย V_c จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้านทาน R_2 ที่แรงดันค่าต่างๆในแต่ละครึ่งวัฏจักรจะมีค่าแรงดันค่าหนึ่งที่ทำให้ V_c มีค่าถึงแรงดันเบรคโอเวอร์ (V_{BO}) ของไดโอด 4 ชั้น (four-layer diode) ดังแสดงในรูปที่ 4.14 (d) เมื่อแรงดัน V_{BO} นี้มาถึงไดโอด 4 ชั้นจะเกิดการเบรคโอเวอร์ และยอมให้ตัวเก็บประจุคายประจุผ่าน ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงพัลส์

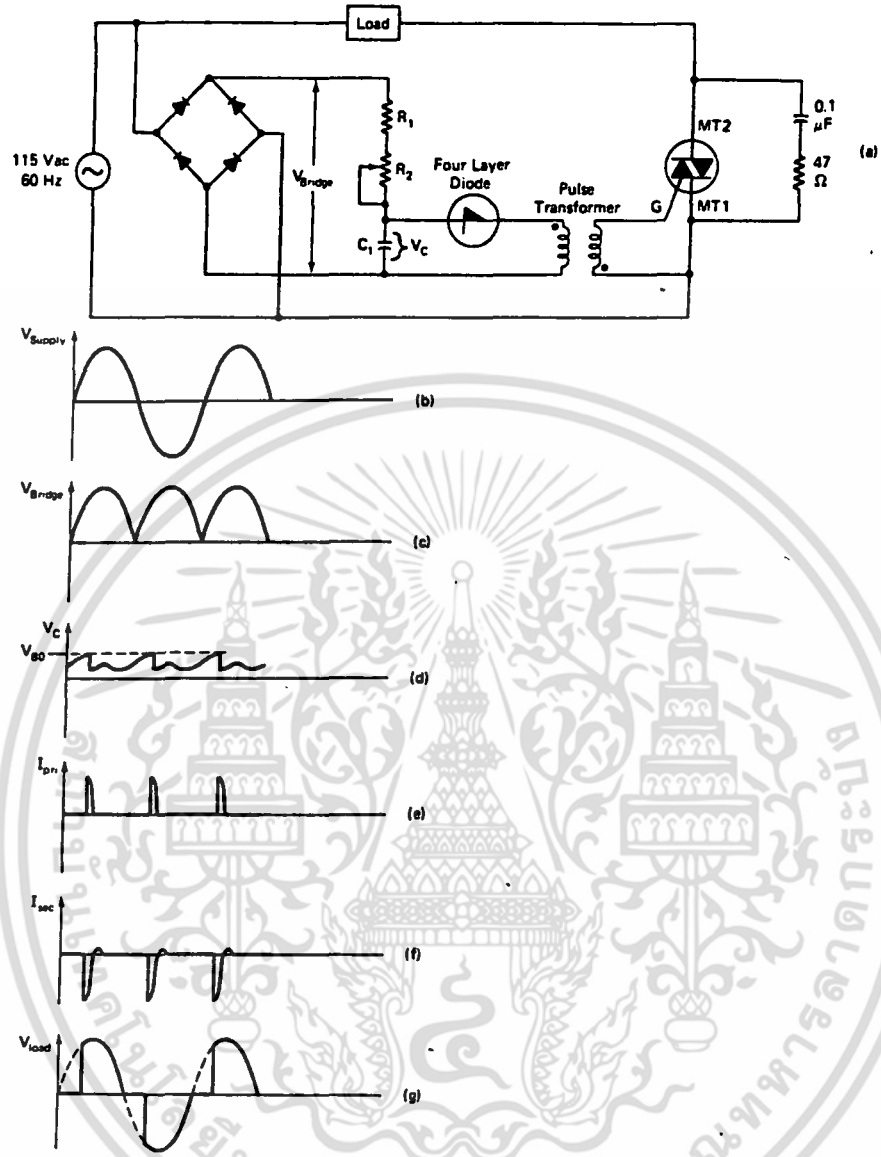
การคายประจุของตัวเก็บประจุจะสร้าง กระแสในขดปฐมภูมิของหม้อแปลงดังแสดงในรูปที่ 4.14 (e) กระแสนี้จะไหลอย่างต่อเนื่องจนกระทั่ง ตัวเก็บประจุคายประจุจนถึงจุดที่ ไม่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ่ายกระแสมีค่าเท่ากับกระแสโฮลดิง (holding current) ของไดโอด 4 ชั้น

หม้อแปลงพัลส์เป็นตัวคับปลิงกระแสพัลส์ไปยังวงจร G-MT_1 ของไตรแอค ด้วยเหตุนี้ การทำงานของไตรแอคของจึงเกิดขึ้น รูปคลื่นของกระแสเกทแสดงดังรูปที่ 4.14 (f) ความจำเป็นในการใช้หม้อแปลงพัลส์ก็เนื่องจาก วงจรอาร์ซีไทม์มิ่ง ต้องมีการแยกออกจากกันทางไฟฟ้า (electrically isolated) จากวงจร G-MT_1 ขณะที่วงจรอาร์ซีถูกขับโดยวงจรเรียงกระแสแบบบริจด์ ซึ่งต่ออยู่กับขา MT_1 สาเหตุที่ต้องมีการคับปลิงสามารถพิสูจน์ได้โดย เอาหม้อแปลงออกจากวงจรรูปที่ 4.14 (a) และต่อวงจรทริกเกอร์เข้ากับ G และ MT_1 โดยตรงจะเห็นว่าไดโอดตัวล่างขวาของวงจรบริดจ์ถูกลัดวงจร ซึ่งทำให้วงจรบริดจ์เสียหายได้ การถอดเอาหม้อแปลงออกแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 (a) วงจรจุดชนวนไตรแอคที่สมบูรณ์ประกอบด้วย ไดโอด 4 ชั้น และหม้อแปลงพัลส์

(b) รูปคลื่นของแรงดันเอซี

(c) แรงดันจากการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (full-wave rectifier)

(d) รูปคลื่นแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ C แสดงถึง

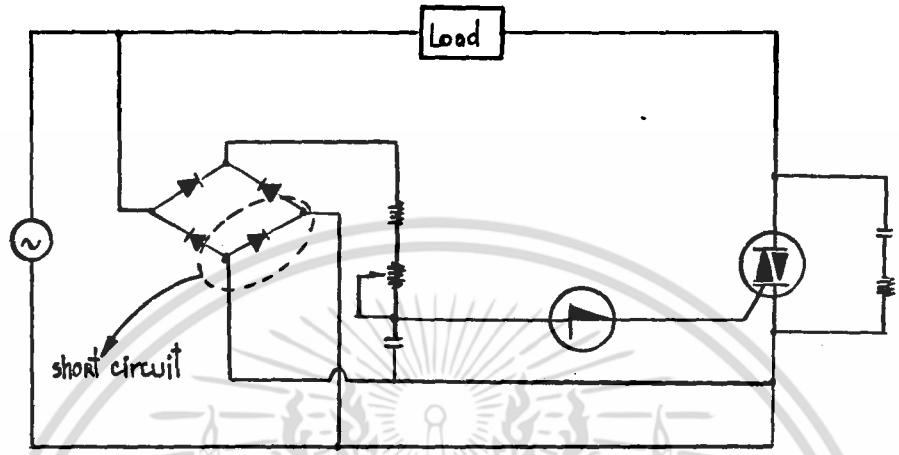
ค่าแรงดันเบรคโอเวอร์ของไดโอด 4 ชั้น

(e) กระแสจากขดปฐมภูมิของหม้อแปลงพัลส์

(f) กระแสจากขดทุติยภูมิของหม้อแปลงพัลส์ซึ่งตรงข้ามกับขดปฐมภูมิ

(g) รูปคลื่นแรงดันคร่อมโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 วงจรแสดงการถอดเอาหม้อแปลงออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

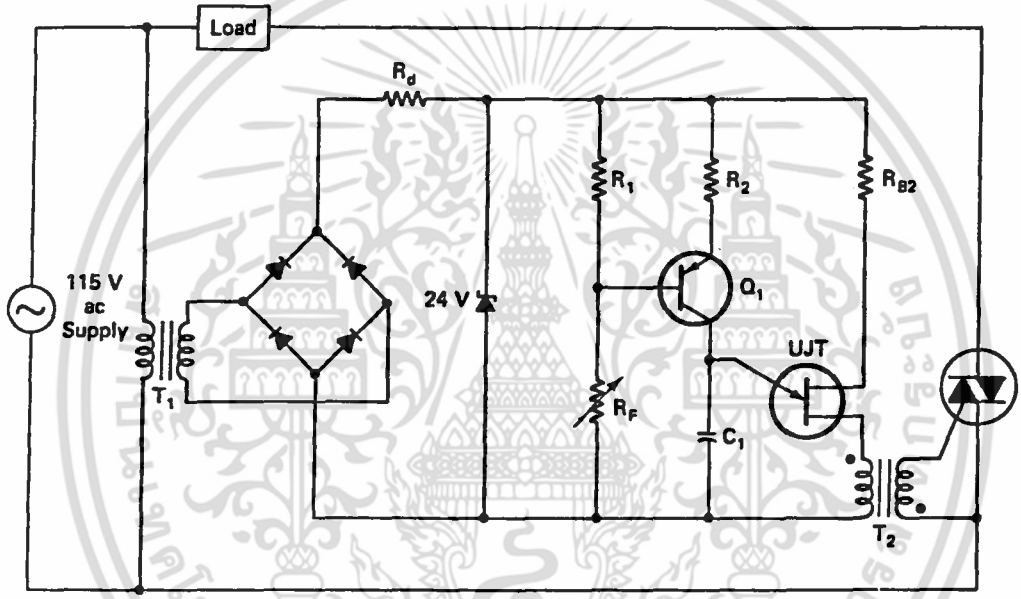
4.2.3 วงจรจุดชนวนควบคุมเฟสโดยใช้ยูเจที

ก) แบบมีความต้านทานป้อนกลับ (R_F)

วงจรจุดชนวนควบคุมเฟสชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 4.16 การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้ จากรูปที่ 4.16 (a) เมื่อแรงดันไฟสลับ 115 โวลท์ จากขดทุติยภูมิของหม้อแปลง T_1 จ่ายให้กับวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (bridge rectifier)จะได้แรงดันจากการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นป้อนเข้าความต้านทาน R_d และซีเนอร์ไดโอด ซีเนอร์ไดโอดจะให้ค่าแรงดันคงที่ 24 v เข้าจังหวะ (synchronous) กับเส้นสัญญาณไฟสลับ รูปคลื่นนี้แสดงดังรูปที่ 4.16 (c) เมื่อได้แรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดมีค่า 24 โวลท์ แล้วตัวเก็บประจุ C_1 เริ่มต้นประจุจนถึงค่า แรงดันยอดของยูเจที (V_p) ยูเจทีจะนำกระแสและสร้างกระแสพัลส์ขึ้นในขดปฐมภูมิ ของหม้อแปลงพัลส์ T_2 กระแสพัลส์จากขดปฐมภูมิจะถูกคับปลิงไปยังขดทุติยภูมิ กระแสพัลส์จากขดทุติยภูมิจะถูกปล่อยให้กับเกทของไตรแอคทำให้ไตรแอคเข้าสู่ สภาวะนำกระแสในแต่ละครึ่งวัฏจักรได้ รูปคลื่นของแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ C_1 กระแสทุติยภูมิของ T_2 (Isec) และแรงดันคร่อมโหลด V_{LD} แสดงดังรูปที่ 4.16 (d),(e) และ(f) ตามลำดับมุมหน่วงเวลาการจุดชนวนมีค่าประมาณ 135^o

อัตราการประจุตัวเก็บประจุ C_1 กำหนดโดยความต้านทาน R_F / ความต้านทาน R_1 ซึ่ง R_FและR_1 อยู่ในรูปของการแบ่งแรงดัน (voltage divider) โดยแหล่งจ่ายไฟตรง 24 โวลท์ จะถูกแบ่งแรงดันระหว่าง R_F กับ R_1 ที่จะจ่ายให้กับวงจรทริกเกอร์ ถ้าความต้านทาน R_F มีค่าน้อยกว่าความต้านทาน R_1 แล้วความต้านทาน R_1 จะได้รับการแบ่งแรงดันจากแหล่งจ่ายมากกว่า ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี (Q_1) นำกระแสอย่างมากจากแรงดันคร่อม R_1 จ่ายให้กับเบสและอิมิตเตอร์ของ Q_1เมื่อ Q_1 นำกระแสมากตัวเก็บประจุ C_1 จะถูกประจุอย่างรวดเร็วโดยกระแสคอลเล็กเตอร์ของ Q_1 ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ ยูเจทีนำกระแสได้เร็วในแต่ละครึ่งวัฏจักรทำให้ค่าเฉลี่ยกระแสโหลดมีค่าสูง

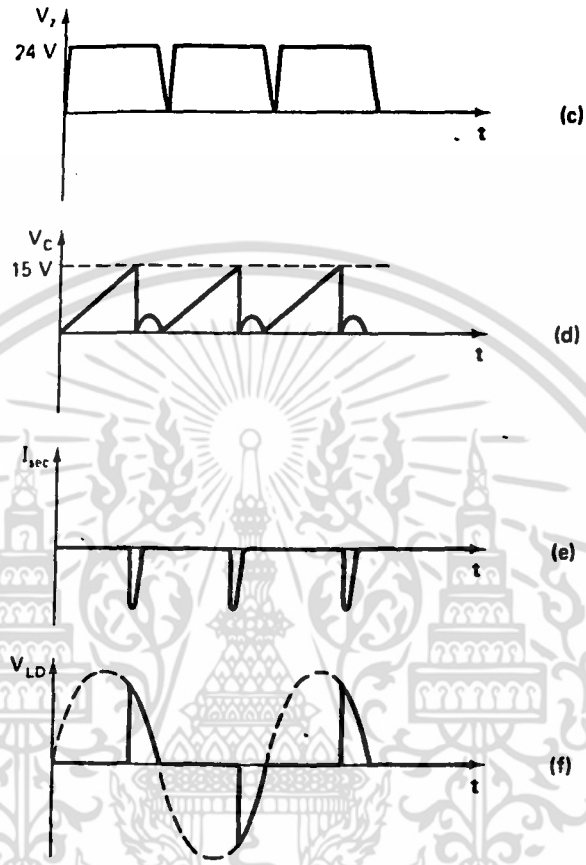
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

รูปที่ 4.16 (a) วงจรควบคุมการจุดชนวนโดยใช้ยูเจทีและแหล่งจ่ายกระแสคงที่ควบคุมโดยความต้านทานป้อนกลับ R_F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 (c) แรงดันซีเนอร์ซึ่งจ่ายให้กับวงจรทริกเกอร์

(d) รูปคลื่นแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าเพิ่มขึ้น จนถึงค่า V_p ของยูเจทีด้วยความชันคงที่

(e) กระแสพัลส์จากขดทุติยภูมิของหม้อแปลงพัลส์

(f) รูปคลื่นแรงดันคร่อมโหลด

ในทางกลับกันถ้าความต้านทาน R_F มีค่ามากกว่า R_1 แรงดันคร่อม R_1 มีค่าน้อยกว่ากรณี $R_1 > R_F$ เนื่องจากผลของการแบ่งแรงดันทำให้แรงดันที่ตกคร่อม เบสและอิมิตเตอร์ของ Q_1 น้อยลง Q_1 จะลดการนำกระแสลงเป็นผลให้อัตราการประจุ ตัวเก็บประจุ C_1 ลดลงการสร้างแรงดัน V_p จึงเกิดขึ้นได้ช้า ดังนั้น ยูเจทีและไตรแอคจึงนำกระแสได้ช้าในแต่ละครึ่งวัฏจักร ค่าเฉลี่ยของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสโหลดจึงน้อยกว่ากรณีแรก

ข) แบบมีแรงดันป้อนกลับ (V_F)

พิจารณาวงจรรูปที่ 4.16 (b) เมื่อทำการถอดความต้านทาน R_F ออกจากวงจร และแทนที่ด้วยทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น แรงดันป้อนกลับแปรค่าได้ V_F ใช้ควบคุมมุมหน่วงเวลาการจุดชนวนของไตรแอค อาศัยกฎของโอห์มที่วงจรเบส-อิมิตเตอร์ของ Q_2 จะได้ว่า

$$V_F = (I_{E2})R_3 + 0.6\ v \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4.1)$$

โดย I_{E2} เป็นกระแสอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_2 กระแสคอลเล็กเตอร์มีค่าเกือบเท่ากระแสอิมิตเตอร์สำหรับ ทรานซิสเตอร์ที่มีอัตราขยายสูง เขียนสมการสำหรับกระแสคอลเล็กเตอร์ Q_2 ได้เป็น

$$I_{C2} = V_F - 0.6v \ / \ R_3$$

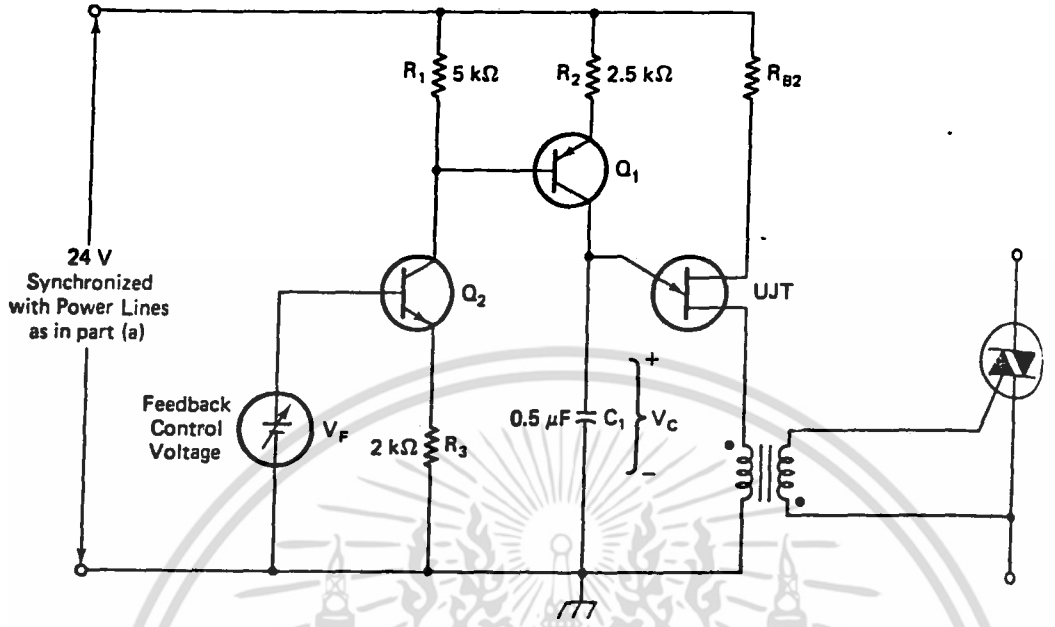
กระแสคอลเล็กเตอร์ Q_2 เป็นกระแสเดียวกับกระแสที่ผ่านความต้านทาน R_1 ถ้าเราไม่คิดกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 ดังนั้นแรงดัน V_{R1} ซึ่งขับทรานซิสเตอร์ Q_1 กำหนดโดย I_{C2} นั่นคือ

$$V_{R1} = (I_{C2})R_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4.2)$$

$$V_{R1} = R_1/R_3\ (V_F - 0.6v)$$

สังเกตว่าทรานซิสเตอร์ Q_2 มีความต้านทาน R_E มากซึ่งจะให้ อินพุทอิมพีแดนซ์สูงกับ V_F หม้อแปลง T_1 และ T_2 จะแยกส่วนของแหล่งกำเนิดแรงดันป้อนกลับออกจากแหล่งจ่ายไฟเอซีหลัก ซึ่งเป็นการแยกวงจรทริกเกอร์อย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 (b) วงจรจุดชนวนโดยใช้แรงดันป้อนกลับ V_F

4.3 การระมัดระวังป้องกันไธริสเตอร์ขณะใช้งาน

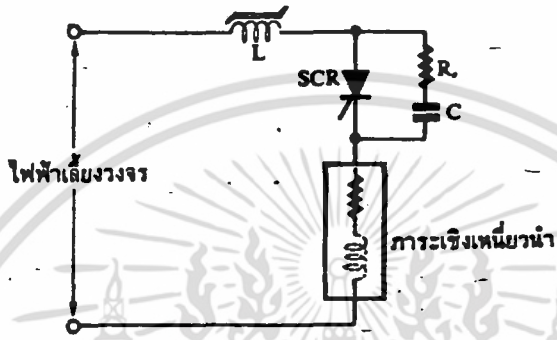
ไธริสเตอร์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถชำรุดได้ เมื่อมีกระแสไหลมากเกินขนาด หรือเมื่อมีแรงดันสูงเกินขนาด และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ในรูปแบบใดๆ เกิดขึ้น (ทั้งขนาดและอัตราการเปลี่ยนแปลง) เรามีวิธีระมัดระวังป้องกันหลายวิธี ในวิธีเหล่านี้มีหลายวิธีที่เป็นวิธียุ่งยากและมีราคาแพง จึงขอยกตัวอย่างวิธีที่ง่ายและราคาไม่แพงนักดังต่อไปนี้

4.3.1 <u>การป้องกันอัตราการเพิ่มค่าของกระแสอาโนด</u> (d_i/d_t)

ในระหว่างที่ไธริสเตอร์กำลังเปิดกระแส จะมีกระแสอาโนดไหลเพิ่มค่าขึ้น ด้วยอัตราเร็วสูง d_i/d_t จะทำให้ไธริสเตอร์ชำรุดได้จึงได้มีการระบุอัตรา d_i/d_t ปกติจำกัดเอาไว้เราสามารถป้องกันไม่ให้ d_i/d_t มีค่าเกินกว่าอัตราปกติได้ด้วยการใช้ ภาระที่มีค่าเหนี่ยวนำผสมอยู่ด้วย ใช้ตัวเหนี่ยวนำตัวเล็กๆ หรือใช้ตัวเหนี่ยวนำที่อิ่มตัวได้เข้าต่ออนุกรมกับ สายไฟฟ้าเลี้ยงวงจร ถ้าเป็นตัวเหนี่ยวนำอิ่มตัวได้จะหน่วงอัตราการเพิ่มค่าของกระแสให้ช้าลงเมื่อเข้าสู่สภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงตัวตัวเหนี่ยวนำจะอิ่มตัว และมีค่าอิมพีแดนซ์น้อยมาก หรือใช้ตัวเก็บประจุเข้าต่อคร่อมไธริสเตอร์ จะช่วยแบ่งกระแส Cdv/d_t เมื่อมีแรงดันเปลี่ยนแปลงให้ออกไปจากไธริสเตอร์ แต่เพื่อจำกัดไม่ให้มีการกวัดแกว่งค่าเล็ก จึงใช้ความต้านทานค่าเล็ก R_s ต่ออนุกรมไว้ด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.17 เรียก R_s นี้ว่า " ตัวต้านทานเสิร์จ " (Surge resistor)



รูปที่ 4.17 การป้องกันอัตราการเพิ่มค่าของกระแสอาโนด d_i/d_t

4.3.2 <u>การป้องกันแรงดันกระโชกหรือแรงดันเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ (d_v/d_t)</u>

แรงดันกระโชกหรือการเปลี่ยนแปลงแรงดันชั่วครู่ จะทำให้ไธริสเตอร์เปิดกระแสด้วยวิธี d_v/d_t ซึ่งเป็นวิธีการที่เราไม่ต้องการ และถือเป็นสิ่งรบกวนการเปิดไธริสเตอร์ให้นำกระแส จึงต้องหาวิธีป้องกัน

แรงดันกระโชกและแรงดันเปลี่ยนชั่วครู่เกิดขึ้นในวงจรเนื่องจาก

(1) สับสวิตช์ทางขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงที่ใช้จ่ายไฟเลี้ยงวงจร จะมีกระแสไหลพุ่งเข้าหม้อแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการกวัดแกว่งขึ้นในขดลวดปฐมภูมิ เนื่องจากค่าเก็บประจุกระจายอยู่ระหว่างขดลวด และ รีแอคแตนซ์รั่ว เป็นสาเหตุทำให้เกิดแรงดันมีค่าเป็นสองเท่าของค่าแรงดันเลี้ยงวงจรช่วงสูงสุดคร่อมสิ่งประดิษฐ์

(2) การยกสวิตช์ทางขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง เป็นผลให้มีการลดค่าของฟลักซ์ลงอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ ขึ้นในขดลวดทุติยภูมิเป็นแรงดันเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ที่มีค่าใหญ่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) การสับสวิตช์ทางขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงลดแรงดัน (step-down tranformer) ค่าตัวเก็บประจุระหว่างขดลวดปฐมภูมิกับทุติยภูมิทำให้มีแรงดัน เปลี่ยนแปลงชั่วครู่ค่าใหญ่เกิดขึ้นทางขดลวดทุติยภูมิ

(4) การยกสวิตช์ทางด้านภาระ หรือการตัดวงจร เนื่องจากเครื่องป้องกันกระแสเกินขนาดทำงานเป็นผลให้ค่าเหนี่ยวนำ หรือรีแอคตีฟในภาระให้เกิดมีแรงดันเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ Ld_i/d_t ค่าใหญ่

(5) ผลของประจุค้างอยู่ในสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะมีมากในฟรีเวลลิ่งไดโอด และอินเวอร์เตอร์บางแบบ กระแสเนื่องจากประจุค้างจะไม่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชั่วครู่แต่การที่กระแสนี้หยุดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อรอยต่อกลับฟื้นคืนตัวจะทำให้เกิด แรงดันยอดแหลม (spike) ที่เป็นอันตราย

(6) ฟ้าผ่าจะทำให้เกิดแรงดันสูงขึ้นในสายไฟฟ้าชั่วครู่มีค่าหลายกิโลโวลท์

(7) แรงดันสูงเกินขนาดเนื่องจากภาระที่มีการป้อนกลับค่าบวก เช่น แรงเคลื่อนไฟฟ้าไต๋กลับทำให้เกิดมีแรงดันกลับสูงเกินขนาด

วิธีการป้องกันที่ง่ายและมีราคาถูก คือใช้ RC ต่อคร่อมสายไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 4.18 (ก) และถ้าเป็นสายไฟฟ้าแบบสามเฟสก็อาจต่อดังแสดงในรูปที่ 4.18 (ข) หรือรูปที่ 4.18 (ค) ซึ่งอาจเป็นวงจรที่ดีกว่าเพราะว่า สามารถใช้ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโตรไลติค (electrolytic capacitor) ที่มีขนาดเล็กลงได้ ตัวความต้านทานเสิร์จ (surge resistor) R_s จะป้องกันไม่ให้เกิดการกวัดแกว่งค่าเล็ก ตัวความต้านทานบลีดเดอร์ (bleeder resistor) มีความต้านทานค่าใหญ่ใช้ถ่ายประจุ ออกจากตัวเก็บประจุเมื่อวงจรถูกตัดไฟฟ้าเลี้ยงวงจรออก แทนที่เราจะใช้ RC ต่อคร่อมสายไฟฟ้าเลี้ยงวงจร เราอาจใช้ RC ต่อคร่อมเอสซีอาร์แต่ละตัวเหมือนกับที่ใช้ในรูปที่ 4.19 (ก) เราเรียกวงจรนี้ว่า "วงจรสนับเบอร์" (snubber circuit) เพื่อที่วงจรสนับเบอร์จะทำงานได้ดีขึ้น เราอาจใช้วงจร "ไดโอดฟื้นตัวกลับคืนเร็ว" (fast recovery diode) D เข้าต่อขนานกับ R_s ดังแสดงในรูปที่ 4.19 (ข) เมื่อแรงดันกระโชกเข้ามา D จะเปิดกระแสเข้าประจุ C และ C จะทำหน้าที่คล้ายสปริงคือมีพฤติการณ์เหมือนกับ มีการลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้น แรงดันของวงจรจะลดต่ำลง พร้อมกันนั้นก็เบี่ยงกระแสให้ผ่านเข้าไปใน C แทนที่จะผ่านเข้าไธริสเตอร์ ครั้นเมื่อ C ได้รับประจุแล้วก็จะมีแรงดันตกคร่อมมากขึ้น กระแสก็ไหลเบี่ยงกลับเข้าไธริสเตอร์ต่อเมื่อ C ได้รับประจุเต็มที่แล้วกระแสจะหยุดไหลผ่าน C และไปไหลผ่านไธริส-เตอร์ทั้งหมด เมื่อ D ได้ฟื้นตัวกลับคืนแล้วกระที่ไหลผ่าน C นั้นจะไหลผ่าน R_s ด้วย และ R_s ทำหน้าที่ลดขนาดการกวัดแกว่งค่าเล็กที่เกิดขึ้น และจำกัดกระแสในช่วงไธริสเตอร์ เปิดกระแสซึ่งในตอนเริ่มแรกของช่วงนี้ C จะถ่ายประจุออกและไหลผ่านไธริสเตอร์ ส่วน D ใช้ทำหน้าที่ลดการเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ของพาหะที่ค้างอยู่ฟื้นตัวกลับคืน นอกจากนี้เราอาจต่อเป็นวงจรต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 (ค)

การเลือกใช้ค่า R_s และ C จะขึ้นอยู่กับการทดลองทำดูและเลือกค่าที่ให้ผลดีที่สุดนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอัตรา d_i/d_t และ d_v/d_t ที่ผู้ผลิตได้ระบุให้ไว้ เราต้องเลือกใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่มีค่าเหนี่ยวนำต่ำสุด ดังนั้นเราควรเลือกใช้ตัวต้านทาน ที่ประดิษฐ์ขึ้นจากผงถ่านและเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่สามารถทำงาน ในย่านความถี่สูงได้ดี ถ้าหากเลือกใช้ตัวเก็บประจุแบบอิ-เล็กโตรไลติคค่าสูงๆ จะมีค่ารีแอคแตนซ์เหนี่ยวนำมากที่ความถี่สูง เราต้องแก้ด้วยใช้ตัวเก็บประจุชนิดของความถี่สูงค่า 0.1-1 ไมโครฟารัดเข้าต่อขนาน การเดินสายจะต้องใช้สายสั้นๆและติดตั้งไว้ใกล้ไธริสเตอร์ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

เราอาจคำนวณหาค่า C เริ่มต้นจากสูตรสำเร็จรูปดังนี้

$$C = 10I_F/V$$

เมื่อ C เป็นค่าของตัวเก็บประจุ (ไมโครฟารัด)

I_F เป็นอัตรากระแสสูงสุดของไธริสเตอร์ (แอมแปร์)

V เป็นอัตราแรงดันกลับยอดสูงสุดของไธริสเตอร์ (โวลท์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณีที่มีหม้อแปลงอยู่ทางด้านอินพุทของวงจรไธริสเตอร์และถ้ามีการเปิดสวิตช์ทางด้านปฐมภูมิ(กรณีนี้ใช้ได้กับกรณีภาระเหนี่ยวนำด้วย) เราอาจคำนวณค่า C เริ่มต้นจากสูตรสำเร็จรูปดังนี้

$$C = VA/31f(V_p)^2$$

เมื่อ C เป็นค่าเริ่มแรกของตัวเก็บประจุ (ฟารัด)

VA เป็นอัตราโวลท์-แอมแปร์ของหม้อแปลง

f เป็นความถี่ของไฟเลี้ยงวงจร

V_p อัตราแรงดันเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ยอดสูงสุดของไธริสเตอร์แต่ละตัว

เมื่อเราได้ค่า C เริ่มแรกมาก็ให้เลือกใช้ค่าใกล้เคียงที่ตรงกับค่าตัวเก็บประจุที่มีจริงในปฏิบัติ และเลือกค่า R_s เพื่อให้สอดคล้องกับสูตรข้างล่างนี้

กรณีรูปที่ 4.18

$t <= R_sC$

กรณีรูปที่ 4.19 (ก)

$t <= (R_L+R_S)C$

กรณีรูปที่ 4.19 (ข)

$t <= R_LC$

เมื่อ R_L เป็นค่าความต้านทานของภาระ (โอห์ม)

R_s เป็นค่าความต้านทานเสิร์จ (โอห์ม) ซึ่งต้องเลือกใช้ตามค่าจำกัดยอดสูงสุดของกระแสถ่ายประจุ E/R_s ในระหว่างที่ไธริสเตอร์เปิดกระแสโดยมีค่าที่ไธริสเตอร์

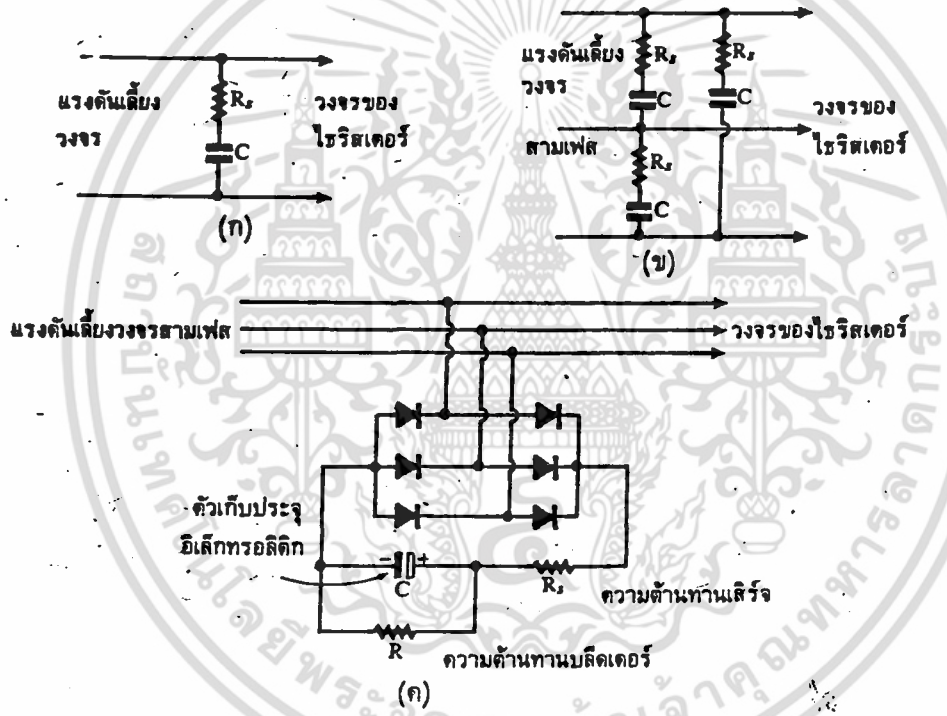
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปิดกระแสโดยมีค่าที่ไธริสเตอร์สามารถทนทานได้

t เป็นค่าเวลาคงที่ต่ำสุด (ไมโครวินาที) ของแรงดันฟอร์เวิร์ดเพิ่มค่าขึ้นอย่างโค้งๆ ของไธริสเตอร์ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$t = 0.632 \times$ อัตราแรงดันปกติของไธริสเตอร์ / d_v/d_t

เมื่อ d_v/d_t เป็นอัตรา d_v/d_t ปกติของไธริสเตอร์ที่ผู้ผลิตให้ไว้



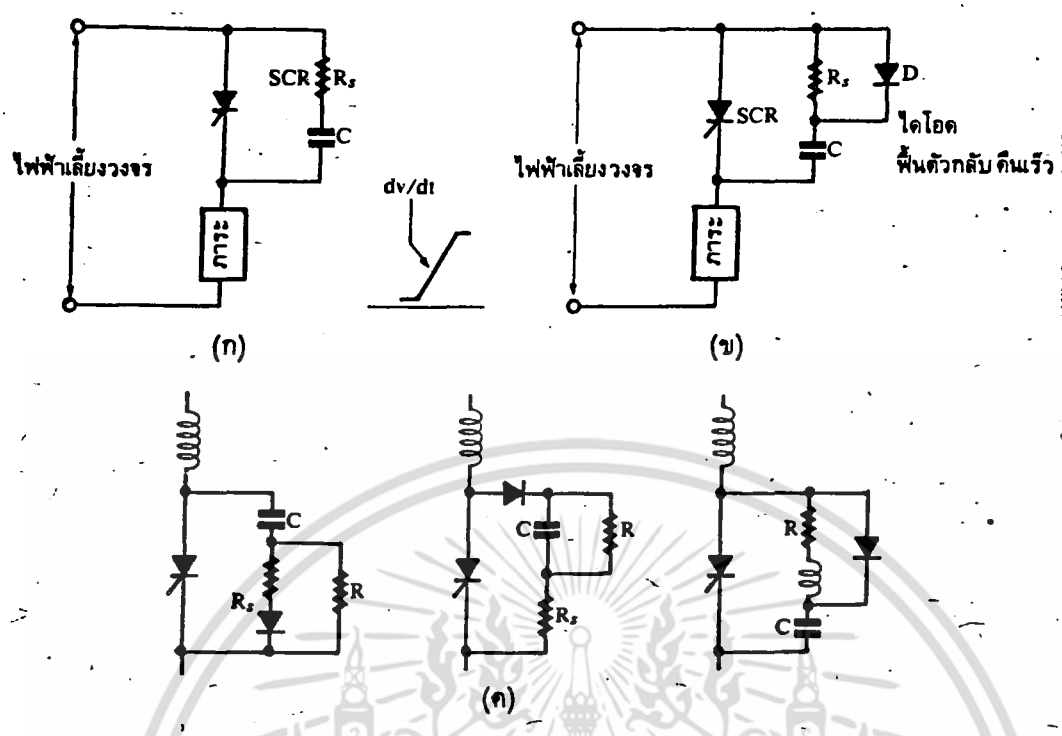
รูปที่ 4.18 วงจรป้องกันแรงดันกระโชกสำหรับ

(ก) สายไฟฟ้าเฟสเดียว

(ข) สายไฟฟ้าสามเฟส

(ค) สายไฟฟ้าสามเฟสที่ใช้วงจร single RC circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 วงจรป้องกันแรงดันเปลี่ยนแปลงชั่วครู่โดยใช้

(ก) วงจรสนับเบอร์

(ข) วงจรสนับเบอร์และไดโอดฟื้นตัวกลับคืนเร็ว

(fast recovery diode)

(ค) วงจรอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวโดยการจุดชนวนควบคุมเฟส

มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 1/4 กำลังม้าในปัจจุบันหาได้ง่าย และราคาไม่แพงบางทีอาจถอดมาจาก เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านที่เลิกใช้แล้ว มอเตอร์พวกนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้สารพัด เช่น ใช้กับสว่าน เลื่อยไฟฟ้า และงานพวกนี้ถ้ามีเครื่องมือที่จะควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ได้ ไม่ว่าโหลดจะเปลี่ยนอย่างไรก็จะทำให้การใช้งานของมอเตอร์ ได้ประโยชน์ยิ่งขึ้น

4.4.1 <u>วงจรควบคุมมอเตอร์แบบแยกวงจรจุดชนวนออกจากแหล่งจ่ายกำลังให้โหลด</u>

การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้ วงจรตรวจจับความเร็ว ของมอเตอร์ทำงานโดยไดโอดเปล่งแสงในตัวออปโตคับเปิล (opto couple) ปล่อยแสงผ่านแผ่นกลมที่เจาะรูไว้ 1 รู รูนี้จะตัดแสงที่จะผ่านไปยัง ตัวรับแสงหรือโฟโตทรานซิสเตอร์ (phototransistor) ต่อแผ่นกลมนี้เข้ากับเพลาของมอเตอร์ ทรานซิสเตอร์ T_1 ก็จะนำกระแสเป็นช่วงๆ ตามความเร็วของมอเตอร์ นำพัลส์จากทรานซิสเตอร์ T_1 ไปทริกวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (IC_1) แล้วทำการอินทิเกรตเอาท์พุท $\bar{Q}$ ด้วยความต้านทาน / ตัวเก็บประจุ R_6/C_4 และ R_7/C_5 จะได้แรงดันไฟตรงที่แปรผกผันกับความเร็วของมอเตอร์

ตัวต้านทานปรับค่าได้ P_1 เป็นตัวปรับความเร็วของมอเตอร์ ส่วนทรานซิสเตอร์ T_2 ทำหน้าที่เปรียบเทียบความเร็วจริงของมอเตอร์กับความเร็วที่ตั้งไว้ด้วย ความต้านทานปรับค่าได้ P_1 สำหรับทรานซิสเตอร์ T_3 และ T_4 ทำหน้าที่สร้างพัลส์จุดชนวนทุกๆครึ่งวัฏจักรของไฟบ้านเพื่อทริกให้ไตรแอคนำกระแส จุดที่เริ่มต้นมีการทริกขึ้นอยู่กับ กระแสคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ T_3 ซึ่งเป็นกระแสที่ไปประจุตัวเก็บประจุ C_6

ถ้าความเร็วของมอเตอร์มีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้น แรงดันที่ตัวเก็บประจุ C_4 จะตก ทำให้แรงดันที่เบสของทรานซิสเตอร์ T_2 ลดลงด้วยกระแสคอลเล็กเตอร์ของ T_2 จะลดทรานซิสเตอร์ T_3 ก็จะนำกระแสน้อยลง ดังนั้นการสร้างพัลส์จุดชนวนไตรแอคจะเกิดช้า มอเตอร์จะหมุนช้าลงด้วย ถ้ามอเตอร์มีแนวโน้มว่าจะช้าลง การทำงานก็จะตรงกันข้ามกับที่กล่าวข้างต้น คือแรงดันที่ตัวเก็บประจุ C_4 จะสูงขึ้น แรงดันคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ T_2 จะตกลง กระแสคอล-

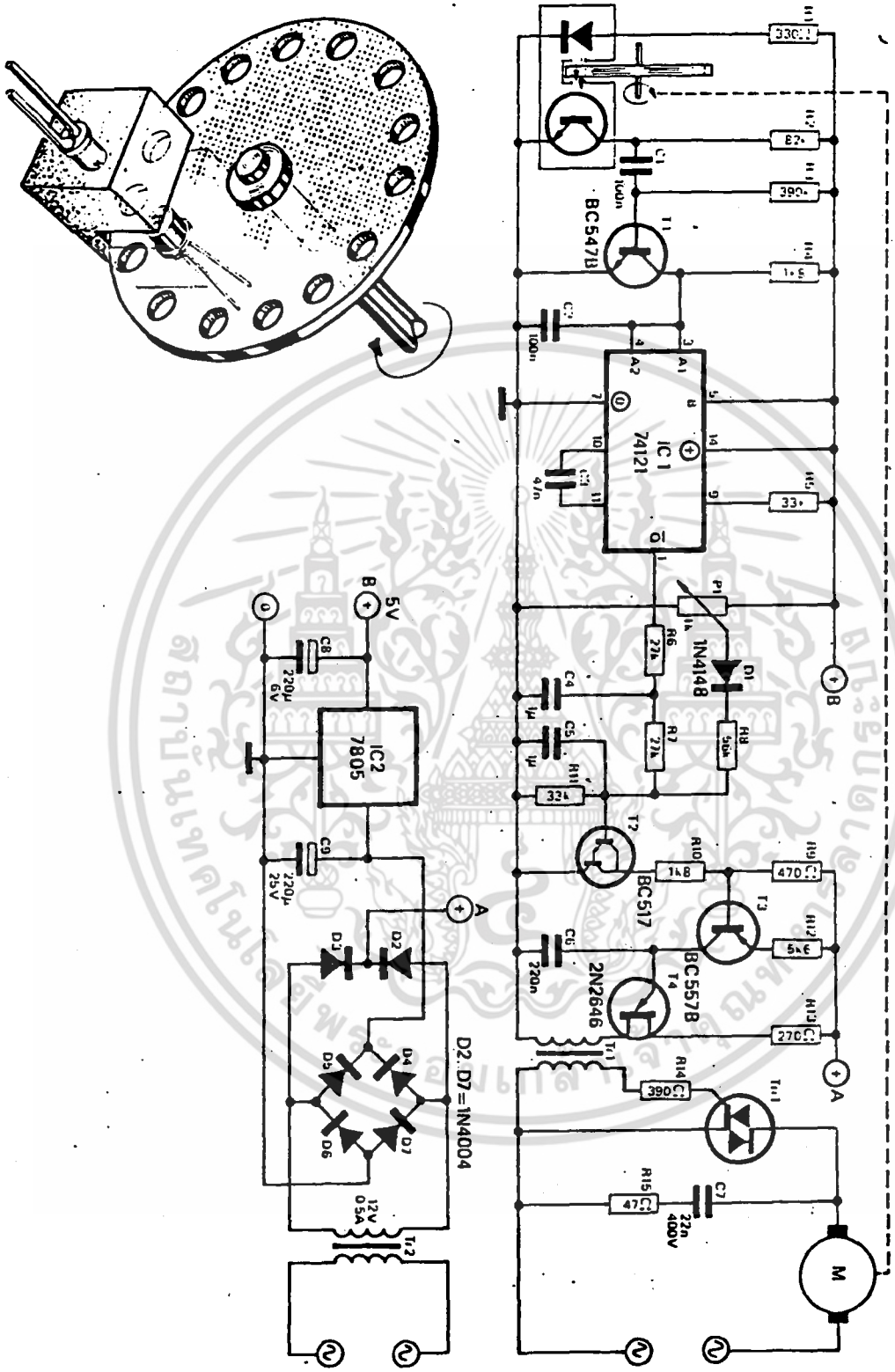
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กเตอร์ของ T_3 จะเพิ่มขึ้นพัลส์จุดชนวนไตรแอคจะเกิดขึ้นเร็วจึงทำให้มอเตอร์รักษาความเร็วไว้ได้คงที่

ภาคที่ทำหน้าที่จุดชนวน (T_2 ถึง T_4) ใช้แหล่งจ่ายไฟตรงจากจุด A ซึ่งเป็นแรงดันเต็มคลื่น (full-wave) ที่ยังไม่ได้กรองให้เรียบ เมื่อยูเจที T_4 นำกระแส ตัวเก็บประจุ C_6 จะคายประจุทันที แต่ยูเจที T_4 ยังนำกระแสไปจนแรงดันไฟฟ้าในวัฏจักรนั้นตกลงเป็นศูนย์เนื่องจากตัวเก็บประจุ C_6 เริ่มถูกประจุจากแรงดันเป็นศูนย์ทุกครั้ง ดังนั้นเวลาจากจุดเริ่มต้นที่แรงดันไฟบ้านเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นจากศูนย์ ไปยังจุดที่เริ่มมีการจุดชนวนจึงขึ้นกับทรานซิสเตอร์ T_3 จะเห็นว่าพัลส์จุดชนวนจะเข้าจังหวะกับไฟบ้านเสมอ

ชนิดของไตรแอคที่ใช้ขึ้นกับขนาด และชนิดของมอเตอร์ แต่อย่างน้อยควรทนแรงดันได้ไม่น้อยกว่า 3 เท่าของแรงดันไฟฟ้า อัตราการทนกระแสขึ้นอยู่กับกระแสสูงสุดของมอเตอร์ หรือหาได้จากกำลังสูงสุดของมอเตอร์หารด้วยแรงดันไฟฟ้า แล้วคูณผลลัพธ์ด้วย 2 เช่น มอเตอร์ขนาด 1/4 กำลังม้า จะต้องการกระแส 1/4 x 746/220 x 2 (1 กำลังม้า = 746 วัตต์) = 2A วงจรควบคุมมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 4.20 (a)

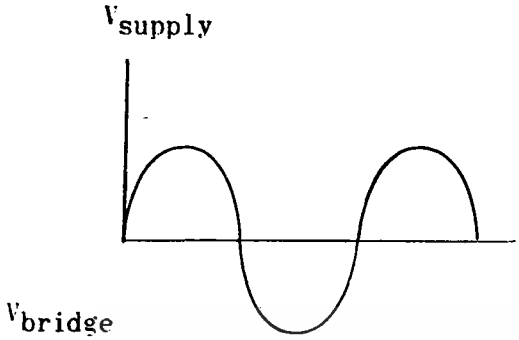
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

รูปที่ 4.20 (a) วงจรควบคุมมอเตอร์แบบแยกวงจรจุดชนวนออกจากแหล่งจ่ายกำลังให้โหลด

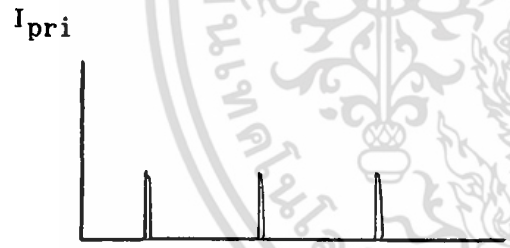
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



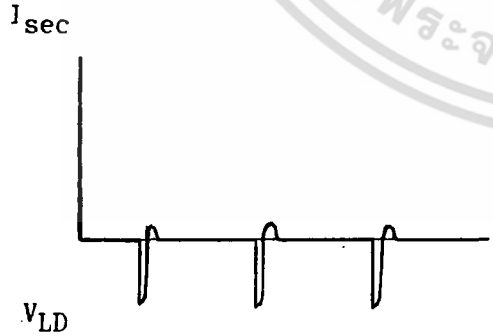
(b)

(c)

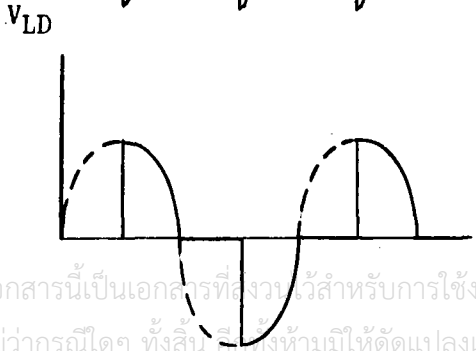
(d)



(e)



(f)



(g)

รูปที่ 4.20 (b) แรงดันไฟสลับจากแหล่งจ่าย
(c) แรงดันจากการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น
(d) แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ C_6
(e) กระแสจากขดปฐมภูมิของหม้อแปลงพัลส์ (I_{pri})
(f) กระแสจากขดทุติยภูมิของหม้อแปลงพัลส์ (I_{sec})
(g) แรงดันคร่อมโหลด

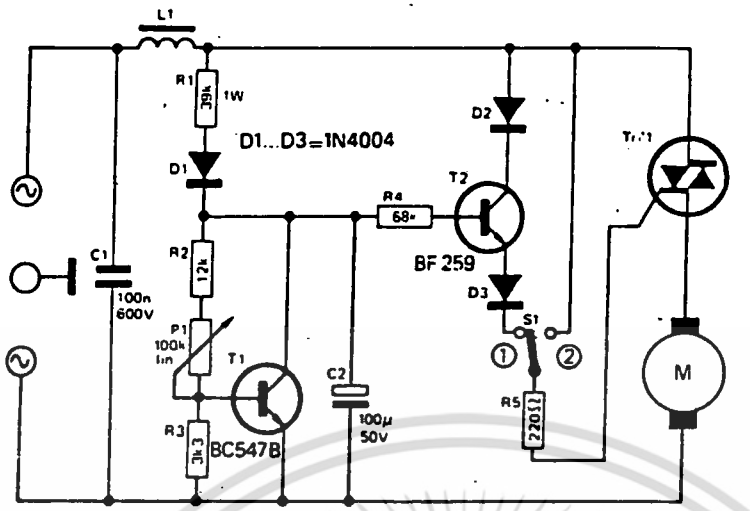
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 วงจรควบคุมมอเตอร์แบบไม่แยกวงจรจุดชนวนออกจากแหล่งจ่ายกำลังให้โหลด

การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้ จากรูปที่ 4.21 (a) เมื่อป้อนสัญญาณไฟสลับผ่าน ตัวต้านทาน R_1 และถูกเรียงกระแสโดยไดโอด D_1 แล้วป้อนให้แก่ทรานซิสเตอร์ T_1 และ T_2 กระแสที่ถูกดึงโดยทรานซิสเตอร์ T_1 (ปรับได้ด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ P_1) จะทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_2 เปลี่ยนแปลงและป้อนให้แก่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ T_2 ผ่านตัวต้านทาน R_4 T_2 เป็นทรานซิสเตอร์ต่อแบบอิมิตเตอร์ตาม (emitter follower) แรงดันที่ขาคาโทดของไดโอด D_3 จะมีค่าต่ำกว่าที่ขาเบสของ ทรานซิสเตอร์ T_2 ประมาณ 1.5 v (V_{BE} +0.6v) ถ้าสมมติว่าขณะที่มอเตอร์หมุนและไตรแอคไม่นำกระแสแรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของมอเตอร์จะปรากฏที่ขาคาโทดของไดโอด D_3 และถ้าแรงดันมีค่ามากไตรแอคก็จะยังไม่นำกระแสจนกระทั่งมอเตอร์หมุนช้าลงซึ่งจะทำให้แรงดันซึ่งเกิดจากมอเตอร์ ที่ขาคาโทดของไดโอด D_3 มีค่าต่ำลงกว่าแรงดันเดิมของไตรแอค ไตรแอคก็จะนำกระแส ในกรณีที่เพิ่มโหลดแก่มอเตอร์ซึ่งทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลง แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของมอเตอร์จะลดลงเร็ว ไตรแอคก็จะเริ่มนำกระแสเร็วด้วย ความเร็วของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นจนคงที่เท่าเดิม

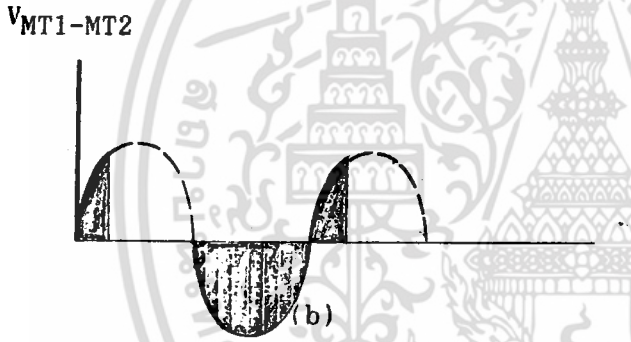
เนื่องจากว่าไตรแอคจะถูกทริกให้นำกระแสได้เฉพาะ ในช่วงครึ่งคลื่นที่เป็นบวกเท่านั้น ดังนั้น ตัวต้านทานปรับค่าได้ P_1 จึงไม่สามารถปรับความเร็วรอบสูงสุด วงจรนี้จึงสามารถบังคับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ดีที่ความเร็วต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

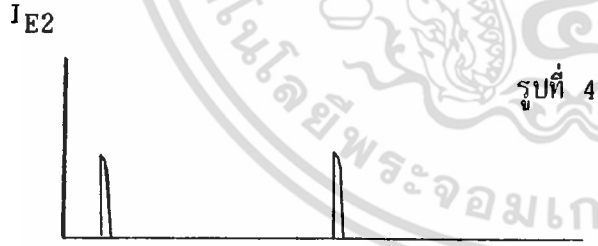


(a)

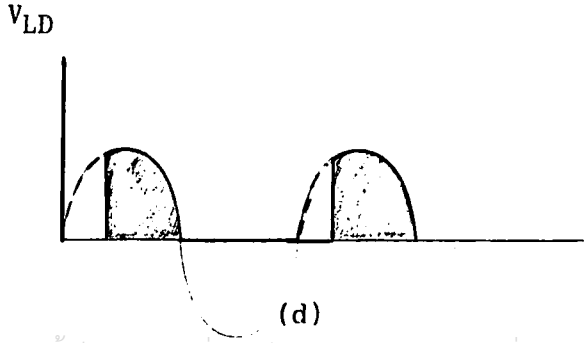
รูปที่ 4.21 (a) วงจรควบคุมมอเตอร์แบบไม่แยกวงจรจุดชนวนออกจากแหล่งจ่ายกำลังให้โหลด



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 4.21 (b) แรงดันคร่อมขา MT_1-MT_2

(c) กระแส I_{E2} จาก ทรานซิสเตอร์ T_2

(d) แรงดันคร่อมโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

จากการควบคุมมอเตอร์เอซีเฟสเดียว โดยวิธีควบคุมเฟสดังที่ได้แสดงให้เห็นในบทที่ 4 สามารถสร้างได้ง่าย ราคาถูก อุปกรณ์ต่างๆ มีจำหน่ายตามแหล่งรวมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ทั่วไป วงจรควบคุมไม่มีอะไรยุ่งยากซับซ้อน ผู้สร้างอาจปรับปรุงวงจรควบคุมให้ดีไปขึ้นอีกได้ ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีพื้นฐานที่จะศึกษาวิธีควบคุมมอเตอร์แบบอื่นที่ซับซ้อนขึ้นไปอีก

การควบคุมมอเตอร์โดยวิธีนี้ พบว่าที่ความเร็วต่ำมอเตอร์มีการหมุนไม่คงที่ ซึ่งอธิบายได้ว่าเป็นผลเนื่องจากการที่เราปรับค่าแรงดัน ที่จ่ายให้กับมอเตอร์โดยความถี่ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นการเกิดกรณี<u>โวลท์ต่อเฮริตซ์ไม่คงที่ขึ้น</u> ความหมายของคำว่า "โวลท์ต่อเฮริตซ์" นั้นอธิบายได้โดยการพิจารณาสมการที่ 5.1 ซึ่งเป็นสมการที่แสดงถึงการเปลี่ยนค่าความถี่เป็นผลให้สนามแม่เหล็กหรือฟลักซ์ (flux) แม่เหล็กเปลี่ยนแปลง

$$V = k\phi f \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5.1)$$

เมื่อ V เป็นค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสป้อนเข้าที่ขั้วของมอเตอร์

k เป็นค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับตัวประกอบรูปแบบ (form factor), ตัวประกอบขดลวด (winding factor) และจำนวนรอบของขดลวดที่พันไว้ในมอเตอร์

ϕ เป็นค่าฟลักซ์สูงสุดต่อหนึ่งโพล (pole) ของมอเตอร์

ถ้าหากเราลดความถี่ลงฟลักซ์จะมีค่าสูงขึ้น ทำให้มอเตอร์กินกระแสเพิ่มมากขึ้น การกินกระแสเพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้มีกำลังสูญเสียในทองแดง (copper losses) เพิ่มค่ามากขึ้น จะทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพต่ำลงดังนั้นเราต้องลดค่าแรงดันให้เป็นสัดส่วนกับความถี่ที่ลดลง เพื่อให้ฟลักซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงที่อยู่เสมอ ในทางกลับกันถ้าเราเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้นจะทำให้ฟลักซ์ลดลง เป็นผลให้มอเตอร์มีแรงหมุนลดลงด้วย ดังนั้นเราต้องเพิ่มแรงดันให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อให้ฟลักซ์และแรงหมุนมีค่าคงเดิม จากที่กล่าวมาหมายความว่า เพื่อรักษาให้ฟลักซ์มีค่าคงที่เราต้องปรับค่าแรงดัน ให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ หรือรักษาอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่ให้คงที่ วิธีการแบบนี้เรียกว่า "วิธีโวลท์ต่อเฮริตซ์คงที่"

จากกฎของฟาราเดย์กล่าวไว้ว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กต่อเวลา นั่นคือ

$$e = -d\phi/dt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5.2)$$

อินทิเกรตสมการ (5.2) จะได้

$$|\phi| = \int e\, dt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5.3)$$

สมการนี้แสดงว่าพื้นที่ใต้เส้นโค้งรูปคลื่นแรงดันเป็นค่าฟลักซ์แม่เหล็กรวม ทำให้เราสรุปได้ว่า "ไม่ว่าความถี่จะมีค่าเท่าใดขอให้พื้นที่ใต้เส้นโค้งแรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่อยู่เสมอแล้วมอเตอร์เหนี่ยวนำจะสามารถทำงานที่แรงหมุนสูงเหมาะสมที่สุด" ซึ่งเท่ากับมีความหมายว่า "โวลท์ต่อเฮริตซ์มีค่าคงที่"

วิธีการที่เหมาะสมในการรักษาค่าโวลท์ต่อเฮริตซ์ให้คงที่วิธีหนึ่ง คือการใช้ อินเวอร์เตอร์ (inverter) ในการควบคุมมอเตอร์เอซีโดยอาศัยแหล่งจ่ายไฟดีซีเปลี่ยนให้เป็นไฟเอซีที่สามารถปรับค่าความถี่และแรงดันได้ วิธีการนี้เป็นวิธีที่น่าสนใจและมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ราคาสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นถ้าหากผู้สร้างต้องการชุดควบคุมมอเตอร์ที่ไม่ต้องการ นำไปใช้งานที่เกี่ยวข้องกับระบบใหญ่ๆ เช่น ระบบปิดเปิดมอเตอร์ภายในโรงงานหลายๆตัว วิธีการควบคุมเฟสจึงเหมาะสมและเป็นที่ต้องการมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

Timothy J. Maloney, Industrial Solid-State Electronics (Device And System), Second Edition, pp 133-204, Prentice-Hall International Editions, New Jersey, 1986.

Irving M. Gottlieb, Power Control with Solid State Devices, first Edition, pp 164-168, Reston Publishing Company, Virginia, 1980.

กฤษดา วิศวะธีรานนท์, เรียน/เล่น/ใช้ ไอซีดิจิตอล, พิมพ์ครั้งที่ 2, หน้าที่ 91-93, เอช-เอ็น การพิมพ์, กรุงเทพ ฯ, 2531

วิชัย ศังขจันทรานนท์, ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิคส์กำลัง 1, พิมพ์ครั้งที่ 3, หน้าที่ 59-329, เอช-เอ็น การพิมพ์, กรุงเทพ ฯ, 2532

ร.ศ. สัมพันธ์ หาญชเล, เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ, พิมพ์ครั้งที่ 10, บทที่ 4 หน้าที่ 1-17, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพ ฯ, 2531

บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น, 300 วงจร, พิมพ์ครั้งที่ 2, หน้าที่ 109 และ 126, เอช-เอ็น การพิมพ์, กรุงเทพ ฯ, 2531

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

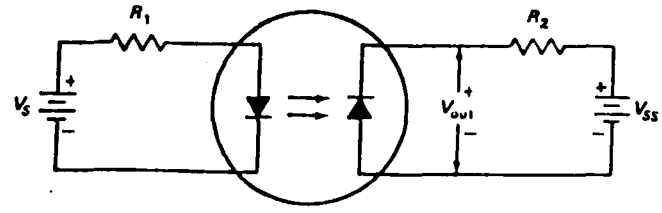
ออปโตคัปเปิล (optocouple)

อุปกรณ์ส่งสัญญาณทางแสง "ออปโตคัปเปิล" เป็นอุปกรณ์ที่รวมเอาไดโอดเปล่งแสง (LED) กับตัวรับแสง (photodetector) เข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน รูปที่ 1 (a) แสดงถึงไดโอดเปล่งแสงกับโฟโตไดโอดต่อคัปปลิงกัน ไดโอดเปล่งแสงอยู่ทางซ้ายและโฟโตไดโอดอยู่ทางขวา แหล่งจ่ายไฟจะป้อนกระแสผ่าน LED แสงจาก LED จะไปตกกระทบโฟโตไดโอดและก่อให้เกิด กระแสย้อนกลับ (reverse current) ผ่านความต้านทาน R_2 แรงดันคร่อมโฟโตไดโอดกำหนดโดย

$$V_{out} = V_{ss} - IR_2$$

แรงดันเอาท์พุทขึ้นกับกระแสย้อนกลับว่ามีค่ามากเท่าไหร่ ถ้าหากเราปรับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟของ LED เป็นผลให้ปริมาณแสงเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะกระทบกระเทือนถึงกระแสย้อนกลับของโฟโตไดโอดด้วย ผลที่ได้คือแรงดันเอาท์พุทจะเปลี่ยนแปลง ถ้ากระแสเกทจาก LED มีการเปลี่ยนแปลงแบบ ac แรงดันเอาท์พุทก็จะมีการเปลี่ยนแปลงแบบ ac ตามไปด้วย

ข้อได้เปรียบที่สำคัญของออปโตคัปเปิลคือ การแยกออกจากกันทางไฟฟ้าระหว่าง LED และโฟโตไดโอด โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานระหว่างอินพุทและเอาท์พุทจะมีค่ามากกว่า 10^{10} โอห์ม นี่จึงเป็นเหตุผลว่าทำไม ออปโตคัปเปิล จึงมักจะรู้จักกันในชื่อของ "ออปโตไอโซเลเตอร์" (optoisolator) การที่จะติดต่อกันระหว่างอินพุท และ เอาท์พุททำได้ทางเดียวก็คือ การใช้ลำแสงเชื่อมต่อเท่านั้น



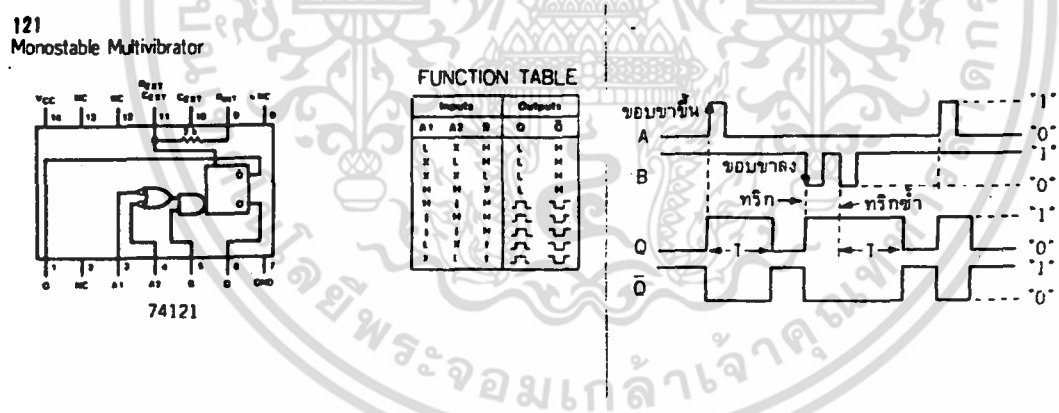
รูปที่ 1 (a) วงจรออปโตคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (monostable multivibrator)

โมโนสเตเบิลเป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์อีกแบบหนึ่ง ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมัลติไวเบรเตอร์แบบนี้จะไม่กำเนิดพัลส์ต่อเนื่อง แต่จะให้พัลส์เมื่อมีสัญญาณมากระตุ้นข้อสำคัญคือช่วงเวลาของพัลส์สามารถกำหนดให้สั้นยาวได้ โดยการเลือกใช้ค่า R และ C วงจรชนิดนี้มีใช้ในวงจรควบคุมดิจิตอลมากเพราะสามารถใช้เป็น ไทม์เมอร์ (timer) หรือตัวตั้งเวลา เมื่อมีคำสั่งให้ทำงานจะส่งเอาท์พุทออกไปควบคุม ให้เครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่งทำงานในช่วงเวลาที่กำหนด แล้วหยุดทำงานเองโดยอัตโนมัติ

การทำงานของไอซี 74121 แสดงในรูปที่ 2(a) ในสภาพปกติขณะที่ไม่มีอินพุทเลยนั้นเอาท์พุท Q = "0" และ $\overline{Q}$ = "1" อยู่ตลอดเวลาถ้ามีสัญญาณเข้ามาทางอินพุท A หรือ B จะทำให้ Q เป็น "1" และ$\overline{Q}$ = "0" นานช่วงเวลาหนึ่งแล้วตกกลับเป็น "0" ตามเดิมช่วงเวลานี้กำหนดโดยค่าของ R และ C ที่ต่อที่ขั้ว T_1 และ T_2



รูปที่ 2 (a) หน้าที่ของขาต่างๆและการทำงานของ IC monostablemultivibrator 74121

ขั้วอินพุทสำหรับรับสัญญาณกระตุ้นมี 2 ขั้วคือ A และ B ขั้ว A จะกระตุ้นให้โมโนสเตเบิลเริ่มทำงานเมื่อสัญญาณเปลี่ยนจาก "0" เป็น "1" หรือขอบขาขึ้นของสัญญาณพัลส์นั่นเอง ในขณะที่ขั้ว B เป็นขั้วที่ได้รับสัญญาณกระตุ้นทางขอบขาลงของพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

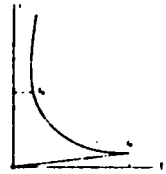
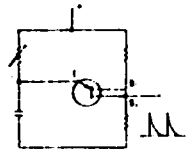
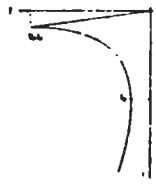
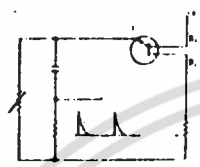
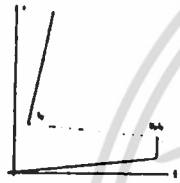
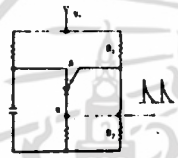
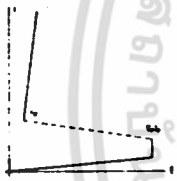
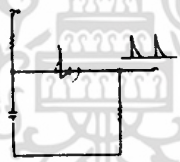
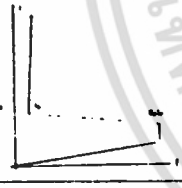
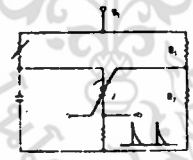
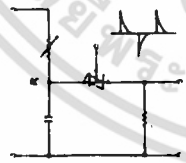
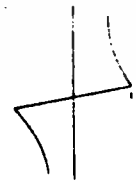
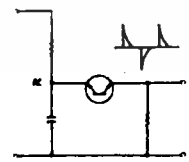
สัญญาณที่เข้ามากระตุ้นโมโนสเตเบิลให้เริ่มทำงาน บางครั้งก็เรียกว่าสัญญาณทริก (triggering pulse) การกระตุ้นก็เรียกสั้นๆว่า การทริก หรือทริกเกอร์ริ่ง (triggering)

อุปกรณ์ทริกเกอร์ (triggering device)

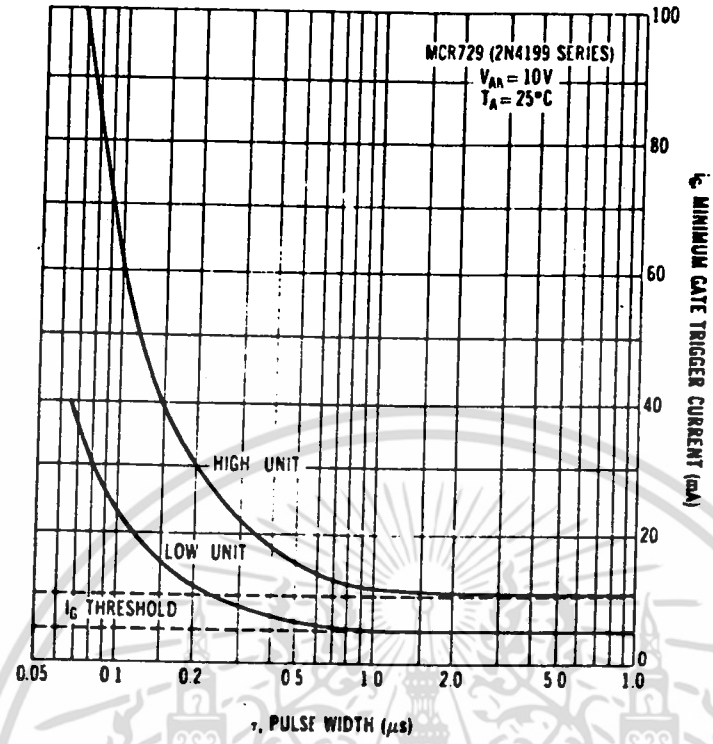
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์ไบทริกที่ขาเกทเพื่อให้ไธริสเตอร์ทำงาน ตารางที่ 1 แสดงถึง device ต่างๆที่ใช้งานอย่างแพร่หลาย และ รูปที่ 3 (a) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความกว้างพัลส์ t กับกระแสทริกเกทต่ำสุด I_{GTmin}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงอุปกรณ์ทริกเกอร์ สำหรับไธริสเตอร์ชนิดต่างๆ

	CLASS	E I CHARACTERISTICS	BASIC CIRCUIT	MAJOR TYPES	V_p PEAK POINT VOLTAGE	I_p (MAX) PEAK POINT CURRENT	I_v (MIN) VALLEY CURRENT	T_{ON} TURN ON TIME	SPECIFICATION NUMBER
Unidirectional	UJT Unijunction Transistor			TO 5 TO 18 1N489A 2N2417A 2N489B 2N2417B 5G515 2N1671A 5G516 2N1671B 2N1671C 2N2646 2N2647	Fixed Fraction of Interbase Voltage	12 μA 6 μA 25 μA 6 μA 2 μA 5 μA 2 μA	8 mA 8 mA 8 mA 8 mA 8 mA 4 mA 8 mA	1-2 μsec Typ	60 10 60 10 60 50 60 50 60 50 60 62 60 62
	CUJT Complimentary Unijunction Transistor			D5K1 D5K2	Fixed Fraction of Interbase Voltage	5 μA 15 μA	1 mA 1 mA	1 μsec Typ	60 15 60 16
	PUT Programmable Unijunction Transistor			D13T1 D13T2	$\frac{R_2V_s}{R_1+R_2}$	As low as 2 μA As low as .15 μA (A function of R_1, R_2)	70 μA 25 μA (A function of R_1, R_2)	80 nsec Max	60.20
	SUS Silicon Unilateral Switch			TO-18 TO-48 2N4983 2N4987 2N4984 2N4988 2N4985 2N4989 2N4986 2N4990	6.10 V 7.5-9 V 7.5-8.2 V 7-9 V	500 μA 150 μA 300 μA 300 μA	1.5 mA .5 mA 1.0 mA .75 mA	1.0 μsec Max	65.25, 65.26 65.27, 65.28 65.27, 65.28 65.25, 65.26
	SCS Silicon Control Switch			3N84	$\frac{R_2V_s}{R_1+R_2}$ (40V max)	A function of R_1 and R_2	10 mA Max (A function of R_1 and R_2)	1.5 μsec Max	65.18
Bidirectional	SBS Silicon Bilateral Switch			TO-18 TO-98 2N4993 2N4991 2N4992	6.10 V 7.5-9 V	500 μA 120 μA	1.5 mA .5 mA	1.0 μsec Max	65.30, 65.31 65.32
	DIAC			ST2	28 V-36 V	200 μA	Very high	1 μsec Typ	175.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 (a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างพัลส์กับกระแสทริกเกตต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย เฉลิมเกียรติ เทพสำราญ เกิดเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2512 ที่ จ. นครปฐม เป็นบุตรคนที่ 1 ในจำนวน 3 คน ของนาย ชูศักดิ์ เทพสำราญ และ นาง สมใจ เทพสำราญ

การศึกษา

เข้ารับการศึกษาครั้งแรกที่ โรงเรียน สกลวิทยา จ. นครปฐม

ระดับปฐมศึกษา

โรงเรียน สายอักษรวิทยา กรุงเทพฯ

ระดับมัธยมศึกษา

โรงเรียน เศรษฐบุตรบำเพ็ญ กรุงเทพฯ

ระดับอุดมศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้