



ปีการศึกษา 2538

เครื่องเชื่อมไฟฟ้า  
WELDING MACHINES



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ประภาพร ไพรสุวรรณ

วัน เดือน ปี.....	๑1 ก.ค. 2540
เลขทะเบียน.....	๐37022
เลขเรียกหนังสือ.....	T ๑8415 ๐134 ค


ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2538

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องเชื่อมกระแสไฟฟ้า

- 
- |                 |                |
|-----------------|----------------|
| 1. นาย ธนเชษฐ   | ตันติแสงอรุณ   |
| 2. นาย สุธี     | สกลสินสง่าพงศ์ |
| 3. นาย สุนทร    | เจริญนพกิจ     |
| 4. นาย สุรพันธ์ | มณีธนวัดน์     |

  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญภาพ	III
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้น	2
2.1 ทฤษฎีเครื่องเชื่อมไฟฟ้า	2
2.2 ทฤษฎีสวิตชิงเพาเวอร์เซมิคอนดักเตอร์	5
บทที่ 3 การทดลองและผลการทดลอง	44
3.1 ขั้นตอนการทดลอง	44
3.2 ผลการทดลอง	48
บทที่ 4 บทวิจารณ์และสรุป	55
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

## เครื่องเชื่อมไฟฟ้า

นาย ชนเชษฐค์ คันติแสงอรุณ

นาย สุธี สกลสินสง่าพงศ์

นาย สุนทร เจริญนพกิจ

นาย สุรพันธ์ มณีชนวัฒน์

ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอเครื่องเชื่อมไฟฟ้า ที่ให้ประสิทธิภาพสูง น้ำหนักเบา มีขนาดกระทัดรัด โดยอาศัยหลักการของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายที่ความถี่สูง มาประยุกต์ใช้ ซึ่งจะได้เครื่องเชื่อมไฟฟ้าชนิดกระแสตรงดังกล่าว ที่เป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไปที่อาศัยหลักของหม้อแปลงความถี่ต่ำที่มีขนาดใหญ่และให้ประสิทธิภาพต่ำ

นอกจากนี้เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง สามารถเชื่อมได้ง่าย ให้ประสิทธิภาพการเชื่อมสูงกว่าเครื่องเชื่อมไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ และยังเหมาะสำหรับการใช้งานตามสถานที่ต่างๆ

## WELDING MACHINES

Thanachate Tontisangaroon

Suthee Sakonsinsngapong

Soontorn Jaroenoppakit

Surapan Manecthanawat

Asstn. Prof. Prapas Prisuwana Advisor

1995

### ABSTRACT

The purpose of this thesis is to present a welding machines. It has high efficiency, light weight and small size. We use high frequency switching power supply concept, which is DC Welding machines, that is an advantage issue, when compares to normal DC Welding machines , which use low frequency transformer , that is big size and low efficiency.

Besides, the DC Welding machines can use easily , well efficiency welding, that compare the AC Welding machines and portable anyway.

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการต่อวงจรแบบ DCSP	2
รูปที่ 2.2 แสดงการต่อวงจรแบบ DCRP	2
รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	8
รูปที่ 2.4 แสดงวงจรส่วนอินพุทของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	8
รูปที่ 2.5 แสดงค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยเอาต์พุตของวงจรเรกติไฟเออร์ที่ได้ที่โหลด และตัวต้านทานจำกัดกระแส $R_L$	9
รูปที่ 2.6 แสดงค่ากระแส RMS ที่ผ่านเรกติไฟเออร์เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากระแส ประสิทธิผล $I_c$ ต่อกำลังงานที่ เรกติไฟเออร์ต้องจ่ายออกไปให้กับคอน- เวอเตอร์ ที่ค่า $R_L$ ต่างๆกัน	11
รูปที่ 2.7 แสดงค่ากระแสระลอก (RMS) ที่ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับ กับค่ากระแสประสิทธิผล $I_c$ ต่อกำลังงานที่ เรกติไฟเออร์ต้องจ่ายออกไป ให้กับคอนเวอเตอร์ ที่ค่า $R_L$ ต่างๆกัน	12
รูปที่ 2.8 แสดงค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า กระแสประสิทธิผล $I_c$ ต่อกำลังงานที่ เรกติไฟเออร์ต้องจ่ายออกไปให้กับ คอนเวอเตอร์ที่ค่า $R_L$ ต่างๆกัน	12
รูปที่ 2.9 แสดงการต่อวงจร LC ฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวน RFI	16
รูปที่ 2.10 แสดงการต่อวงจรคอนเวอเตอร์แบบต่างๆ	19
รูปที่ 2.11 แสดงเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของแกนเฟอร์ไรต์	25
รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะที่สมมาตรของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสซึ่งมีลักษณะสมมาตร ของกราฟซีกบนและซีกล่าง	26
รูปที่ 2.13 แสดงค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์	27
รูปที่ 2.14 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่เหมาะสมของแกน เฟอร์ไรต์	29
รูปที่ 2.15 เปรียบเทียบการกำหนดช่องอากาศกันที่แกนกลางกับการกันช่องอากาศ ระหว่างคู่ประกบของแกนเฟอร์ไรต์	32
รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง	33
รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะของกระแสไหลวนภายในลวดทองแดง	34
รูปที่ 2.18 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอเตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดัน	39

	หน้า
รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของPWMซึ่งเป็นผลมาจาก การมอดูเลตสัญญาณป้อนกลับและสัญญาณฟันเลื่อย	40
รูปที่ 2.20 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุม จากกระแส	41
รูปที่ 2.21 แสดงวงจรควบคุมเมื่อตัดวงจรขยายความแตกต่างออกและกำหนดแรงดัน อ้างอิง $V_{ref}$	42
รูปที่ 2.22 แสดงลักษณะการทำงานที่จุดต่างๆของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจาก กระแส	43
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	44
รูปที่ 3.2 แสดงส่วนอินพุตเรกติไฟเออร์ของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	45
รูปที่ 3.3 แสดงส่วนสวิตชิงโดยใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	45
รูปที่ 3.4 แสดงส่วนเอาต์พุตทรานส์ฟอร์มเมอร์, เอาต์พุตเรกติไฟเออร์และฟิลเตอร์	46
รูปที่ 3.5 แสดงส่วนของวงจรการตรวจสอบกระแสเพื่อป้องกันกระแสเกิน	47
รูปที่ 3.6 แสดงส่วนของวงจรขับเคลื่อนเบส	47
รูปที่ 3.7 กราฟการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ, เรกกูเลเตอร์และเพาเวอร์แฟกเตอร์ กับค่าโหลด	49
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงค่าของ $V_{BB}$ , $V_{in}$ , $I_B$ ขณะ Noload	50
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงค่าของ $V_{BB}$ , $V_{in}$ , $I_B$ ที่ค่ากระแสเอาต์พุต 20 แอมแปร์	51
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงค่าของ $V_{BB}$ , $V_{in}$ , $I_B$ ที่ค่ากระแสเอาต์พุต 40 แอมแปร์	52
รูปที่ 3.11 กราฟแสดงค่าของ $V_{BB}$ , $V_{in}$ , $I_B$ ที่ค่ากระแสเอาต์พุต 60 แอมแปร์	53
รูปที่ 3.12 กราฟแสดงค่าของ $V_{BB}$ , $V_{in}$ , $I_B$ ที่ค่ากระแสเอาต์พุต 80 แอมแปร์	54
รูปที่ 3.13 กราฟแสดงค่าของ $V_{BB}$ , $V_{in}$ , $I_B$ ที่ค่ากระแสเอาต์พุต 100 แอมแปร์	55
รูปที่ 3.14 เปรียบเทียบระหว่างรอยเชื่อมที่ได้จากเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงกับ เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับ	56

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดมาตรฐาน AWG และข้อมูลอื่นๆของลวดทองแดง อาบนํ้ายา	36
ตารางที่ 2.2 แสดงการจัดกลุ่มเทปฉนวนตามอัตราทนอุณหภูมิ (Thermal strength)	37
ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของเทปฉนวนจากตามเทปฉนวนที่มีคุณสมบัติไม่ติดไฟ (Flame retardant)	38
ตารางที่ 3.1 แสดงผลการทดสอบโหลดของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	48
ตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดลองเชื่อม	54



## บทนำ

ปัจจุบันงานเชื่อมได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมหลัก เช่น อุตสาหกรรมเหล็กกล้า, อุตสาหกรรม ยานยนต์, อุตสาหกรรมอากาศยานในครัวเรือน จึงได้มีการพัฒนา ปรับปรุง เครื่องเชื่อมให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นตลอดเวลา

เครื่องเชื่อมไฟฟ้าปัจจุบันได้แบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ

1. เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Welding machines)
2. เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง (DC Welding machines)
  - 2.1 แบบ ลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลาย (linear power supply)
  - 2.2 แบบ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (switching power supply)

การเชื่อมแบบไฟฟ้ากระแสสลับในปัจจุบันเป็นที่นิยมมาก เนื่องจากมีราคาค่อนข้างถูกกว่าเครื่องเชื่อมแบบไฟฟ้ากระแสตรงแบบ ลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลายแม้ว่าจะมีขนาดใหญ่และให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าด้วยก็ตาม จึงมีการนำหลักการสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายมาใช้ประยุกต์เป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา และยังให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับ

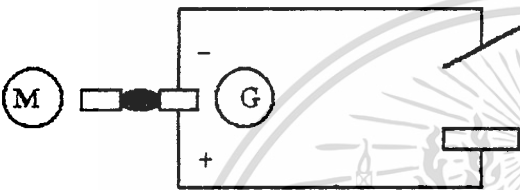
## บทที่ 2

### ทฤษฎีเบื้องต้น

#### 2.1 ทฤษฎีเครื่องเชื่อมไฟฟ้า

##### 2.1.1 เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง

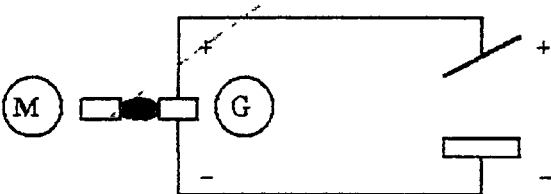
- ชนิดต่อขั้วตรง ( DCSP : Direct current straight polarity )



รูปที่ 2.1 แสดงการต่อวงจรแบบ DCSP

จากรูปวงจรจะเห็นว่า อิเล็กตรอนไหลจากขั้วลบของเครื่องเชื่อมไปยังปลายอิเล็กโทรด และ อิเล็กตรอนไหลจากปลาย อิเล็กโทรด ( ขณะอาร์ค ) ไปยังชิ้นงาน และ ไหลย้อนกลับไปยังขั้วบวกของเครื่องเชื่อม ความร้อนที่เกิดจากการอาร์ค จะกระจายอยู่ในส่วนของชิ้นงาน 2 ใน 3 และ ความร้อนประมาณ 1 ใน 3 จะกระจายอยู่ที่อิเล็กโทรด

- ชนิดต่อกลับขั้ว ( DCRP : Direct current reverse polarity )



รูปที่ 2.2 แสดงการต่อวงจรแบบ DCRP

จากรูปวงจรจะเห็นว่า อิเล็กตรอนไหลจากขั้วลบของเครื่องเชื่อมไปยังชิ้นงาน และ อิเล็กตรอนไหลผ่านอิเล็กโทรด กลับไปยังขั้วบวกของเครื่องเชื่อม ความร้อนที่เกิดจากการอาร์ค จะกระจายอยู่ในส่วนของชิ้นงาน 1 ใน 3 และความร้อนประมาณ 2 ใน 3 จะกระจายอยู่ที่อิเล็กโทรด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.2 เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับ

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากโรงไฟฟ้าต่างๆ จะเป็นกระแสไฟสลับที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ซึ่งไฟกระแสสลับสามารถควบคุมเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันได้ง่ายโดยอาศัยหม้อแปลง กล่าวคือ กระแสสลับ ก็คือ การกลับทิศทางการไหลของกระแส 100 ครั้งต่อวินาที และเนื่องจากไฟกระแสสลับสามารถกลับทิศทางการไหลของกระแสด้วยตัวของมันเอง ดังนั้นตามทฤษฎีจะถือว่า อิเลคตรอนจำนวนเดียวกันนี้จะไหลไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งในขณะอาร์ค แล้วจะไหลเปลี่ยนทิศทางไปตรงกันข้ามในขณะที่กระแสไหลกลับ เพราะฉะนั้นความร้อนที่เกิดขึ้น ครึ่งหนึ่งจะเกิดที่ปลายเครื่องเชื่อม ส่วนครึ่งที่เหลือจะเกิดขึ้นที่ชิ้นงาน แต่ตามความเป็นจริงแล้ว จะมีกระแสไหลจากขั้วเชื่อมไปยังชิ้นงานมากกว่า กระแสที่ไหลจากชิ้นงานไปยังขั้วเชื่อม เนื่องจากพื้นที่หน้าสัมผัสของกระแสไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของพื้นที่หน้าสัมผัสของปลายของขั้วเชื่อม

- ชนิดของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับ

1. เครื่องเชื่อมแบบมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์ ( Motor generator)
2. เครื่องเชื่อมแบบทรานส์ฟอร์มเมอร์ ( Transformer)

- เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเครื่องเชื่อมกระแสไฟตรงและเครื่องเชื่อมกระแสไฟสลับ

1. เครื่องเชื่อมกระแสไฟตรง

**ข้อดี** - ถ้าเป็นเครื่องเชื่อมแบบเรียงกระแส จะไม่เกิดเสียงดัง

- สามารถเริ่มต้นอาร์คได้ง่าย เนื่องจากกระแสไหลได้ทางเดียว
- ใ้รอยเชื่อมที่เรียบและสวยงาม

- ถ้าเป็นเครื่องเชื่อมไฟกระแสตรงที่อาศัยหลักการของสวิทซ์เพาเวอร์ซัพพลายจะมีขนาดเล็กกะทัดรัด , น้ำหนักเบา และพกพาได้สะดวก

- นอกจากนี้ เครื่องเชื่อมไฟกระแสตรงที่อาศัยหลักการของสวิทซ์เพาเวอร์ซัพพลายยังให้ประสิทธิภาพสูง

**ข้อเสีย** - ถ้าเป็นเครื่องเชื่อมแบบเจนเนอเรเตอร์ จะเกิดเสียงดัง

- จะเกิดอาร์คโบลัวขึ้น เนื่องจากมีฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้นมาก

- การซึมลึกในรอยเชื่อมยังไม่ดีเท่ากับเครื่องเชื่อมกระแสไฟสลับ

- เครื่องเชื่อมไฟกระแสตรงที่อาศัยหลักการของลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลาย ยังมีขนาดใหญ่

และน้ำหนักมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารก่อนข้างสูงสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. เครื่องเชื่อมกระแสไฟสลับ

- ข้อดี** - เนื่องจากไฟกระแสสลับสามารถไหลกลับทิศไปมาเสมอ จึงทำให้ไม่เกิดอาร์คโบล်วขึ้น
- ถ้าเริ่มต้นอาร์คได้แล้ว จะสามารถควบคุมการอาร์คได้โดยง่าย และให้ค่ากำลังของการอาร์คสูง
  - สามารถเชื่อมเหล็กกล้าที่มีความหนาหลายๆ โดยจะให้การซึมลึกของรอยเชื่อมดีเยี่ยม
  - สามารถเชื่อมได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้กับลวดเชื่อมที่มีขนาดใหญ่
  - ราคาถูกกว่าแบบเครื่องเชื่อมกระแสไฟตรง
- ข้อเสีย** - การเริ่มต้นอาร์คเป็นไปได้ยากกว่าแบบเครื่องเชื่อมกระแสไฟตรง
- ยังเป็นเครื่องเชื่อมที่มีขนาดใหญ่, น้ำหนักมาก สำหรับใช้งานเฉพาะแห่ง
  - ให้ประสิทธิภาพยังต่ำอยู่เมื่อเทียบกับเครื่องเชื่อมกระแสไฟสลับ



## 2.2 ทฤษฎีสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

### 2.2.1 ข้อกำหนดคุณสมบัติของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

--การออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายนั้นจำเป็นจะต้องกำหนดหรือทราบข้อกำหนดคุณสมบัติของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่จะสร้างขึ้นเสียก่อน เพื่อเป็นการพิจารณาเลือกวงจรและส่วนประกอบต่างๆ ที่จะใช้ในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายได้อย่างเหมาะสม สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจึงจะทำงานได้ตรงตามความต้องการอย่างแท้จริง

1. กำลังงานขาออก (Output Power) คือ ความสามารถในการจ่ายกำลังงานให้กับโหลดของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย โดยคิดจากค่าผลคูณของกระแสและแรงดันรวมทั้งหมดที่เอาต์พุตและที่โหลดค่าสูงสุด
2. ประสิทธิภาพ (Efficiency) คือ ความสามารถในการส่งผ่านกำลังงานจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟสลับไปยังโหลดที่เอาต์พุตของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย โดยคิดจากอัตราส่วนของกำลังงานขาออกที่จ่ายให้กับโหลดต่อกำลังงานขาเข้าที่สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายใช้ไปเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่าประสิทธิภาพนี้จะแสดงให้เห็นถึงกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวเพาเวอร์ซัพพลาย หากประสิทธิภาพมีค่าต่ำ จะแสดงให้เห็นว่ากำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าสูง โดยทั่วไปประสิทธิภาพของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะอยู่ในระหว่าง 65-80%
3. ช่วงของแรงดันอินพุต (Input Voltage) คือ ช่วงของแรงดันไฟสลับที่อินพุต ที่สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะสามารถคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตตามข้อกำหนดเอาไว้ได้ ปกติสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้ที่แรงดันอินพุตในช่วงกว้าง เช่นที่ 90-132 โวลต์ไฟสลับ ที่แรงดันไฟสลับปกติ 110 โวลต์ และที่ 180-260 โวลต์ ไฟสลับที่แรงดันไฟสลับปกติ 220 โวลต์ เป็นต้น
4. แรงดันและกระแสขาออก (Output Voltage and Current) คือ ค่ากระแสและแรงดันขาออกที่มีการรักษาระดับให้คงที่ (regulated) โดยสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย การกำหนดค่าแรงดันและกระแสจะกำหนดจากความต้องการในการใช้งานและกำลังงานขาออกที่ทำให้ของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย โดยค่าแรงดันสามารถกำหนดได้หลายค่าตัวอย่างเช่น สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ จะกำหนดค่าแรงดันไว้ที่  $\pm 5$  โวลต์ และ  $\pm 12$  โวลต์ เป็นต้น
5. โวลท์เรกูเลชัน (Line Regulation) คือ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุตเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟสลับที่อินพุตเป็นเปอร์เซ็นต์ เมื่อโหลดที่เอาต์พุตมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. โหลดเรกูเลชัน (Load Regulation) คือ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุตเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่เอาต์พุตเป็นเปอร์เซ็นต์ เมื่อแรงดันไฟสลับบินพุตมีค่าคงที่
7. แรงดันกระเพื่อมและนอยส์ (Ripple and Noise) แรงดันกระเพื่อม คือ แรงดันไฟสลับบินพุตที่ผ่านออกมา รวมได้กับแรงดันไฟตรงที่เอาต์พุต ทำให้เกิดการกระเพื่อมที่แรงดัน ส่วนนอยส์ในที่นี้ หมายถึง แรงดันพุ่ง (spice) ที่ความถี่สูงๆ ที่ผ่านออกมาที่แรงดันไฟตรงเอาต์พุตได้เช่นกัน การวัดค่าแรงดันกระเพื่อมและนอยส์ อาจวัดเป็นค่าอาร์เอ็มเอส (RMS) หรือค่ายอด (peak to peak) ก็ได้
8. ค่าเวลาโฮลด์อัฟ (Hold Up Time) คือ ช่วงเวลาที่สวิตซิงเพาเวอร์ซัพพลายยังสามารถคงค่าแรงดันต่อไปอีกแม้ว่าจะหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับบินพุต (ที่โหลดค่าสูงสุด) ปกติช่วงเวลาโฮลด์อัฟประมาณ  $20 \times 10^{-3}$  ถึง  $50 \times 10^{-3}$  วินาที
9. สัญญาณรบกวนจากสวิตซิงเพาเวอร์ซัพพลาย (RFI/EMI) RFI (Radio Frequency Interference) และ EMI (Electromagnetic Interference) เป็นสัญญาณรบกวนที่สวิตซิงเพาเวอร์ซัพพลาย อาจทำให้เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานที่มีความถี่สูงๆ ของมัน ค่าของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจะต้องต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด เช่น มาตรฐานของ FCC หรือ VDE เป็นต้น เนื่องจากสัญญาณรบกวน RFI/EMI อาจทำให้การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าใกล้เคียงทำงานผิดพลาดได้
10. การตอบสนองโหลดภาวะชั่วคราว (Transient Response) คือ การคืนค่าแรงดันกลับสู่แรงดันปกติที่เอาต์พุตหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดอย่างทันทีทันใด ซึ่งเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดจะเกิดลักษณะพุ่งของแรงดันเอาต์พุตตามการเปลี่ยนแปลง การตอบสนองโหลดภาวะชั่วคราวนี้จะวัดโดยใช้ค่าเวลาเตรียมตัว (Recovery Time) และค่าแรงดันพุ่งสูงสุดที่เกิดขึ้น
11. การแยกจากกันทางไฟฟ้า (Isolation) คือ ความสามารถในการกันแรงดันไฟสลับบินพุตออกจากไฟตรงที่เอาต์พุตไม่ให้มีการไหลผ่านกระแสถึงกันได้เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกกระแสไฟฟ้าช๊อคของผู้ใช้ โดยอาจวัดเป็นค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต โดยยังไม่มีกระแสไหลหรือเกิดเบรคดาวน์ ทั้งนี้รวมไปถึงการแยกส่วนจากกันของไฟสูงและกราวด์ของอินพุตด้วย
12. ความถี่ของการทำงานของสวิตซิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Frequency) คือ ความถี่ที่กำหนดค่าเวลาการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และสวิตซิงเพาเวอร์ซัพพลาย ปกติจะมีค่าอยู่ในช่วง 20-200 กิโลเฮิรตซ์ ขึ้นอยู่กับการจัดวงจรภายในและความสามารถของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นหลัก

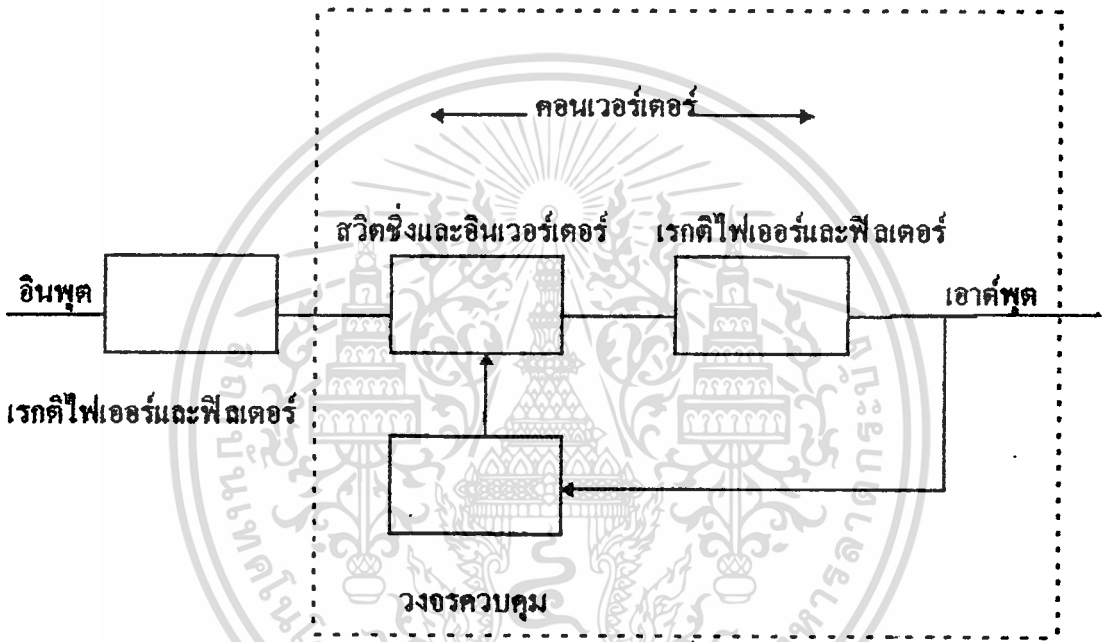
## 2.2.2 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายเมื่อเปรียบเทียบกับลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลาย

ข้อได้เปรียบของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ก็คือมีประสิทธิภาพสูง ขนาดเล็ก และมีน้ำหนักเบากว่าลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลาย ลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลายนั้นจะใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำซึ่งมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก และขณะใช้งานจะมีแรงดันและกระแสผ่านตัวหม้อแปลงตลอดเวลา กำลังงานสูญเสียที่อินพุตของหม้อแปลงจะมีค่าสูง การคงค่าแรงดันของลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลาย ส่วนใหญ่จะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ค้ออนุกรมที่เอาต์พุตเพื่อจ่ายกระแสและคงค่าแรงดัน กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนจะมีค่าสูงและต้องใช้แผ่นระบายความร้อนขนาดใหญ่ซึ่งกินเนื้อที่ เมื่อเพาเวอร์ซัพพลายต้องจ่ายกำลังสูงจะทำให้มีขนาดใหญ่และรับน้ำหนักมาก ปกติลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลายจะมีประสิทธิภาพประมาณ 30% หรืออาจทำได้สูงถึง 50% ในบางกรณี ซึ่งนับได้ว่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่มีประสิทธิภาพในช่วง 65-80%

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายมีช่วงเวลาโฮลด์ออฟประมาณ  $20 \times 10^{-3}$  วินาที ถึง  $50 \times 10^{-3}$  วินาที ในขณะที่ลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลาย สามารถทำได้เพียงแค่ประมาณ  $2 \times 10^{-3}$  วินาที ซึ่งมีผลต่อการจัดหาแหล่งจ่ายไฟสำรองเพื่อป้องกันการหยุดทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้กับเพาเวอร์ซัพพลายเมื่อเกิดการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ รวมทั้งสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย สามารถทำงานได้ในช่วงแรงดันอินพุตค่อนข้างกว้าง จึงยังคงสามารถทำงานได้ เมื่อเกิดกรณีแรงดันตกอีกด้วย อย่างไรก็ตามสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะมีเสถียรภาพในการทำงานที่ต่ำกว่าและก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนได้สูง เมื่อเปรียบเทียบกับลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลาย รวมทั้งสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายยังมีความซับซ้อนของวงจรมากกว่าและมีราคาสูง ที่กำลังค่าๆลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลายจะประหยัดกว่า และให้ผลดีได้เช่นกัน ดังนั้นสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย จึงมักจะนิยมใช้กับงานที่ต้องการกำลังตั้งแต่ 20 วัตต์ ขึ้นไปเท่านั้น

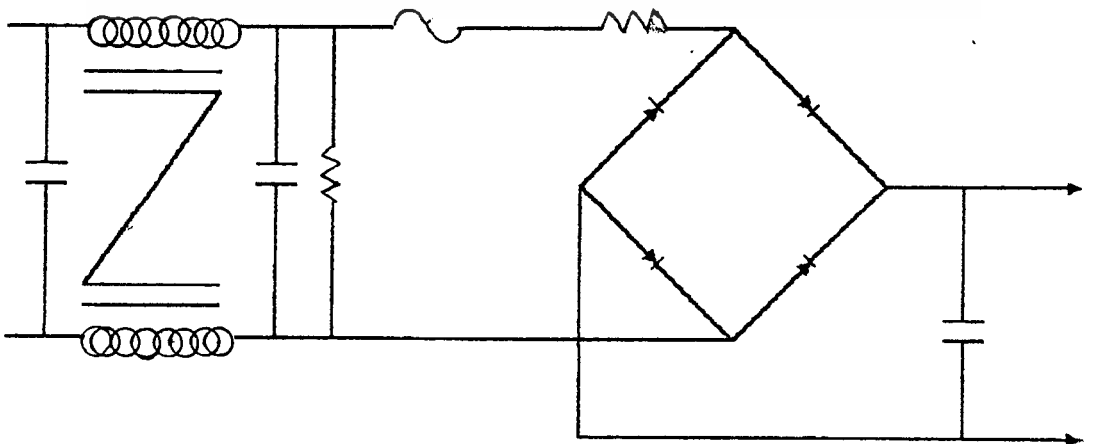
2.2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของสวิตช์เพาเวอร์ซัพพลาย

- เรกติไฟเออร์และฟิลเตอร์ทางด้านอินพุต
- คอนเวอร์เตอร์
- เรกติไฟเออร์และฟิลเตอร์ทางด้านเอาต์พุต
- วงจรควบคุม



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของสวิตช์เพาเวอร์ซัพพลาย

ภาคเรกติไฟเออร์และฟิลเตอร์ทางด้านอินพุต



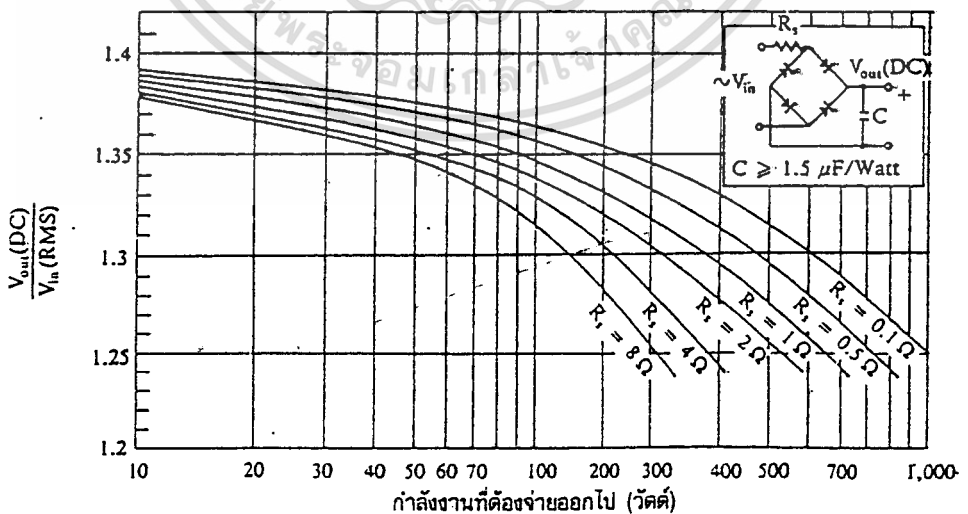
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2.4 แสดงวงจรส่วนอินพุตของสวิตช์เพาเวอร์ซัพพลายใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วงจรส่วนอินพุตประกอบด้วย**

1. เรกติไฟเออร์ (Rectifier)
2. ฟิวส์ (Fuse)
3. RFI ฟิลเตอร์(RFI Input Filter)

1. **เรกติไฟเออร์** เป็นส่วนสำคัญที่สุดของวงจรในส่วนอินพุตของสวิทช์เพาเวอร์ซัพพลาย และเป็นตัวกำหนดค่าอัตราทนกระแสของฟิวส์ และ RFI ฟิลเตอร์ มีหน้าที่หลักคือ เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรงเพื่อเป็นแรงดันอินพุตให้กับคอนเวอร์เตอร์ต่อไป โดยจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ 3 ตัว คือ

1.1 ตัวต้านทานจำกัดกระแส  $R_s$  จะเป็นตัวจำกัดกระแสกระชากที่จะเกิดขึ้นในวงจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มเปิดเครื่องให้ทำงาน ตัวเก็บประจุขั้วลบจะประจุเหมือนมีการลัดวงจรขึ้น ถ้าค่าตัวเก็บประจุสูงก็จะทำให้เกิดกระแสกระชากขณะเปิดเครื่องสูงด้วย การกำหนดค่าตัวต้านทานจำกัดกระแส  $R_s$  ไว้ในวงจร จะทำให้การไหลของกระแสขณะเปิดเครื่องเป็นไปอย่างช้าๆ และลดกระแสกระชาก ตัวต้านทาน  $R_s$  ในวงจรเรกติไฟเออร์ จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าที่เหมาะสม เนื่องจากในวงจรเรกติไฟเออร์ที่มีตัวเก็บประจุเป็นฟิลเตอร์นั้นค่าของแรงดันที่ได้จากวงจรจะขึ้นกับค่าของ  $R_s$  และกำลังงานที่วงจรเรกติไฟเออร์จ่ายออกไป ดังแสดงในรูปข้างล่าง



**รูปที่ 2.5 แสดงค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยเอาต์พุตของวงจรเรกติไฟเออร์ที่ได้**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ที่โหลดและตัวต้านทานจำกัดกระแส  $R_s$  ค่าต่างๆ  
 ไม่ว่าจะณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อตัวต้านทานจำกัดกระแส  $R_s$  จะทำให้ประสิทธิภาพของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ลดลง เนื่องจากเกิดกำลังงานสูญเสียในตัว  $R_s$  การกำหนดค่า  $R_s$  จึงต้องพิจารณาตามความเหมาะสม ระหว่างการลดกระแสช๊อคและประสิทธิภาพการทำงานของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายด้วย

1.2 ตัวเก็บประจุฟิลาเตอร์ C จะเป็นตัวกรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของ ไดโอดให้มีความเรียบมากขึ้นและช่วยให้กระแสมีค่าเพียงพอดตามที่คอนเวอร์เตอร์ต้องการ การทำงานจะเป็นลักษณะของการชาร์จประจุและคายประจุ

ค่ากระแสขณะชาร์จประจุและขณะคายประจุจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่าความจุของ ตัวเก็บประจุ C

สมการคำนวณค่ากระแส RMS ของตัวเก็บประจุฟิลาเตอร์ C

$$I_c = \frac{P_{IN}}{V_{IN(rms)}}$$

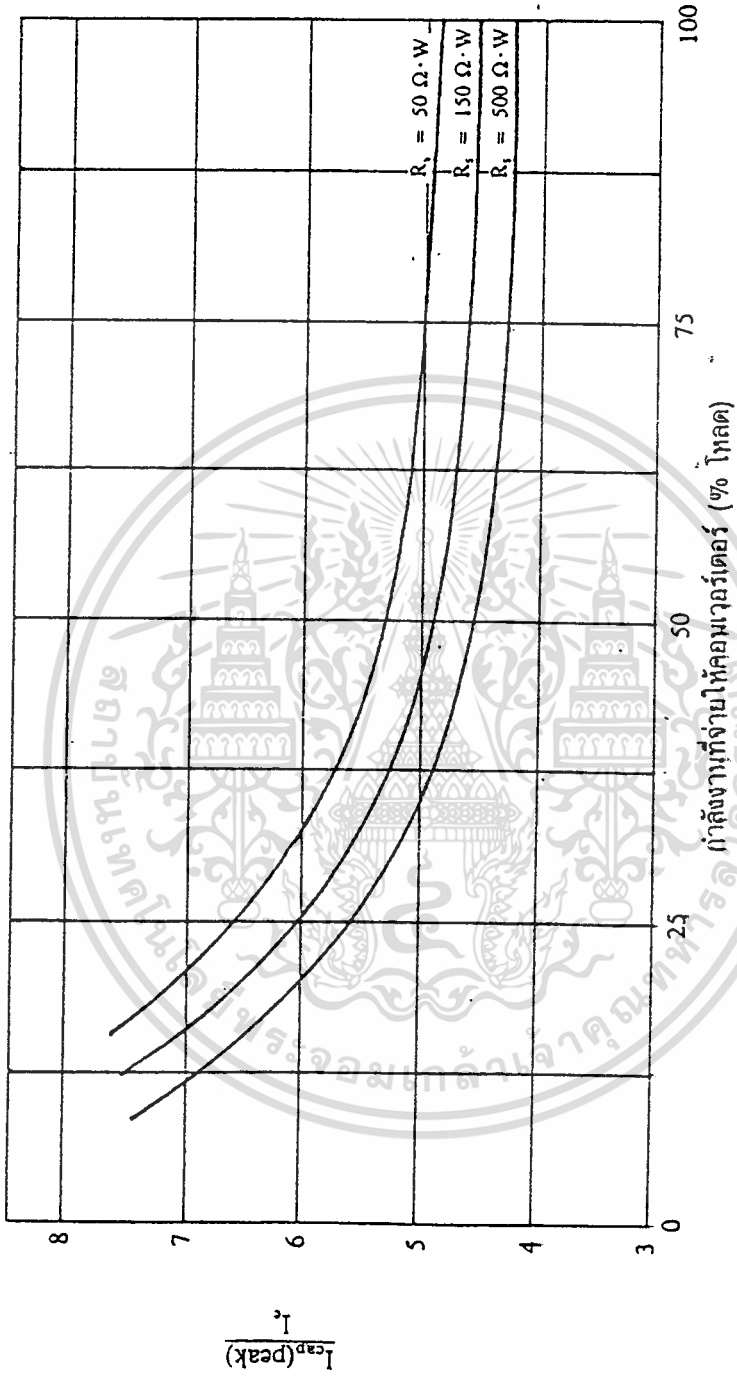
เมื่อ  $I_c$  คือ ค่ากระแสประสิทธิผลที่อินพุตเป็น RMS  
 $P_{IN}$  คือ กำลังที่จ่ายเข้าด้านอินพุตเป็นวัตต์  
 $V_{IN(rms)}$  คือ แรงดัน RMS ของตัวเก็บประจุฟิลาเตอร์ C เป็น RMS ของโวลต์

ส่วน  $R_{sr}$  คือค่าแฟกเตอร์ของค่าตัวต้านทาน  $R_s$  และมีค่าเท่ากับ

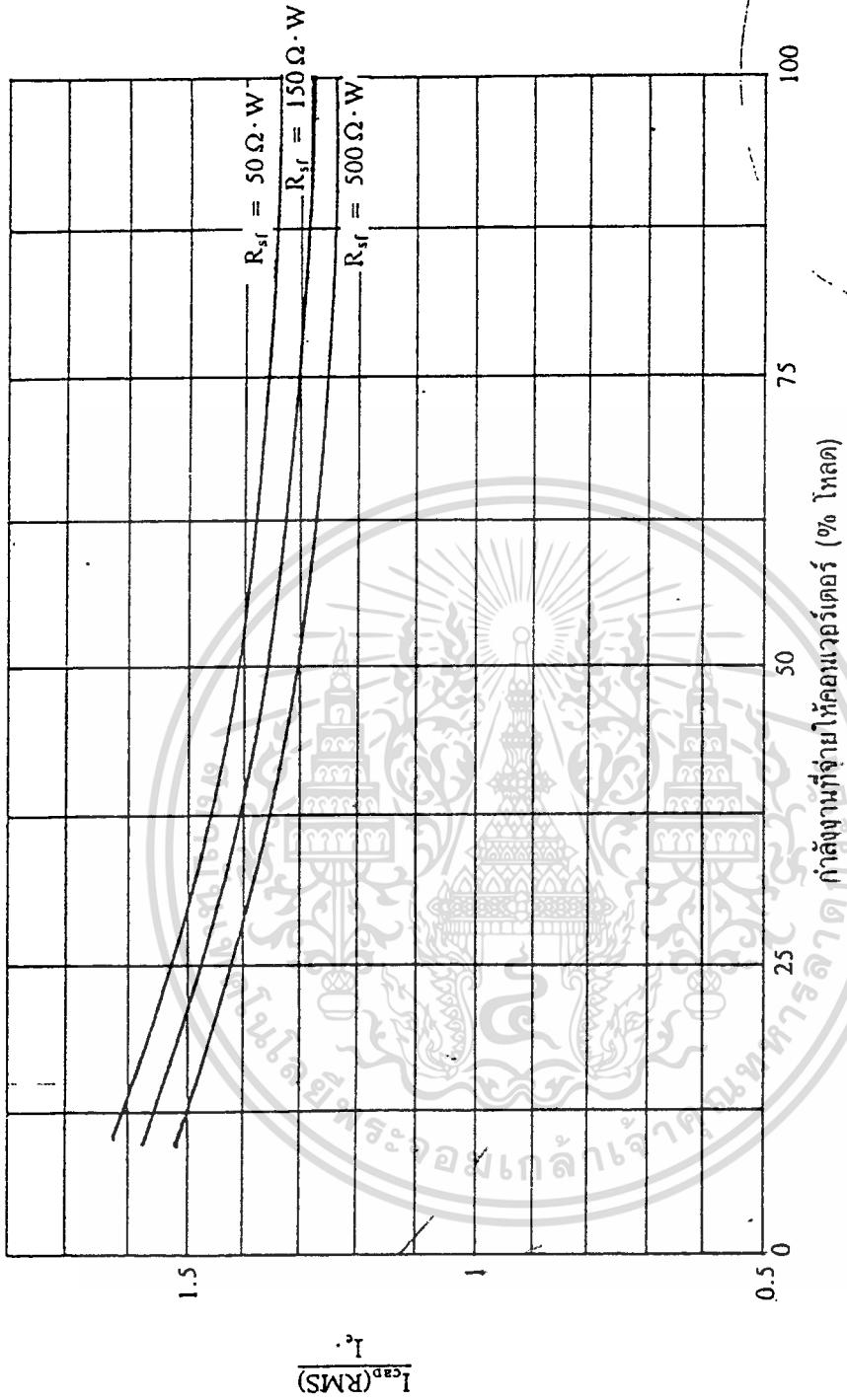
$$R_{sr} = R_s P_{IN}$$

การพิจารณาเลือกค่าตัวเก็บประจุฟิลาเตอร์จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยต่อไปนี้

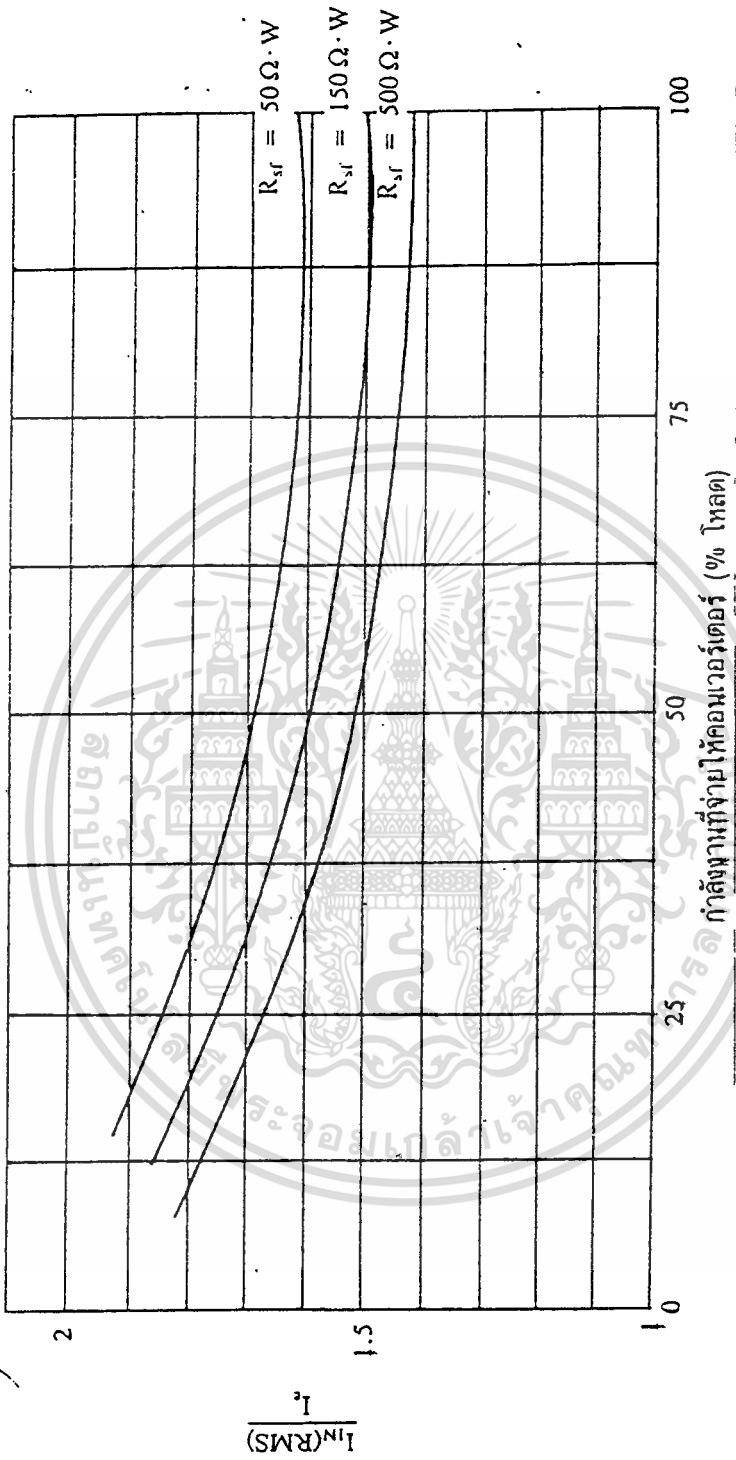
- อัตราการทนกระแสระลอกของตัวเก็บประจุ (RMS Ripple Current Rating)
- ค่าแรงดันกระเพื่อมที่เอาต์พุตของวงจรเรกติไฟเออร์ (Ripple Voltage)
- ช่วงเวลาโฮลด์อัพที่ต้องการ (Hold Up Time)
- อัตราทนแรงดันของตัวเก็บประจุ
- ขนาดและราคา



รูปที่ 2.6 แสดงค่ากระแส RMS ที่สามารถตีไฟเบอร์เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากระแสประสิทธิภาพ  $I_c$  ต่อค่ากำลังงานที่  
 ระบุไว้ของไดโอดที่เชื่อมต่อกับคอมเพอร์เตอร์ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์กำลังโหลดสูงสุด) ที่ค่า  $R_L$  ต่างๆกัน



รูปที่ 2.7 แสดงค่ากระแสออก (RMS) ที่ผ่านตัวเก็บประจุฟิวดเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากระแสแปรสภาพระลอก  $I_c$  ต่อค่ากำลังงานที่  
 เรกติไฟเออร์ต้องจ่ายออกไปให้คอนเวอร์เตอร์ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าโหลดสูงสุด) ที่ค่า  $R_{sf}$  ต่างๆกัน



รูปที่ 2.8 แสดงค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านตัวเก็บประจุฟิเดเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากระแสประสิทธิผล  $I_n$  ต่อค่ากำลังงานที่เรกติไฟเออร์ที่จ่ายออกมาให้กับคอมเพรสเซอร์ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าโหนดสูงสุด) ที่ค่า  $R_{sr}$  ต่างๆกัน

### 1.3 ไดโอดเรกติไฟเออร์ มีข้อพิจารณาการเลือกใช้ต่อไปนี้

- ค่ากระแสกระชาก  $I_{FSM}$  (Maximum Surge Current) คือกระแสกระชากสูงสุดที่ผ่านไดโอดเรกติไฟเออร์จะเกิดขึ้นเมื่อเปิดวงจรโดยตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ยังไม่มีประจุสะสมอยู่ สามารถคำนวณได้จาก

$$I_{FSM} = \frac{V_{peak}}{(R_g + ESR)}$$

เมื่อ	$V_{peak}$	คือ	แรงดันยอดสูงสุดของไฟสลับอินพุต
	$R_g$	คือ	ค่าความต้านทานจำกัดกระแส
	ESR	คือ	ค่าความต้านทานแฝงในตัวเก็บประจุค่าต่ำสุด

โดยทั่วไปไดโอดเรกติไฟเออร์มีค่า  $I_{FSM}$  ประมาณ 20-30 เท่า ของอัตราทนกระแสเฉลี่ยขนาดถูกไบแอสตรงของมันโดยจะมีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้จากสูตรข้างต้น ค่า  $I_{FSM}$  อาจลดลงโดยการเพิ่มค่า  $R_g$  แต่ประสิทธิภาพของสวิดซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะลดลง เนื่องจากกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทานจำกัดกระแส  $R_g$

- ค่ากระแสสูงสุดเมื่อเกิดไบแอสตรง  $I_{FRM}$  (Maximum Forward Current) เป็นค่าที่เกิดขึ้นในวงจรเรกติไฟในจังหวะที่ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์มีการเก็บประจุอีกครั้งหลังจากคายประจุออกไปให้ไหลค่า  $I_{FRM}$  จึงหาได้จากค่ากระแสสูงสุดของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์นั่นเอง

- ค่ากระแสเฉลี่ยเมื่อถูกไบแอสตรง  $I_{FM}$  (Maximum Average Forward Current) เป็นค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ไดโอดเรกติไฟเออร์ได้รับขณะทำงาน ในทางปฏิบัติควรเผื่อค่า  $I_{FM}$  ของไดโอดไว้ที่ประมาณ 1.5-2 เท่า จากที่คำนวณได้เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและยืดอายุการใช้งาน

- อัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุด  $V_{RRM}$  ในสวิดซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะมีค่า  $V_{RRM}$  ไม่ต่ำกว่าค่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับ อย่างไรก็ตามควรพิจารณาเผื่อค่าแรงดันไบแอส กลับให้มากกว่าค่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับเอาไว้ด้วย สำหรับกรณีที่อาจเกิดทรานเซียนต์ได้ในไฟสลับ

## 2. ฟิวส์ มีหน้าที่ 2 ประการ คือ

- ป้องกันอุปกรณ์เสียหาย เนื่องจากกระแสไฟเกิน
- เพื่อแยกส่วนวงจรออกจากแหล่งจ่ายไฟ กรณีกระแสลัดวงจร

### การเลือกใช้ฟิวส์ควรพิจารณาถึง

1. **ค่าอัตราทนแรงดัน (Voltage Rating)** โดยปกติจะมีความมากกว่าหรือเท่ากับ ค่าแรงดันของวงจรเพื่อลดการอาร์กในตัวฟิวส์ขณะตัดวงจร ถ้าอัตราทนแรงดันของฟิวส์มีค่าต่ำไปจะเกิดอาร์กภายในตัวฟิวส์ ซึ่งเสี่ยงต่อการลุกไหม้ในตัวสวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ค่ามาตรฐานอัตราทนแรงดันที่ใช้อยู่ มีค่าเท่ากับ 32, 60, 125, 250, 300, 500, 600 และ 700 โวลต์

2. **ค่าอัตราทนกระแส (Current Rating)** สามารถกำหนดได้จากค่ากระแสอาร์เอ็มเอส ด้านอินพุตของวงจรเรกติไฟเออร์ โดยให้เหลือค่าอัตราทนกระแสไว้อีก 50% ด้วย เพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน

ชนิดของฟิวส์ แบ่งตามมาตรฐานได้ 5 ชนิด ได้แก่

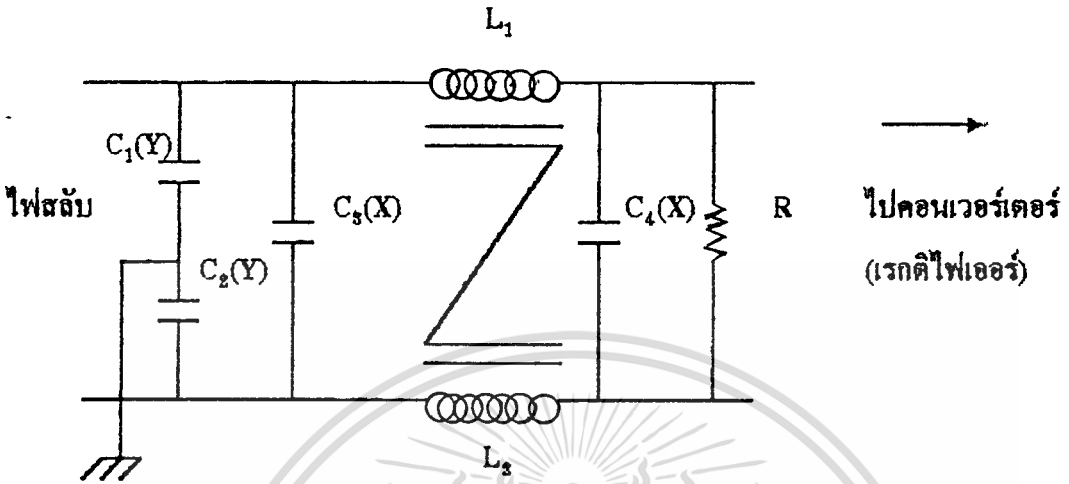
- |                       |    |                                    |
|-----------------------|----|------------------------------------|
| 1. ฟิวส์ขาดเร็วมาก    | FF | (Very Quick Acting)                |
| 2. ฟิวส์ขาดเร็ว       | F  | (Quick Acting or Normal Blow)      |
| 3. ฟิวส์ขาดช้าปานกลาง | M  | (Medium Time Lag)                  |
| 4. ฟิวส์ขาดช้า        | T  | (Time Lag/Time Delay or Slow Blow) |
| 5. ฟิวส์ขาดช้ามาก     | TT | (Long Time Lag)                    |

ข้อสังเกตสำหรับฟิวส์ที่ดี คือ จะต้องมีการ์กแสดงค่าอัตราทนแรงดัน, อัตราทนกระแส และชนิดฟิวส์แสดงอยู่บนตัวฟิวส์ ฟิวส์ที่ได้มาตรฐานจะมีเครื่องหมายรับรองคุณภาพของ UL, VDE หรือ BSI เป็นต้น

3. **RFI อินพุตฟิลเตอร์** เนื่องจากการทำงานของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายเป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงกระแสสูงๆ อย่างฉับพลัน ซึ่งก่อให้เกิดสัญญาณรบกวน RFI ดังนั้นวงจรสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายจึงจำเป็นต้องมีวงจรฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวนให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ วิธีลดสัญญาณรบกวน RFI ทั่วไป คือ การต่อ LC ฟิลเตอร์คั่นที่อินพุตกับแรงดันไฟสลับเพื่อลดสัญญาณ RFI ทั้งที่สัญญาณโหมดความแตกต่าง (Differential Mode) และที่โหมดสัญญาณรวม (Common Mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อวงจร LC ทำได้โดยต่อวงจรดังรูป



รูปที่ 2.9 แสดงการต่อวงจร LC ฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวน RFI

$C_1, C_2 = 2,200 \text{ pF}$  ถึง  $0.033 \text{ }\mu\text{F}$  และเป็นตัวเก็บประจุชนิด "Y"

$C_3, C_4 = 0.1$  ถึง  $2 \text{ }\mu\text{F}$  และเป็นตัวเก็บประจุชนิด "X"

$L_1, L_2 = 1.8 \text{ mH}$  ที่  $25 \text{ mA}$  ถึง  $47 \text{ mH}$  ที่  $0.3 \text{ A}$

ประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนของวงจร LC ฟิลเตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างอิมพีแดนซ์ระหว่างอินพุตของฟิเตอร์กับแหล่งจ่ายไฟสลับ และค่าความแตกต่างของอิมพีแดนซ์ระหว่างเอาพุตของฟิเตอร์กับอินพุตของคอนเวอร์เตอร์ โดยถ้าค่าความแตกต่างของอิมพีแดนซ์มีค่ามาก อัตราลดทอนสัญญาณรบกวน RFI จะเป็นไปได้มากด้วย

ปกติคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ ส่วนแหล่งจ่ายแรงดันไฟสลับมักมีค่าอิมพีแดนซ์สูง ดังนั้นค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร RFI ฟิเตอร์ที่อินพุตต้องมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ และเอาต์พุตของ วงจร RFI ฟิเตอร์ต้องมีค่าสูงๆ เพื่อให้อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนมีค่าสูง การต่อ  $C_1(Y)$  และ  $C_2(Y)$  ที่ด้านอินพุตของวงจรจะทำให้อินพุตของวงจรฟิเตอร์มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ  $L_1$  และ  $L_2$  จะทำให้อิมพีแดนซ์ที่เอาต์พุตของวงจรฟิเตอร์มีค่าสูง  $C(X)$  ที่อยู่ในวงจรจะมีผลในการลดภาวะทรานเซียนต์โดย  $C_1(X)$  จะลดทรานเซียนต์ที่เกิดในสายไฟสลับไม่ให้ผ่านเข้าหา วงจรคอนเวอร์เตอร์ ส่วน  $C_2(X)$  จะลดทรานเซียนต์ที่เกิดจากคอนเวอร์เตอร์ไม่ให้ผ่านไปยังไฟ สลับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคคอนเวอร์เตอร์

ประกอบด้วยส่วนของ สวิตชิง-อินเวอร์เตอร์ กับส่วนของเรกติไฟเออร์ ฟิลเตอร์เอาต์พุต คอนเวอร์เตอร์เป็นส่วนสำคัญที่สุดในส่วนของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย มีหน้าที่ลดทอนแรงดัน ไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำและสามารถคงค่าแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์มีอยู่ หลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสีย แตกต่างกันไป การเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์แบบใดสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย นั้นมีข้อ ควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์ในแต่ละแบบดังนี้คือ

- ลักษณะการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์
- ค่าแรงดันอินพุตที่นำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์
- ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
- ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
- การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่คอนเวอร์เตอร์มีหลายค่าแรงดันเอาต์พุต
- การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI/EMI ของตัวคอนเวอร์เตอร์

จากข้อพิจารณาดังกล่าว สามารถแบ่งชนิดของคอนเวอร์เตอร์ออกได้เป็น 5 แบบดังต่อไปนี้

1. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)
2. ฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)
3. พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter)
4. ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter)
5. ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Converter)

### 1. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

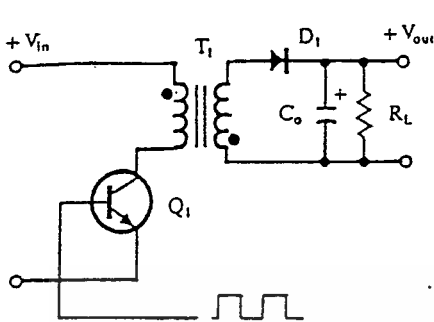
เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ในแบบฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ จะทำงานในลักษณะเป็น สวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้กับขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง  $T_1$  จะกำหนดขดไฟโพรมารี่และเซคันดารีให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ  $Q_1$  นำกระแส ไคโอด  $D_1$  จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส จึงมีการสะสมพลังงานที่ขดไฟโพรมารี่ ของหม้อแปลง  $T_1$  แทน เมื่อ  $Q_1$  หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก  $T_1$  ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้ว แรงดันที่ไฟโพรมารี่และเซคันดารี  $D_1$  จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง พลังงานที่ขดไฟโพรมารี่ ของหม้อแปลงก็就会被ถ่ายเทออกไปยังขดเซคันดารี และมีกระแสไหลผ่านไคโอด  $D_1$  ไปยังตัวเก็บ ประจุเอาต์พุต  $C_0$  และโหลดได้ ค่าแรงดันที่เอาต์พุตของ คอนเวอร์เตอร์ จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่

ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

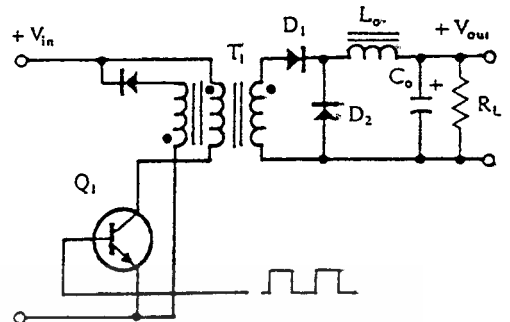
การทำงานของ $Q_1$  ช่วงเวลานำกระแสของ $Q_1$  อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงและค่าแรงดันที่อินพุต

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ ที่ให้กำลังได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMI ค่อนข้างสูง แต่ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยและมีราคาถูก

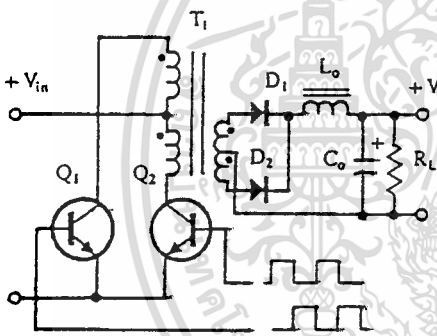




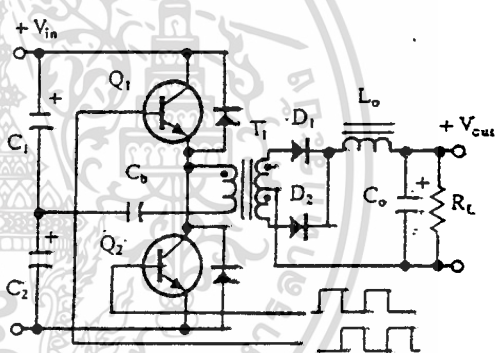
(ก)



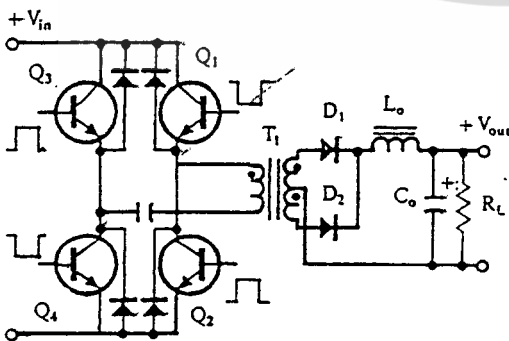
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

- รูปที่ 2.10 ก) ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์  
 ข) ฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์  
 ค) พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์  
 ง) ฮาต์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย การค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร 037022 นำไปใช้

## 2. ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ จะมีลักษณะคล้ายกับ ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่หม้อแปลง,  $T_1$  ในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ จะกำหนดขดไฟรมาลีและขดเซคชั่นคาร์ให้มืเฟสตรงกัน ดังนั้นเมื่อ  $Q_1$  นำกระแส ไดโอด  $D_1$  จึง อยู่ในลักษณะถูกไบแอสโดยตรง แต่  $D_2$  จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส กระแสจึงไหลผ่านไดโอด  $D_1$  และค้วเหนืยวน่า  $L_0$  ไปยังค้วเก็บประจุเอาต์พุต  $C_0$  และไหลลคได้ ขณะที่มืกระแสไหลผ่าน  $L_0$  จะมืการสะสมพลังงานไว้ในค้วมันค้ว เมื่อ  $Q_1$  หยุดนำกระแส ไดโอด  $D_1$  จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ จึงไม่มีกระแสไหลจากขดเซคชั่นคาร์ สนามแม่เหล็กใน  $L_0$  จะยุบค้วทำให้มืการกลับขั้วแรงคั้นที่เอาต์พุตค้วค้วมันอยู่ ไดโอด  $D_2$  ก็จะถูกไบแอสตรง  $L_0$  จะถ่ายเทพลังงานออกมาทำให้มืกระแสไหลผ่านค้วมัน และ  $D_2$  ออกไปยังไหลลคได้ จะเห็นได้ว่าจะมืกระแสไหลผ่านไหลลคอย่างต่อเนื่องทั้งในช่วงที่  $Q_1$  นำกระแสและหยุดนำกระแส ทำให้มืการกระเพื่อมของแรงคั้นที่เอาต์พุตค้วค้วฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ให้กำลังได้ในช่วงเดียวกันกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่กระแสที่ลคจะมีการกระเพื่อมค้วค้ว อย่งไรก็ตาม ค้วอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามาจะทำให้ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์นั้นมีราคาสูงค้ว

## 3. พุก-พุลคอนเวอร์เตอร์

พุก-พุลคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังได้สูงค้วตั้งแต่ 500 วัตค้วขึ้นไป แต่มีข้อเสยคือ มืเกิดการไม่สมมาตรพลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลงซึ่งจะมีผลต่อการพังเสยหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ค้วค้ว อย่งไรก็ตาม ในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมแบบควบคุมกระแสจะทำให้ลคปัญหานี้ลคได้ ดังนั้น พุก-พุลคอนเวอร์เตอร์จึงเป็นคอนเวอร์เตอร์ที่น่าสนใจ สำหรับสวคซึ่งเพาเวอร์ค้วฟลายที่ต้องการกำลังงานสูงค้ว

$Q_1$  และ  $Q_2$  จะสลับการนำกระแสในแต่ละครั้งคาบเวลาการทำงาน เมื่อ  $Q_1$  นำกระแส  $D_1$  จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ แต่  $D_2$  จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรงและนำกระแสผ่าน  $L_0$  ไปยังไหลลคได้เมื่อ  $Q_1$  หยุดนำกระแส  $Q_2$  จะเริ่มนำกระแส  $D_2$  จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ และ  $D_1$  จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง และนำกระแสผ่าน  $L_0$  ไปยังไหลลคได้เช่นกัน ดังนั้นไหลลคจึงมืกระแสไหลต่อเนื่องได้ตลอดเวลา กระแสที่ลคทางเอาต์พุตจึงค่อนข้างเรียบ อย่งไรก็ตาม เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เพิ่มเข้ามาจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการสร้าง พุก-พุลคอนเวอร์เตอร์เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดค้วทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จัดเป็นคอนเวอร์เตอร์ตระกูลเดียวกับ พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ และให้กำลังงานค่อนข้างสูง ข้อดีของ ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ก็คือ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ในวงจรมีค่าแรงดันตกคร่อมขั้วไม่นำกระแสน้อยกว่าคอนเวอร์เตอร์ ทั้ง 3 แบบที่ได้กล่าวมาแล้ว และลดการเกิดไม่สมมาตรฟลักซ์ได้

และยังพบว่าหาก เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งนำกระแส ค่าแรงดันตกคร่อม เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวที่เหลือจะมีค่าเพียงแรงดันอินพุตเท่านั้น เมื่อ  $Q_1$  และ  $Q_2$  สลับกันนำกระแส ผลที่ได้จะมีลักษณะเดียวกับการทำงานของ พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ ยกเว้นค่าแรงดันตกคร่อมขั้วทำงานของขดไฟปฐมารี่จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันที่อินพุต เนื่องจากผลของการต่อตัวเก็บประจุ  $C_1$  และ  $C_2$  เพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน กระแสที่ไหลผ่านขดไฟปฐมารี่จึงมีค่าสูง ซึ่งเป็นการจำกัดกำลังสูงสุดของ คอนเวอร์เตอร์ โดยกำลังสูงสุดที่ ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ สามารถทำได้จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 500 วัตต์

#### 5. ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

จะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรทั้งหมดถึง 4 ตัว แต่จะทำงานสลับกันเป็นคู่ๆ โดย  $Q_1$  จะนำกระแสพร้อมกับ  $Q_4$  และ  $Q_2$  จะนำกระแสพร้อมกับ  $Q_3$  กระแสที่ไหลผ่านขดไฟปฐมารี่ของหม้อแปลงจะมีลักษณะเช่นเดียวกับ ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ แต่ข้อได้เปรียบของ ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ก็คือ ขณะทำงานที่ขดไฟปฐมารี่จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับค่าแรงดันอินพุต กระแสที่ไหลผ่านขดไฟปฐมารี่จึงมีค่าต่ำกว่า ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จึงสามารถจ่ายกำลังได้สูงกว่าคั้งนั้นสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ต้องการกำลังสูงๆตั้งแต่ 500 วัตต์ ถึง 1,000 วัตต์ จึงมักนิยมใช้คอนเวอร์เตอร์ แบบฟูลบริดจ์เป็นหลัก

5.1 การเลือกราคาเวลา  $t_o$  จากการศึกษาหลักการทำงานเบื้องต้นของวงจรแบบ ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะเห็นว่า  $Q_1$  กับ  $Q_2$  และ  $Q_3$  กับ  $Q_4$  จะนำกระแสพร้อมกันไม่ได้ เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรของแรงดันอินพุตและทรานซิสเตอร์จะพังเสียหายได้ การกำหนดค่าเวลาเมื่อ  $t_o$  จึงมีความจำเป็น ถ้ากำหนดค่าเวลาเมื่อ  $t_o$  ไว้ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของค่าครึ่งคาบเวลาช่วงเวลานำกระแสสูงสุดของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $t_{on(max)}$  ก็จะมีค่าได้ไม่เกิน

$$t_{on(max)} = 0.4 \quad (\text{ค่าเดียวกันกับกรณีฮาล์ฟ-บริดจ์})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ค่าแรงดันเอาต์พุต มีลักษณะเช่นเดียวกันกับแบบฟูล-พูลคอนเวอร์เตอร์ แต่เนื่องจากแบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะมีเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์คู่กันระหว่างขดไพรมารี  $N_p$  กับแรงดันอินพุต อยู่ถึง 2 ตัว ถ้ากำหนดให้แรงดันตกคร่อมขดนำกระแส  $V_{CE}$  ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทั้งสองควรมีค่าเท่ากัน แรงดันเอาต์พุตจะหาได้จาก

$$V_{out} = \frac{N_s}{N_p} \frac{(V_{in} - 2 V_{CE(sat)}) t_{on}}{(T/2)} \cdot V_D$$

5.3 อัตราส่วนจำนวนรอบ  $N_p/N_s$  และจำนวนรอบ  $N_p$  และ  $N_s$

ค่าอัตราส่วนจำนวนรอบ  $N_p/N_s$  จะหาได้จากสมการ

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{(V_{in(min)} - 2 V_{CE(sat)}) t_{on(max)}}{(V_{out} + V_D) (T/2)}$$

โดยกำหนดรอบ  $N_p$  เท่ากับ

$$N_p = \frac{(V_{in(min)} - 2 V_{CE(sat)}) t_{on(max)}}{\Delta B_{(MAX)} \cdot A_c}$$

5.4 ค่ากระแสสูงสุดไพรมารี มีลักษณะเช่นเดียวกับแบบฟูล-พูลคอนเวอร์เตอร์ โดยสามารถหาได้จากสมการ

$$I_p (PK) = \frac{P_o T}{2 \eta V_{in(min)} t_{on(max)}} + \frac{(V_{in(min)} - 2 V_{CE(sat)}) t_{on(max)}}{L_p}$$

จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบบ ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะมีค่ากระแสไพรมารี เท่ากันแต่แบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จะให้กำลังขาออกเป็นสองเท่าซึ่งเป็นเหตุมาจากการที่แบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ต้องใช้ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ถึง 4 ตัวด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การกำหนดค่า  $C_b$ ,  $C_o$  และ  $I_o$  มีลักษณะเดียวกันกับ แบบฮาล์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ และ แบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ตามลำดับ

5.6 ขีดจำกัดกำลังขาออก ทั้งแบบฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ และแบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะมีแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพียงค่าแรงดันไฟตรงอินพุต ดังนั้นที่แรงดันสูงสุด 20% ของแรงดันไฟสลับปกติ 220 โวลต์ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะต้องทนแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงสุดเพียง 370 โวลต์ซึ่งเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่สามารถทนแรงดันได้ถึง 500 โวลต์ และทนกระแสได้จนถึง 20 แอมป์นั้นหาได้ง่าย

พิจารณาแบบฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ที่กำลังขาออก 500 วัตต์ เช่นเดียวกับกรณีของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ กระแสสูงสุดโพรมารีจะมีค่า

$$I_p \text{ (PK)} = \frac{500 \times 20 \times 10^{-3}}{0.8 \times 311 \times 8 \times 10^{-6}} = 5 \text{ Amp}$$

และเมื่อนำไปพิจารณาที่กำลังขาออก 1,000 วัตต์ ปรากฏว่าแบบฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะต้องใช้เพาเวอร์ซิสเตอร์ ที่ทนกระแสสูงสุดถึง 10 แอมป์ ขณะที่แบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะใช้เพาเวอร์ซิสเตอร์ ที่ทนกระแสสูงสุดเพียง 5 แอมป์ จะเห็นว่าแบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ สามารถเลือกใช้เพาเวอร์มอสเฟตเบอร์ IRF840 ซึ่งหาได้ง่ายและราคาถูกกว่าเพาเวอร์มอสเฟตเบอร์ IRFP460 ที่ใช้ในแบบฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

นั่นคือ สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายที่มีกำลังขาออก 400-500 วัตต์ จะนิยมใช้แบบฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งเหมาะสมกว่า ส่วนสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายที่มีกำลังขาออก 500 วัตต์ขึ้นไปจะใช้แบบ ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จึงจะเหมาะสม

## ภาคเรกติไฟเออร์และฟิลเตอร์เอาต์พุต

ประกอบด้วยหม้อแปลงสวิตชิง ซึ่งจัดว่าเป็นอุปกรณ์สำคัญจึงจำเป็นต้องทำการศึกษา เพื่อความเหมาะสมในการใช้งาน โดยการคำนวณหาค่าขนาดแกนเฟอร์ไรต์และขนาดลวดทองแดง รวมทั้งการกำหนดความปลอดภัยทางไฟฟ้า เพื่อความปลอดภัยและลดกำลังงานสูญเสียในหม้อแปลง สวิตชิงขณะทำงาน

- ส่วนประกอบหม้อแปลงสวิตชิง

1. แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core) เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material) โดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์ จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เก็บบนอากาศมาก เฟอร์ไรต์มีจุดอิ่มตัวฟลักซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูงประมาณ 3,000 ถึง 4,000 เกาส์ และมีค่าความสูญเสียในตัวที่ความถี่สูงๆ จึงนิยมใช้แกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงสวิตชิง

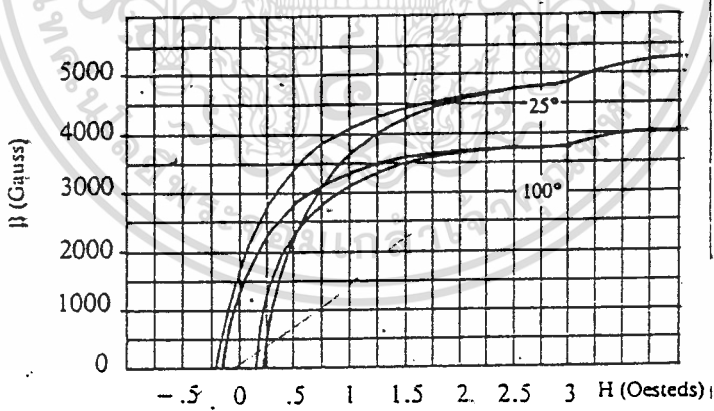
2. บอบบิ้น (Bobbin) หรือ แบบรองพันปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนได้สูงและไม่ติดไฟ ซึ่งจะช่วยให้การพันขลวดบนแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้

3. ลวดทองแดงอาบนํ้ายา (Enamelled Copper Wire) การพันขลวดของหม้อแปลงสวิตชิงที่ให้กำลังไม่สูงมากนัก ปกติจะใช้ลวดทองแดงอาบนํ้ายาพันบนแกนบอบบิ้น เพื่อให้ได้จำนวนรอบที่ต้องการ ซึ่งขนาดลวดทองแดงจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขลวด, ความถี่ และผลข้างเคียงอื่นๆ

4. เทปฉนวน (Insulation Tape) ใช้สำหรับเป็นฉนวนระหว่างชั้นของขลวดและยังมีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดไฟรมารีและขดเชคคันดารี ส่วนมากเป็นวัสดุจำพวก ไมลาร์ (Mylar) และโพลีเอสเตอร์ (Polyester) ที่มีความหนาช่วง 0.05-0.10 มิลลิเมตร การเลือกใช้ฉนวนขึ้นอยู่กับกรออกแบบ และค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลงสวิตชิงเป็นหลัก

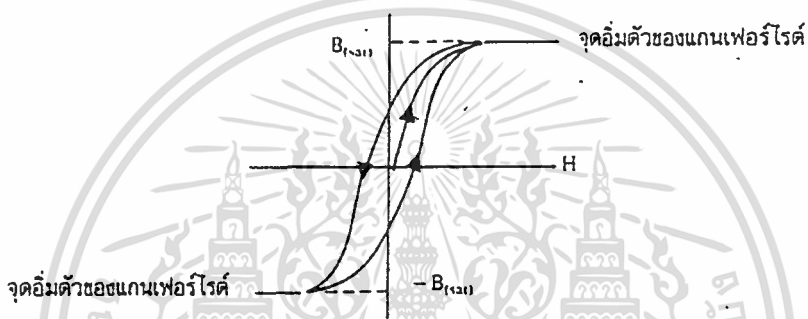
- คุณสมบัติสำหรับแกนเฟอร์ไรต์

1. เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis Curve) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดที่พันบนแกนตั้งรูปข้างล่าง ซึ่งแสดงลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของเนื้อสารชนิด 3C8 และ 3C6A ตามลำดับ ซึ่งผลิตโดยผู้ผลิต คือ FERROXCUBE จากรูปจะเห็นได้ว่า ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของสนามแม่เหล็ก H มีค่าเพิ่มขึ้น จนถึงจุดหนึ่งซึ่งค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก แม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มสนามแม่เหล็ก H ก็ตามจากจุดดังกล่าวเราจะเรียกว่า แกนเริ่มมีการอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็ก (Saturation)



รูปที่ 2.11 แสดงเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของการเฟอร์ไรต์

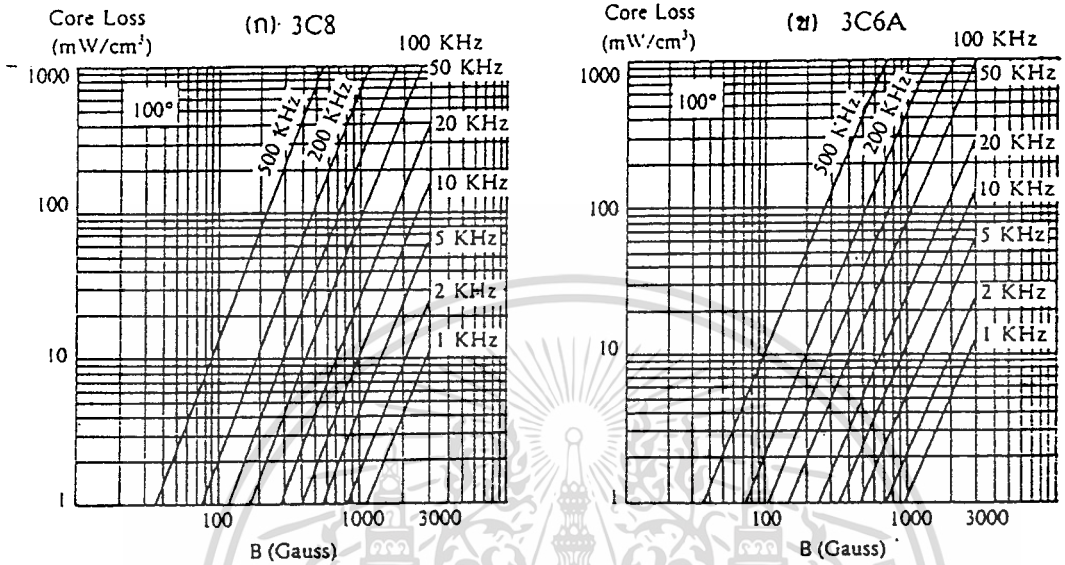
โดยปกติผู้ผลิตจะแสดงกราฟของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสเพียงครั้งเดียว เนื่องจากอีกครั้งหนึ่งของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสจะมีลักษณะเหมือนกันทุกประการเพียงแต่จะมีลักษณะกลับทิศกันเท่านั้น ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส ซึ่งลักษณะสมมาตรของกราฟซิกบน-ซิกล่าง

การใช้งานของแกนเฟอร์ไรต์จะต้องระมัดระวังไม่ให้แกนเฟอร์ไรต์เกิดการอิ่มตัวขึ้นได้ ดังนั้นในการออกแบบหม้อแปลงสวิตชิงจึงควรกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก  $B$  ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในขณะที่แกนทำงาน โดยมีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดก่อนอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์ เพื่อความปลอดภัย

2. ค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ (Core Loss) เกิดขึ้นจากการสูญเสียที่เกิดจากฮิสเตอร์รีซิสของแกน (Hysteresis Loss) กับ การสูญเสียจากการเกิดกระแสไหลวนภายในแกนเฟอร์ไรต์ (Eddy Current Loss)



รูปที่ 2.18 แสดงค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์

- การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในแกนหม้อแปลง ค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดไพรมารีและขนาดของแกน จากกฎฟาราเดย์

$$\Delta B = \frac{V \cdot t \times 10^8}{N_p \cdot A_c}$$

- เมื่อ  $\Delta B$  คือ ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกน เป็นเกาส์
- $V$  คือ ค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารี เป็นโวลต์
- $t$  คือ ช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้น เป็นวินาที
- $N_p$  คือ ค่าจำนวนรอบของขดลวดไพรมารี เป็นรอบ
- $A_c$  คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกน เป็นตารางเซนติเมตร

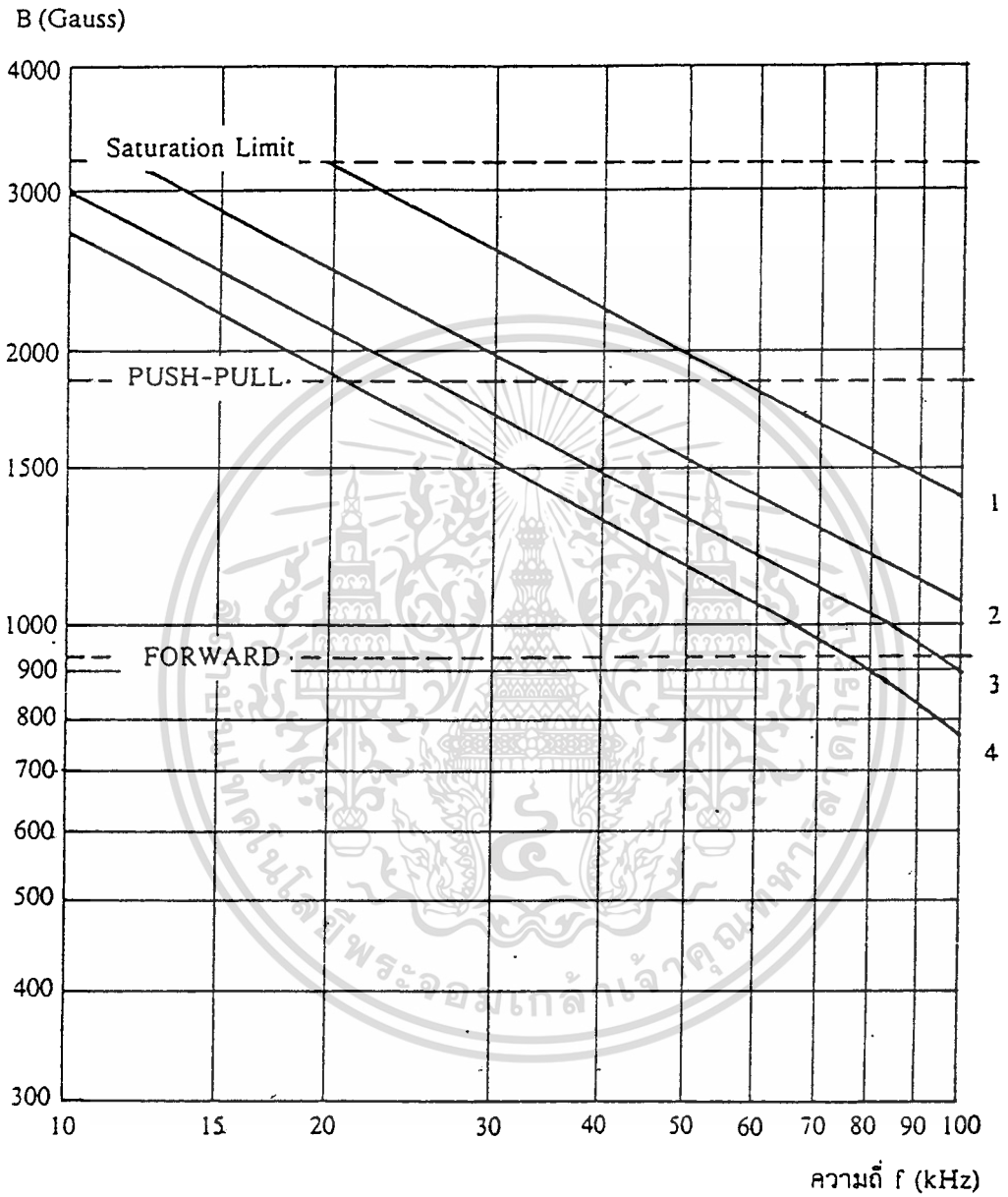
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่ายิ่งจำนวนรอบของขดไฟรมารี่มีค่าน้อยลง ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะยังมีค่ามากขึ้น ซึ่งการลดจำนวนรอบของขดไฟรมารี่ลงจะทำให้สามารถใช้ขดลวดทองแดงขนาดใหญ่ขึ้นได้ และสามารถทนกระแสได้สูงทำให้หม้อแปลงให้กำลังได้สูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม หากค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว จะทำให้แรงดันคคกร่อมไฟรมารี่มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แรงดันอินพุตจะไปคคกร่อมที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ขณะที่กำลังนำกระแสสูงๆแทน ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายได้ และค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่มีค่าสูง จะทำให้เกิดการสูญเสียภายในแกนสูงอีกด้วยดังนั้นการกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงขณะทำงาน จึงมีข้อคำนึงถึงสองประการ คือ

1. แกนเฟอร์ไรต์ต้องไม่เกิดการอิ่มตัวขณะทำงาน
2. ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่เกิดขึ้นในแกนขณะทำงานจะต้องให้เกิดค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ต่ำที่สุด

**หมายเหตุ** - การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ให้กำหนดเป็น 2 เท่า ของค่า  $\Delta B$  ที่อ่านได้จากกราฟ ( $2 \times \Delta B$ ) และค่า  $\Delta B$  ไม่ควรกำหนดเกินเส้นประในกราฟ ซึ่งแสดงขีดจำกัดของ  $\Delta B$  สำหรับคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.14 ก. ขนาดแกนเฟอร์ไรต์ :

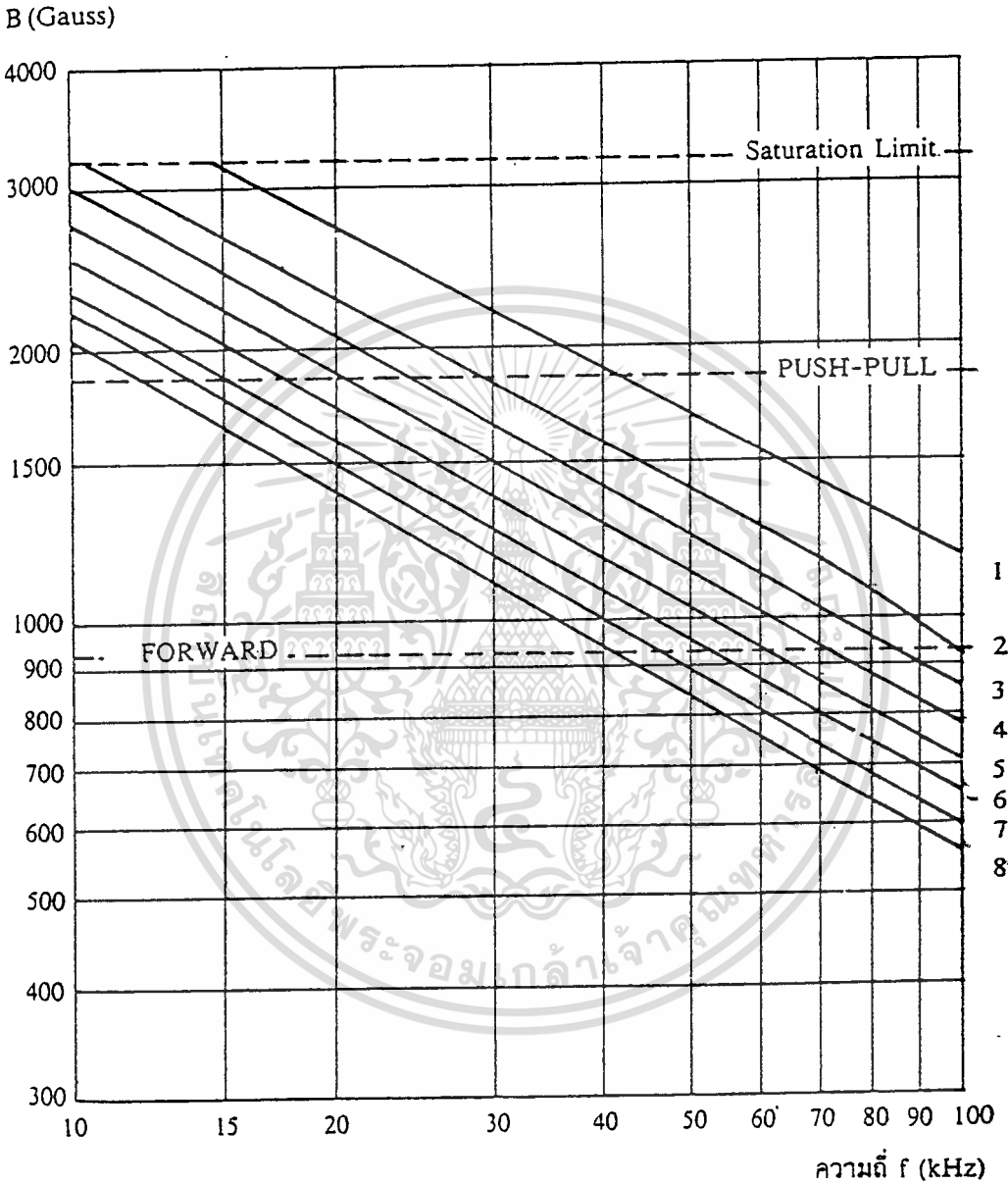
(1) UU 15/22/6, EE 20/20/5

(2) UU 20/32/7, EE 25/25/7, EE 30/30/7

(3) UU 25/40/13

(4) UU 30/15/16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



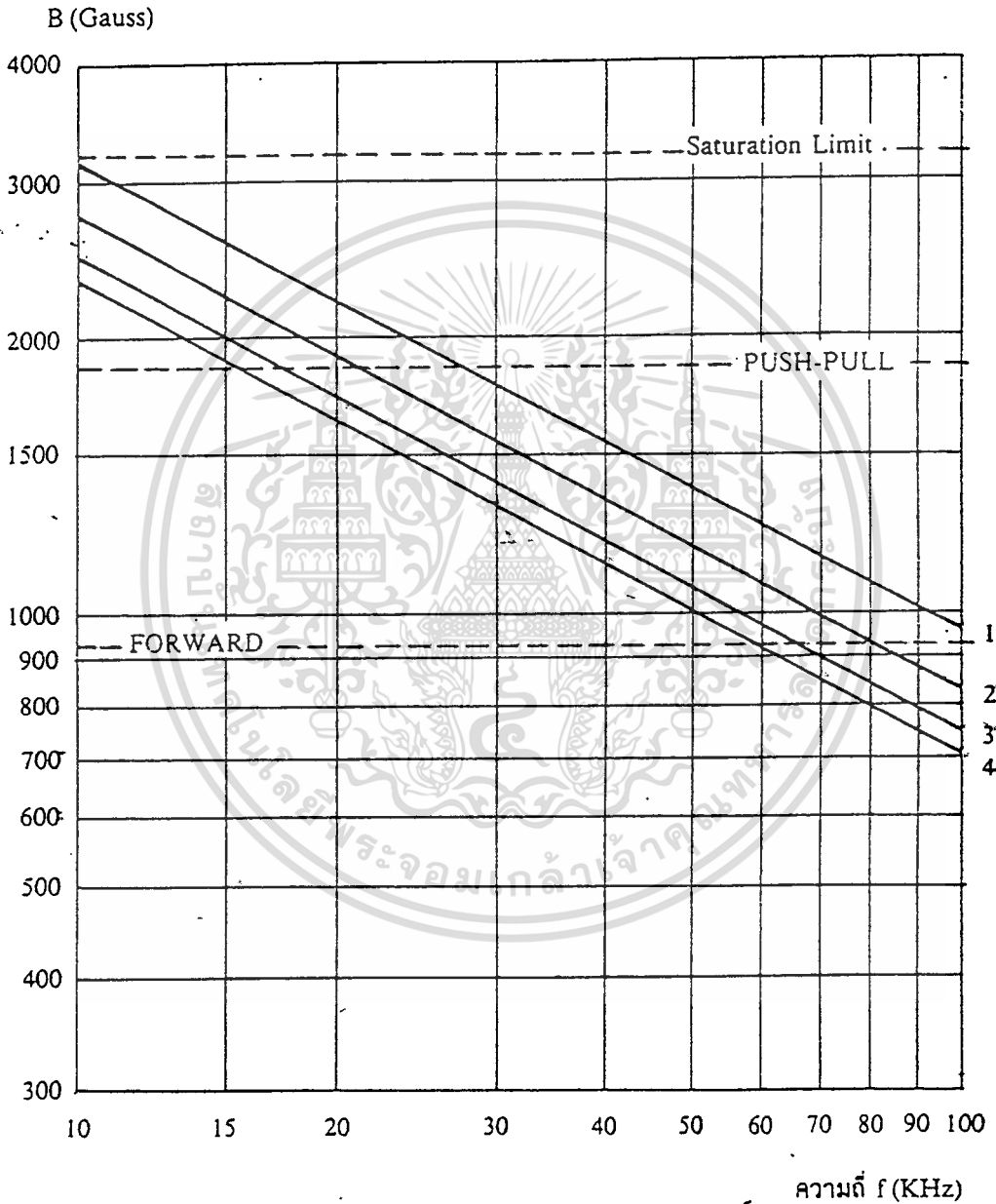
รูปที่ 2.14 ข. ขนาดแกนเฟอร์ไรต์ :

(1) EC 35 (2) EC 41, EC 52 (3) EC 70 (4) EE 42/42/15

(5) EE 42/42/20, EE 42/54/20, EE 42/66/20

(6) EE 55/55/21 (7) EE 55/55/25, UU 64/70/20

(8) EE 65/66/27



รูปที่ 2.14 ค. ขนาดแกนเฟอร์ไรต์ :

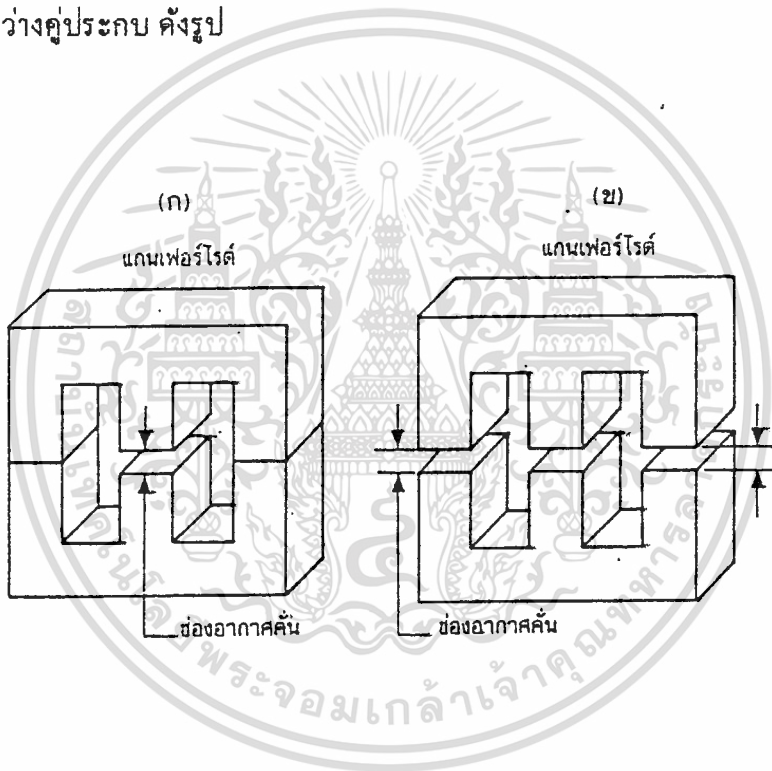
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส(1) ETD 34 (2) ETD 39 (3) ETD 44 (4) ETD 49 ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์ (Air Gap)

การกำหนดช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์เป็นวิธีอย่างหนึ่งที่ใช้ป้องกัน? การอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์และช่วยให้การสะสมพลังงานของขดลวดและหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่งมีค่ามากขึ้นอีกด้วย อย่างไรก็ตามช่องอากาศคั่นในการเฟอร์ไรต์จะทำให้เกิดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวน EMI ออกมาและอาจรบกวนอุปกรณ์ภายนอกได้เช่นกัน

สำหรับแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE, EI, ETD หรือแบบ POT สามารถกำหนดลักษณะช่องคั่นอากาศได้ 2 ลักษณะ คือ การกำหนดช่องอากาศคั่นที่แกนกลางอย่างเดียว กับการคั่นแกนด้วยช่องอากาศระหว่างคู่ประภค ดังรูป



รูป 2.15

ก. แสดงการกำหนดช่องอากาศคั่น  $\mu$

ข. การคั่นช่องอากาศ  $\mu$  ระหว่างคู่ประภคของแกนเฟอร์ไรต์

การคั่นช่องอากาศระหว่างคู่ประภคสามารถทำได้ง่ายกว่าการคั่นช่องอากาศที่แกนกลางซึ่งทำได้โดย การใช้แผ่นฉนวนที่มีความหนาเป็นครึ่งหนึ่งของระยะช่องอากาศคั่นที่ต้องการ นำมาคั่นระหว่างแกนนอกของคู่ประภค ส่วนการกำหนดช่องอากาศคั่นที่แกนกลางต้องสั่งตรงจากผู้ผลิตแกนเฟอร์ไรต์ หรือขั้วแกนกลางออกเองเพื่อให้ได้ระยะช่องอากาศคั่นตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความสัมพันธ์ระหว่างขดไพรมารีและขดเซคันดารีของหม้อแปลงสวิตชิง เป็นไปตาม ทฤษฎีของหม้อแปลงต่อไปนี้

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

เมื่อ

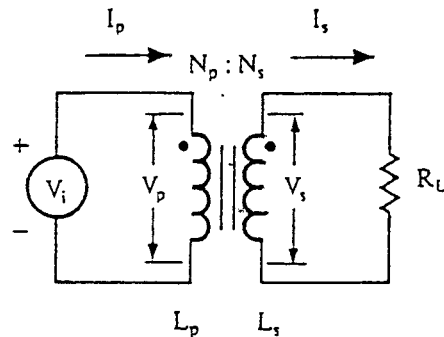
$$\frac{N_p}{N_s} = \sqrt{\frac{L_p}{L_s}}$$

กำหนดให้

$V_p$	คือ	ค่าแรงดันตกคร่อมไพรมารี
$V_s$	คือ	ค่าแรงดันตกคร่อมเซคันดารี
$N_p$	คือ	จำนวนขดรอบขดไพรมารี
$N_s$	คือ	จำนวนขดรอบขดเซคันดารี
$I_p$	คือ	กระแสที่ไหลผ่านขดไพรมารี
$I_s$	คือ	กระแสที่ไหลผ่านขดเซคันดารี
$L_p$	คือ	ค่าความเหนี่ยวนำของขดไพรมารี
$L_s$	คือ	ค่าความเหนี่ยวนำของขดเซคันดารี

มีข้อสังเกตคือ  $V_p$  ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กภายในแกนหม้อแปลง เนื่องจากมีกระแสไหลผ่านขดไพรมารี ไม่ใช่ค่าแรงดันอินพุต แต่มีค่าใกล้เคียงกัน ค่า  $V_p$  จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อแกนเฟอร์ไรต์เกิดการอิ่มตัว ( $dB/dt \sim 0$ ) มีสภาพเหมือนเกิดการลัดวงจร

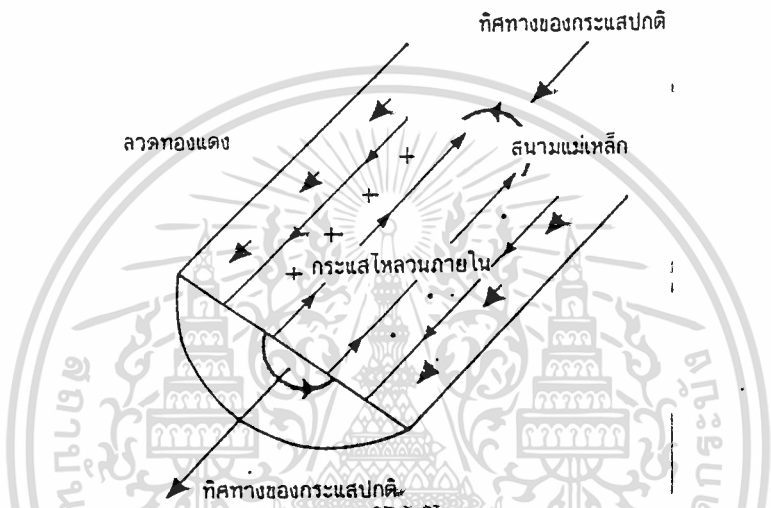
$$V_p = N_p \cdot A_c \left[ \frac{dB}{dt} \right] \times 10^{-8}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์พื้นฐานหม้อแปลง ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คุณลักษณะการผันและการกำหนดขนาดของขดลวด

1. ผลของการนำกระแสแค่เพียงที่ผิวของขดลวดทองแดง ( Skin effect ) ขดลวดทองแดงเมื่อมีกระแสสลับไหลผ่านจะเกิดสนามแม่เหล็กไหลวนที่ภายในและรอบๆตัวมัน ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไหลวน ( Eddy current ) ขึ้นภายในตัวลวดทองแดงอีกทอดหนึ่ง ซึ่งกระแสไหลวนนี้จะทำให้กระแสปกติไหลได้เฉพาะที่ผิวของทองแดง



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะการเกิดกระแสไหลวนภายในลวดทองแดง

ปริมาณของกระแสปกติจะยังคงมีค่าเท่าเดิม แต่ความหนาแน่นของกระแสในลวดทองแดงที่ใกล้ผิวจะมีค่าสูงเพราะกระแสส่วนใหญ่ไหลได้เฉพาะที่ผิวการไหลของกระแสไหลวนจะเป็นการจำกัดพื้นที่นำกระแสของขดลวดทองแดงและมีผลเหมือนพื้นที่นำกระแสของขดลวดทองแดงลดลงจากพื้นที่หน้าตัดเดิมของมัน

จากผิวของขดลวดทองแดงลึกลงมาในเนื้อลวดทองแดง จนถึงจุดที่ค่าความหนาแน่นของกระแสมีค่าลดลงมาเหลือเพียง 37 % ของค่าความหนาแน่นของกระแสที่ผิวนั้น เราจะเรียกระยะนี้ว่าความหนาผิวนำกระแสของลวดทองแดง ( Skin depth ) โดยค่าดังกล่าวจะขึ้นกับค่าความถี่ เช่น ลวดทองแดง ที่ 100 °C จะมีค่าความหนาผิวนำกระแสเท่ากับ

$$\Delta = \sqrt{(5.02)/f}$$

เมื่อ  $\Delta$  คือ ความหนาผิวนำกระแส เป็นมิลลิเมตร

f คือ ความถี่ของกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราส่วนระหว่างความต้านทานที่กระแสสลับต่อความต้านทานที่กระแสตรงของลวดทองแดง ( $F_R$ ) เนื่องจากค่าความต้านทานของขดลวดนั้นขึ้นกับค่าพื้นที่หน้าตัดหน้ากระแสของมันและกระแสสลับที่ใหญ่บนพื้นที่หน้าตัดหน้ากระแสของขดลวดทองแดงจะลดลงเพราะกระแสไหลได้เฉพาะผิวหน้ากระแส ดังนั้นความต้านทานที่กระแสสลับของขดลวดทองแดงจึงมีค่ามากกว่าความต้านทานเมื่อมันนำกระแสตรง

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานที่กระแสสลับต่อความต้านทานที่กระแสตรงของลวดทองแดง (Resistance Factor ;  $F_R$ ) หาได้จาก

$$F_R = \frac{R_{ac}}{R_{dc}} = \frac{(d/2\Delta)^2}{(d/2\Delta)^2 - (d/2\Delta - 1)^2}$$

เมื่อ  $R_{ac}$  คือ ค่าความต้านทานของขดลวดทองแดงที่กระแสสลับ เป็นโอห์ม  
 $R_{dc}$  คือ ค่าความต้านทานของขดลวดทองแดงที่กระแสตรง เป็นโอห์ม  
 $d$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดทองแดง เป็นมิลลิเมตร

ในทางปฏิบัติค่า  $F_R$  จะประมาณค่า โดย

$$F_R = \frac{(d/\Delta + 1)}{4} \quad \text{ถ้า } d/\Delta \geq 5$$

ความหมายของค่าอัตราส่วน  $F_R$  ไม่ได้แสดงถึงค่าความต้านทานของลวดทองแดงที่กระแสสลับจะมีค่ามากขึ้นเมื่อขนาดลวดทองแดงมากขึ้น โดยความเป็นจริงแล้วค่าความต้านทานของขดลวดทองแดงที่กระแสสลับจะมีค่าลดลงเมื่อขนาดลวดทองแดงใหญ่ขึ้น ดังนั้น ค่าอัตราส่วน  $F_R$  จึงมีค่ามากขึ้น การใช้ลวดทองแดงขนาดใหญ่จึงไม่เกิดประโยชน์ใดๆ ที่ความถี่สูงๆ เพราะเกิดการสูญเสียมากกว่า เนื่องจากค่าความต้านทานกระแสสลับของมันขณะมีกระแสไหล

การกำหนดขนาดของลวดทองแดงและวิธีการพันขดลวดจึงควรกำหนดให้ค่าของ  $F_R$  น้อยสุด ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียน้อยสุดเช่นกัน

- ผลจากการเรียงซ้อนของขดลวด (Proximity Effect) ปกติค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (permeability ;  $\mu$ ) ของแกนเฟอร์ไรต์จะมีค่าสูงมากแกนจะจับฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดในหม้อแปลงให้วิ่งอยู่ในแกนเฟอร์ไรต์เท่านั้น แต่โดยเป็นจริงแล้วยังมีฟลักซ์บางส่วนสามารถวิ่งออกจากแกนตัดผ่านขดลวดได้ เรียกฟลักซ์เหล่านั้นว่า ฟลักซ์รั่ว (leakage flux)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบอร์ AWG (B. & S.)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (d)		ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางเมื่อ รวมฉนวน (d <sub>0</sub> )	พื้นที่หน้าตัด ปกติ	ค่าความต้าน ทานที่ 100°C	ระยะเย็บ ขีดต่ำสุด
	inch	mm	mm	mm <sup>2</sup>	(R <sub>d</sub> ) Ω/m	(l <sub>min</sub> ) mm
44	0,00198	0,0503	0,06604	0,00199	11,180	0,071
43	0,00222	0,0564	0,07366	0,00250	8,899	0,079
42	0,00249	0,0633	0,08128	0,00314	7,073	0,087
41	0,00280	0,0711	0,09144	0,00397	5,594	0,098
40	0,00314	0,0798	0,1041	0,00500	4,448	0,111
39	0,00353	0,0897	0,1143	0,00631	3,519	0,122
38	0,00397	0,1008	0,1295	0,00799	2,783	0,138
37	0,00445	0,1130	0,1448	0,01003	2,215	0,154
36	0,00500	0,1270	0,1626	0,0127	1,754	0,172
35	0,0056	0,1422	0,1778	0,0159	1,398	0,188
34	0,0063	0,1600	0,1981	0,0201	1,105	0,209
33	0,0071	0,1803	0,2235	0,0255	0,8700	0,236
32	0,0080	0,2032	0,2489	0,0324	0,6853	0,261
31	0,0089	0,2261	0,2743	0,0401	0,5537	0,287
30	0,0100	0,2540	0,3048	0,0507	0,4386	0,319
29	0,0113	0,2870	0,3404	0,0647	0,3435	0,356
28	0,0126	0,3200	0,3759	0,0804	0,2762	0,393
27	0,0142	0,3607	0,4191	0,1022	0,2175	0,438
26	0,0159	0,4039	0,4699	0,128	0,1735	0,491
25	0,0179	0,4547	0,5232	0,162	0,1369	0,547
24	0,0201	0,5105	0,5817	0,205	0,10860	0,608
23	0,0226	0,5740	0,6502	0,259	0,08586	0,679
22	0,0253	0,6426	0,7214	0,324	0,06852	0,754
21	0,0285	0,7239	0,8052	0,412	0,05399	0,841
20	0,0320	0,8128	0,8966	0,519	0,04283	0,937
19	0,0359	0,9119	1,003	0,653	0,03403	1,048
18	0,0403	1,024	1,118	0,823	0,02700	1,168
17	0,0453	1,151	1,247	1,040	0,02137	1,303
16	0,0508	1,290	1,389	1,308	0,01699	1,452
15	0,0571	1,450	1,557	1,652	0,01345	1,627
14	0,0641	1,628	1,737	2,082	0,010670	1,815
13	0,0720	1,829	1,943	2,627	0,008460	2,030
12	0,0808	2,052	2,172	3,308	0,006717	2,270
11	0,0907	2,304	2,431	4,168	0,005331	2,540
10	0,1019	2,588	2,720	5,261	0,004224	2,842

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดมาตรฐาน AWG และข้อมูลอื่นๆ ของขดลวดทองแดงอาน้ำยา

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การออกแบบหม้อแปลงสวิตช์ซึ่งให้มีความปลอดภัย จากภัยที่เกิดการเกิดไฟไหม้ กับภัยที่เกิดจากการถูกไฟฟ้าชุก

1. การเลือกวัสดุเพื่อความปลอดภัยจากการเกิดไฟไหม้

1.1 เทปฉนวน ไม่ว่าจะ เป็นกลุ่มใดจะต้องเลือกใช้ให้มีอัตราทนอุณหภูมิมากกว่า อุณหภูมิสูงสุดของลวดทองแดง ขณะหม้อแปลงทำงาน ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

class of insulation	typical ambient temp. °C	maximum operating temp. °C
0	40	90
A	40	105
B	75	130
F	75	155
H	85	180

ตารางที่ 2.2 การจัดกลุ่มของเทปฉนวนตามอัตราทนอุณหภูมิ (Thermal Strength)

1.2. บอบบิ้น ควรทำจากเม็ดพลาสติกที่เป็นวัสดุไม่ติดไฟ ตามมาตรฐานจะใช้วัสดุที่จัดอยู่ในกลุ่ม V-0, V-1 หรือ V-2 (มาตรฐาน IEC) โดยทั่วไปผู้ผลิตบอบบิ้นมักเลือกใช้วัสดุที่ผ่านมาตรฐานทดสอบของ UL (UL94) เช่น วัสดุในกลุ่ม 94V-0, 94V-1 และ 94V-2 เป็นต้น

2. การชดเชยเพื่อความปลอดภัยจากการถูกไฟฟ้าชุก ควรพิจารณาดังต่อไปนี้

2.1 แยกส่วนระหว่างขดไฟรมารี่ กับส่วนเซคชั่นคาร์รี่ที่ขาของบอบบิ้น

2.2 แยกส่วนระหว่างขดไฟรมารี่ กับส่วนเซคชั่นคาร์รี่ด้วยเทปฉนวน

Product Number	Description	Thickness (mm)	Length (m)	Adhesion (Kg/1")	Tensile Strength (Kg/1")	Elongation (%)	Break-down Voltage (kV)	Insulation class (°C)	Features
IF5X	PVC WIRE HARNESS TAPE	0.13	20	0.5	5	200	5	80	Soft and flexible, good workability on automotive wiring harness. Black color.
IU79	PVC WIRE HARNESS TAPE	0.13	10	0.5	5	200	5	80	Mat surface, black color. High elongation and maximum conformability for wiring harness.
33946	PVC ELECTRICAL INSULATING TAPE	0.13	10	0.5	5	200	5	80	Extremely flexible, good adhesion. For wire and cable insulation, bundling and reinforcing, assorted colors for color coding of cables.
		0.15			6		6		
		0.18			7		7		
33946FR	PVC ELECTRICAL INSULATING TAPE	0.15	20	0.5	6	200	6	80	Flame retardant version 33946, meets British standard BS-3924.
		0.20			8		8		
33546	PVC ELECTRICAL INSULATING TAPE	0.18	20	0.5	7	200	7	80	Good conformability, no flaking or deterioration. 7 colors available. Same uses as 33946. Meets UL & CSA standards.
		0.20			8		8		
33146	PVC ELECTRICAL INSULATING TAPE	0.18	20	0.5	7	200	7	80	Good adhesion, flame retardant. Black color. Same uses as 33946. Meets UL, Semko, Nemko, Demko standards.
		0.20			8		8		
		0.25			10		10		
33146+	PVC ELECTRICAL INSULATING TAPE	0.20	20	0.5	8	200	8	80	Excellent adhesion even in cold weather, flame retardant. Black color Meets Semko standard.
33646	PVC ELECTRICAL INSULATING TAPE	0.18	20	0.5	7	200	7	80	Flame retardant, cold and weather resistant. Black color. Same uses as 33946. Meets UL & CSA standards.
		0.19			7.5		7.5		
		0.20			8		8		
33647	PVC ELECTRICAL INSULATING TAPE	0.15	33	0.39	6	200	6	90	Meets VDE 0340 type K-10 German standard, special tape for electrical installations. Black and grey colors at present.
		0.20			8	200	8		
SF07	SELF FUSING TAPE	0.50	10	—	—	600	14	80	Butyl rubber tape suitable for electrical insulation, cable splicing and terminating. Meets UL-510 standard.
SF06	SELF FUSING TAPE	0.76	10	—	—	500	15	80	Same uses as SF07 but with flame retardant property.
ACO	ACETATE CLOTH TAPE	0.22	25	0.8	9.5	8	1.7	105	Thermosetting rubber adhesive, applications in the construction of electrical equipments for insulation.
GL06	GLASS CLOTH TAPE	0.19	55	1.0	50	5	3	180	Silicone adhesive, good solvent resistant, high dielectric strength. Flame retardant.
GL15	GLASS CLOTH TAPE	0.19	55	0.8	50	5	2	155	Acrylic adhesive, good ageing characteristic, solvent resistant.
GL27	GLASS CLOTH TAPE	0.19	55	1.2	50	5	2.5	130	Rubber adhesive, edge-tear resistance, good conformability.
KA00	KAPTON TAPE	0.06	33	0.7	14	50	6.5	180	Silicone adhesive, for high temp masking, insulating, component packaging.
MY0	POLYESTER TAPE	0.065	66	1.3	9	70	5	120	0.025mm polyester film, rubber adhesive, most suitable for use with greased wires.
MY1	POLYESTER TAPE	0.06	20 50	0.6	9	80	4	130	0.025mm polyester film, acrylic adhesive, good solvent resistant.
MY7	POLYESTER TAPE	0.093	66	0.8	18	70	8	130	0.05mm polyester film, light dielectric strength, good solvent resistant.
MY9	POLYESTER TAPE	0.063	66	0.8	9	80	4	130	Acrylic adhesive, solvent resistant, flame retardant.
NM10	NOMEX PAPER TAPE	0.10	50	1.0	10	5	2	155	Excellent solvent resistant, economical, thin, high dielectric strength.

### ตารางที่ 2.8 แสดงตัวอย่างคุณสมบัติเทปฉนวนจากตารางเทปฉนวนที่มีคุณสมบัติไม่ติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษา การศึกษาเท่านั้น ไม่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (Flame Retardant) ได้แก่ เทปฉนวนเบอร์ MY9 เป็นต้น

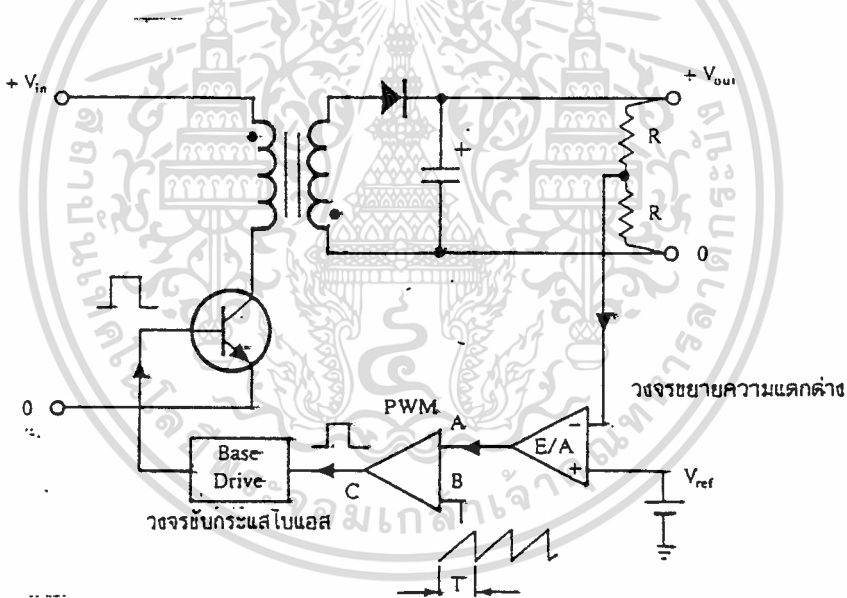
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาควงจรควบคุม**

เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์เกือบทุกแบบ จะคงค่าแรงดันเอาต์พุตได้ด้วยการควบคุม ช่วงเวลานำกระแส  $t_{ON}$  ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นวงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปจึงนิยมใช้ เทคนิคพัลส์วิดโมดูเลชัน (Pulse Width Modulation ; PWM) เป็นหลัก การใช้ PMW เมื่อควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์สามารถทำได้ในสองลักษณะการทำงานของวงจรถูกควบคุมคือ

**1. วงจรถูกควบคุมในโหมดควบคุมแรงดัน (Voltage Mode Control)**

การทำงานของวงจรถูกควบคุมในโหมดนี้ จะต้องอาศัยการตรวจจัดการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันที่เอาต์พุตมาควบคุม ช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพื่อในการคงค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นหลัก

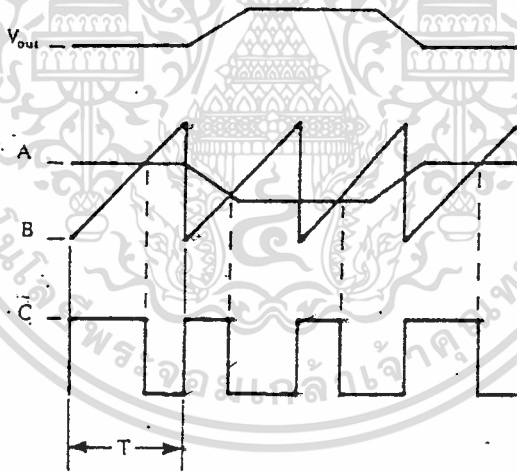


**รูปที่ 2.18 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดัน**

จากรูป วงจรถูกควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  ของวงจรเพื่อตรวจจัดการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เอาต์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่าง E/A ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยาย ความแตกต่าง E/A ที่ตำแหน่ง A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อยที่ตำแหน่ง B ของ PWM อีกครั้งหนึ่ง เอาต์พุตที่ได้จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมซึ่งมีค่าคงที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อย และมีความกว้างของพัลส์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไม่กว้างเกินไปทุกทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปตามผลของมอดูเลชันของค่าแรงดัน ที่ตำแหน่ง A และ B ค่าความกว้างของพัลส์นี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์

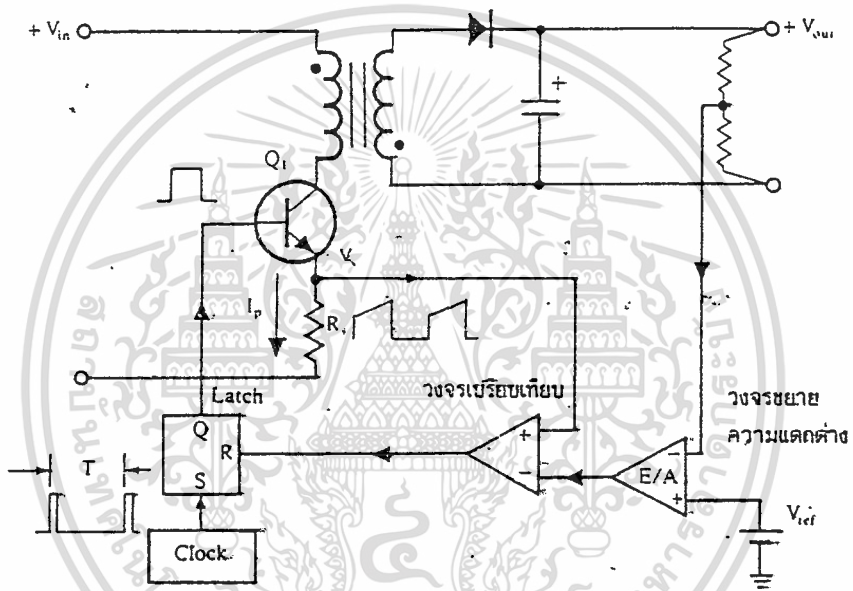
เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรรขยายความแตกต่าง E/A ที่ขาอินเวอร์ตติง ผลต่างของแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอ้างอิงที่จุด A จึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่  $180^\circ$  กล่าวคือเมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้น แรงดันที่อยู่ที่ A มีค่าลดลง ความกว้างของพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าลดลงด้วย และช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $t_{ON}$  ก็จะมีค่าลดลง ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง แรงดันที่อยู่ที่ A จะมีค่าเพิ่มขึ้น ความกว้างของพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าเพิ่มขึ้น  $t_{ON}$  ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้คอนเวอร์เตอร์สามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตเอาไว้ได้ ตัวอย่างไอซีที่ใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดันได้แก่เบอร์ MC 34060, MC34166 และ TL494 เป็นต้น



รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะของความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของ PWM ซึ่งเป็นผลมาจากการมอดูเลตสัญญาณป้อนกลับและสัญญาณฟันเลื่อย

## 2. วงจรควบคุมในโหมดควบคุมกระแส (Current Mode Control)

การคงค่าแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ด้วยวงจรควบคุมในโหมดควบคุมกระแส มีข้อดีหลายประการนอกเหนือจากโหมดควบคุมแรงดัน จึงเป็นวงจรควบคุมอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก อย่างไรก็ตาม วงจรควบคุมในโหมดควบคุมกระแสนี้ก็ยังคงใช้เทคนิคฟัลส์วิดมอดูเลชันเช่นกัน

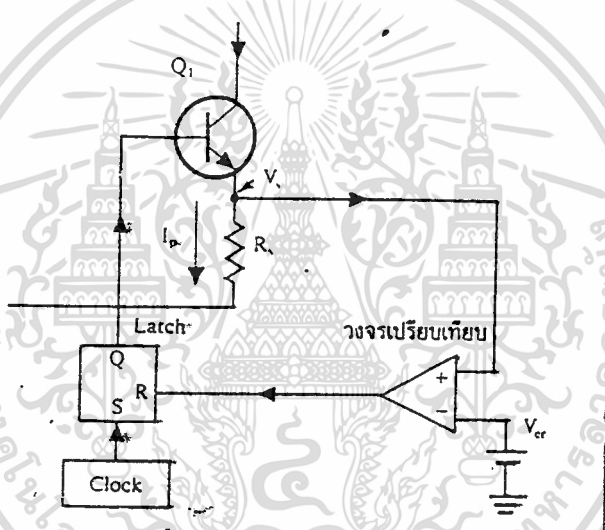


รูปที่ 2.20 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากกระแส

เพื่อให้ง่ายแก่การพิจารณาการทำงานของวงจรเราแยกกิจการทำงานของวงจรควบคุมด้วยการตัดวงจรขยายความแตกต่าง E/A ออกไปก่อน และกำหนดขาอินเวอร์ตติงของวงจรเปรียบเทียบให้ต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  วงจร Latch จะทำงาน โดยขา Q ของ วงจร Latch จะมีสถานะเป็น "High" เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา S และขา Q จะมีสถานะเป็น "Low" เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา R

เมื่อวงจรทำงาน วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา จะให้กำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีคาบเวลาคงที่ไปกระตุ้นที่ขา S ของ วงจร Latch ขา Q จะมีสถานะเป็น "High" เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ก็จะเริ่มนำกระแส เมื่อ  $Q_1$  นำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านขดไฟโรมารี่และตัวต้านทาน R, ที่ต่ออนุกรมไว้กับ  $Q_1$  ทำให้เกิดแรงดัน  $V_s$  ตกคร่อมที่ตัวต้านทาน R, ด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันตกคร่อม  $R_1$  ที่เกิดขึ้นจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง  $V_{cr}$  ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน  $R_2$  นั่นเอง ถ้าค่าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น แรงดัน  $V_1$  จะเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิง  $V_{cr}$  ได้เร็วขึ้นด้วย ทำให้ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ลดลง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีช่วงเวลานำกระแสลดลง ในทางกลับกัน ถ้าค่าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าลดลง แรงดัน  $V_1$  จะเพิ่มขึ้นได้ช้า ให้ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์จึงเพิ่มขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีช่วงเวลานำกระแสมากขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าเมื่อโวลตจที่ คอนเวอร์เตอร์จะสามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุตได้ โดยไม่ต้องอาศัยการป้อนกลับแรงดันที่เอาต์พุตเลย ทำให้คอนเวอร์เตอร์ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.21 แสดงวงจรควบคุมเมื่อตัดวงจรขยายความแตกต่างออก และกำหนดแรงดันอ้างอิง  $V_{cr}$  ที่ขาอินเวอร์ตของวงจรเปรียบเทียบแทน

พิจารณาคircuit วงจรอีกครั้งโดยต่อวงจรขยายความแตกต่าง E/A เพิ่มเข้ามา วงจรลักษณะนี้เมื่อแรงดันเอาต์พุตลดลง เอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่ามากขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ จะใช้เวลานำกระแสมากขึ้นด้วยเพื่อให้ค่าแรงดัน  $V_1$  มากกว่าแรงดันที่เอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A ในทางกลับกันเมื่อแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น เอาต์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่าลดลง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงใช้เวลานำกระแสลดลงด้วย ดังนั้นคอนเวอร์เตอร์จะสามารถคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตเอาไว้ได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่โวลตจ

จากลักษณะการทำงานดังกล่าวทำให้วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแสมี

ข้อดีมากกว่าวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน ดังนี้ คือ 1. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้รวดเร็วกว่า ทำให้ลดปัญหาการคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตเมื่อเกิดทรานเซียนต์และการกระเพื่อมของแรงดันสูงที่แรงดันอินพุต เพราะไม่ต้องรอสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุต

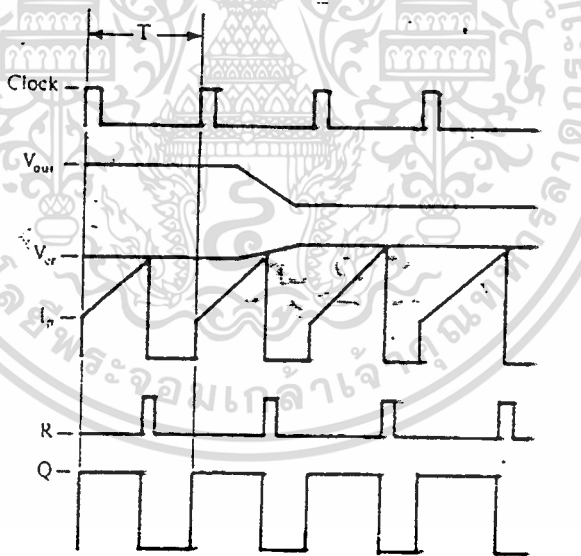
2. สามารถป้องกันกระแสไหลลเกินได้ ด้วยการจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่ขดไฟรมารี่ ในลักษณะพัลส์ต่อพัลส์อย่างรวดเร็ว

3. ให้ค่าไลน์เรกูเลชันที่ดีมาก

4. โดยการจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่ขดไฟรมารี่ ปัญหาการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็กของ พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์จะไม่เกิดขึ้น

5. สามารถต่อขนานคอนเวอร์เตอร์หลายชุดเข้าด้วยกันได้ เพื่อให้จ่ายกระแสได้มากขึ้น และกระแสเฉลี่ยที่คอนเวอร์เตอร์แต่ละชุดจะมีค่าเท่ากัน

ตัวอย่าง ไอซีที่ใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากกระแสได้แก่ เบอร์ UC 3842/3/4/5, MC34023 และ MC34129 เป็นต้น



รูปที่ 2.22 แสดงลักษณะการทำงานที่จุดต่างๆของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมกระแส

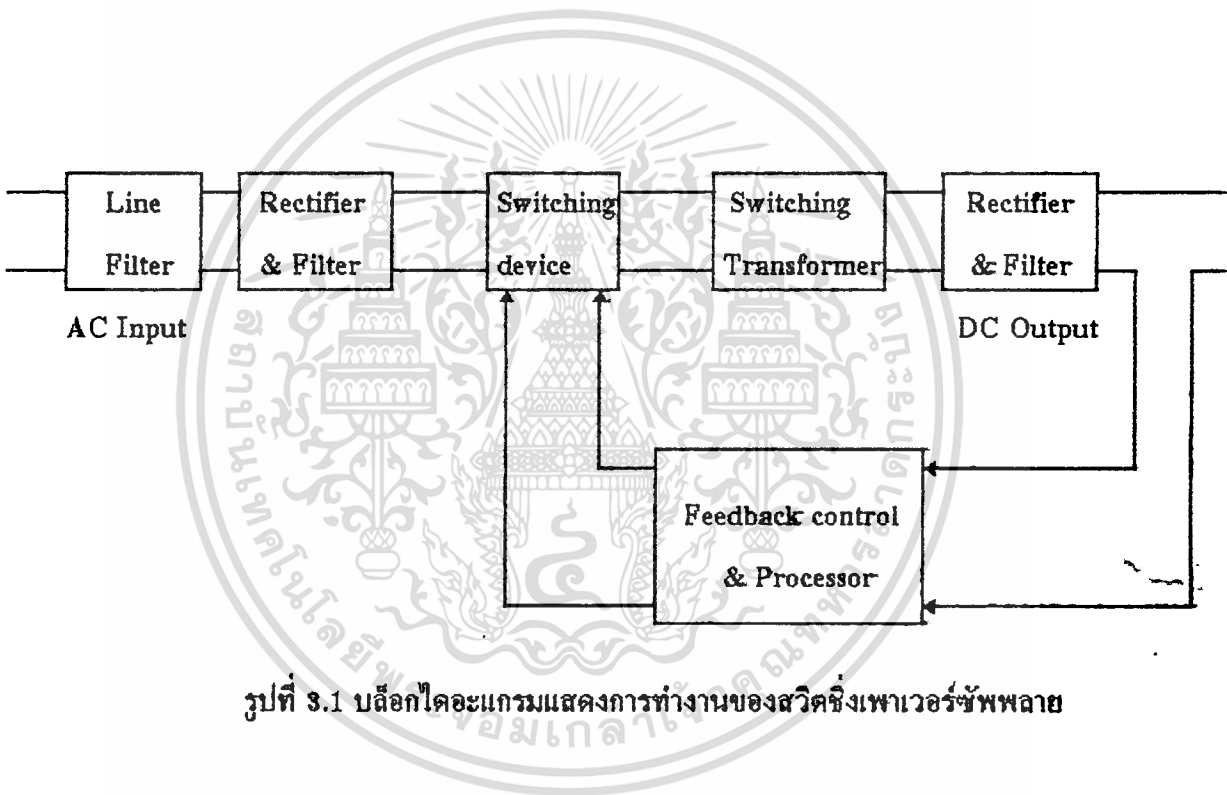
## บทที่ 3

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

##### 3.1.1 วงจรที่ใช้ทดลอง

สามารถแสดงดังบล็อกไดอะแกรมของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ทำการศึกษาค้นคว้าได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

ส่วนของอินพุต (Input Component) จะประกอบด้วย

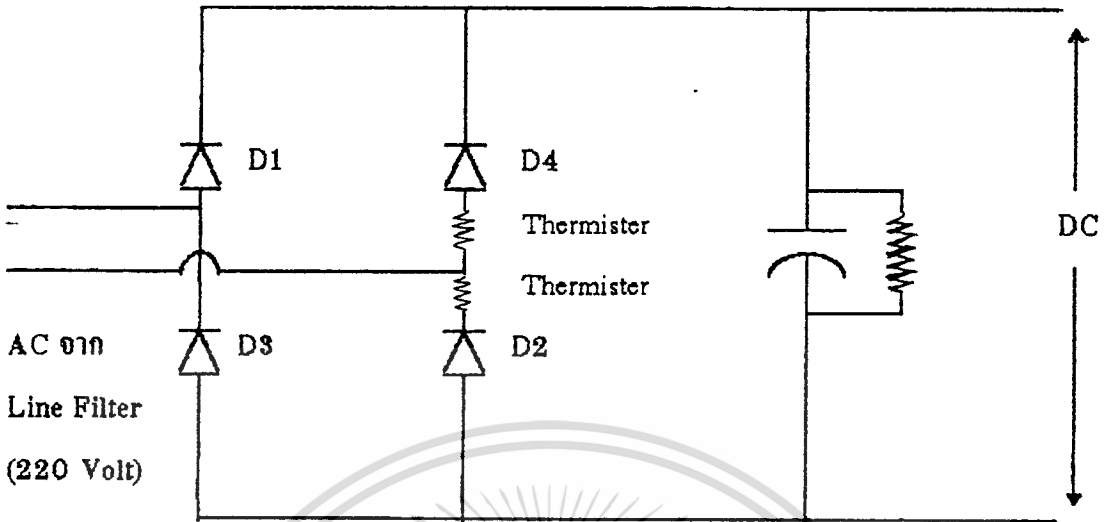
#### 1. ไลน์ฟิลเตอร์ (Line Filter)

ไลน์ฟิลเตอร์ ใช้สำหรับกรองสัญญาณรบกวนของเครื่องสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจากแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor) กับ ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

#### 2. เรกติไฟเออร์ (Rectifier)

เรกติไฟเออร์ เป็นวงจรเรียงกระแสใช้สำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรง

ดันไฟฟ้ากระแสตรง แสดงได้ดังรูป

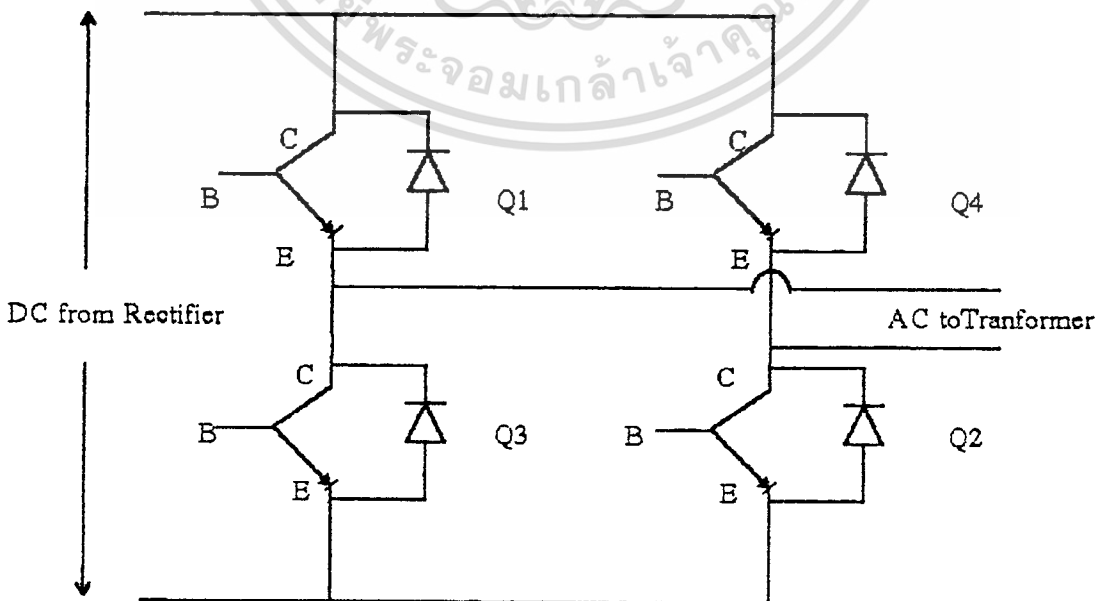


รูปที่ 3.2 แสดงส่วน อินพุต เรกติไฟเออร์ ของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

ส่วนของสวิตชิง (Switching Component) จะประกอบด้วย

1. เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Power Transistor)

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ จะทำหน้าที่คอยตัดต่อแรงดันออกเป็นช่วงๆด้วยความถี่สูง ประมาณ 20-200 กิโลเฮิรตซ์ แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.3 แสดงส่วนสวิตชิงโดยใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

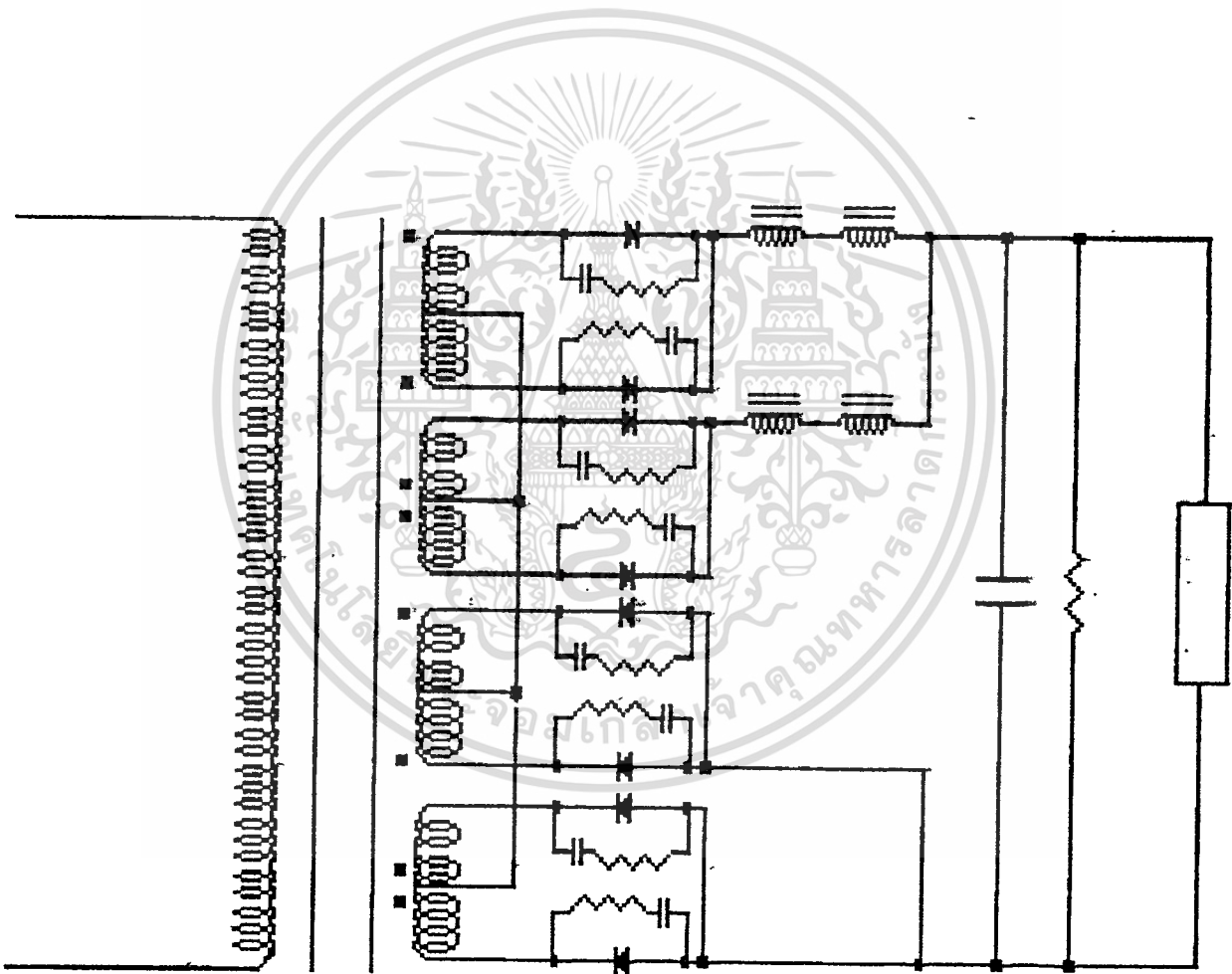
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. สวิตชิง ทรานฟอร์มเมอร์ (Switching Transformer)

สวิตชิง ทรานฟอร์มเมอร์ จะทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟสลับที่ความถี่สูงให้มีค่าต่ำลง

## 3. เรกติไฟเออร์และฟิลเตอร์ (Rectifier & Filter)

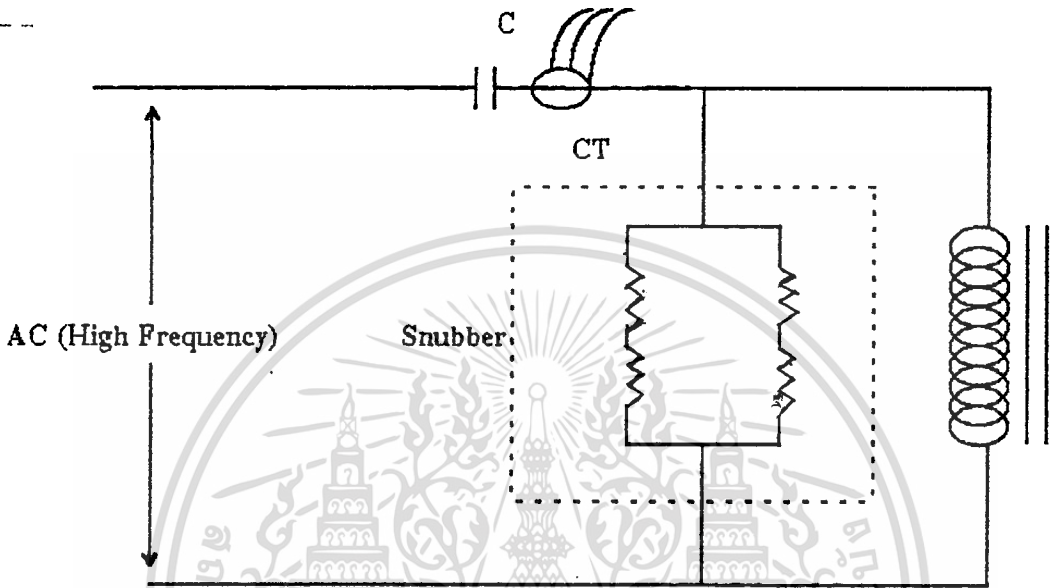
เรกติไฟเออร์ทำหน้าที่แปลง ระดับแรงดันต่ำของไฟกระแสสลับให้อยู่ในรูปของแรงดันต่ำของไฟกระแสตรง ส่วนฟิลเตอร์จะคอยเรียงกระแสและกรองแรงดันให้เรียบ



ส่วนของวงจรควบคุม ประกอบด้วย

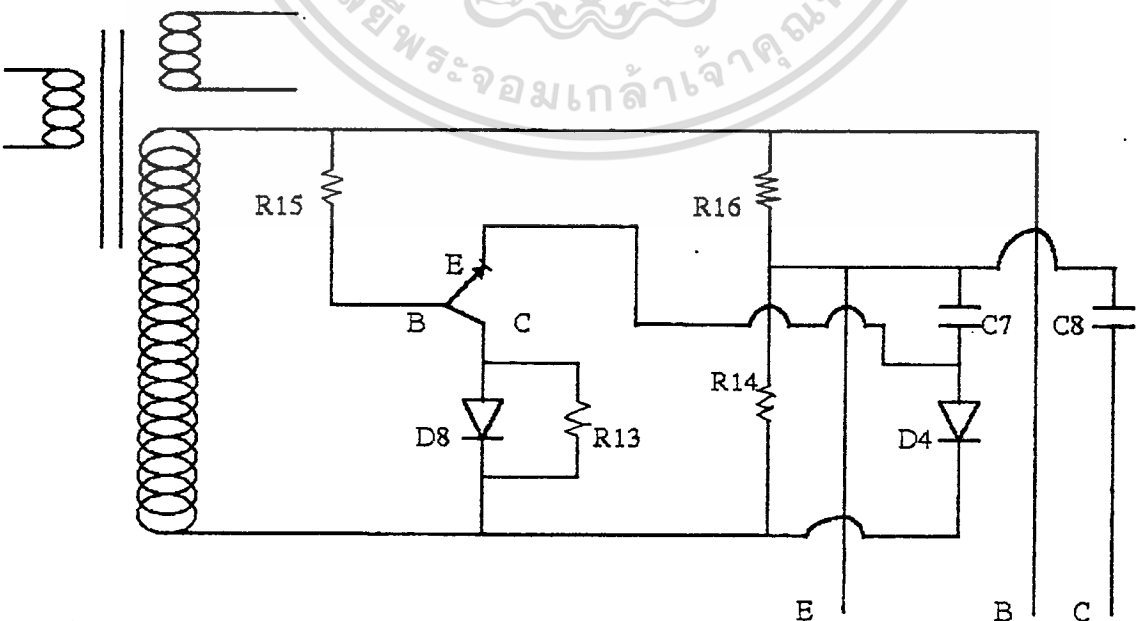
1. วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส (Current Mode Control)

1.1 วงจรป้องกันกระแสเกิน (Over current Protection)



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรการตรวจสอบกระแสเพื่อป้องกันกระแสเกิน

1.2 วงจรขับกระแสเบส



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรขับกระแสเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น กรุณาอย่าได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ผลการทดลอง

1. ได้ทำการทดลองจ่ายโหลด ด้วยสวิทซ์เพาเวอร์ซัพพลาย ที่มีขนาดประมาณ 1.5 กิโลวัตต์ พร้อมกับวัดค่าแอมป์เตอร์ทั้งด้านอินพุตและด้านเอาต์พุต พร้อมกับคำนวณหาค่า ประสิทธิภาพ, เพาเวอร์แฟกเตอร์ และ ค่าของเรกกูเลชัน ของเครื่อง ซึ่งแสดงผลการทดลองดังตารางต่อไปนี้

% LOAD	INPUT			OUTPUT			COS $\phi$	EFF	หมายเหตุ
	V(Volt)	A(Amp)	P (kW)	V(Volt)	A(Amp)	P (kW)			
Noload	223	0.58	0.08	12	0	0.00	0.62	0.00	
20	226	2.80	0.40	12	20	0.24	0.63	0.60	%Reg
40	224	5.04	0.69	12	40	0.48	0.61	0.70	มีค่า
60	221	7.20	1.00	12	60	0.72	0.63	0.72	น้อย
80	220	9.46	1.32	12	80	0.96	0.63	0.73	มาก
100	220	11.55	1.63	12	100	1.20	0.64	0.74	
Overload	220	13.70	2.00	12	***	***	0.66	***	

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการทดสอบโหลดของสวิทซ์เพาเวอร์ซัพพลาย

จากตารางผลการทดลอง สามารถนำมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง

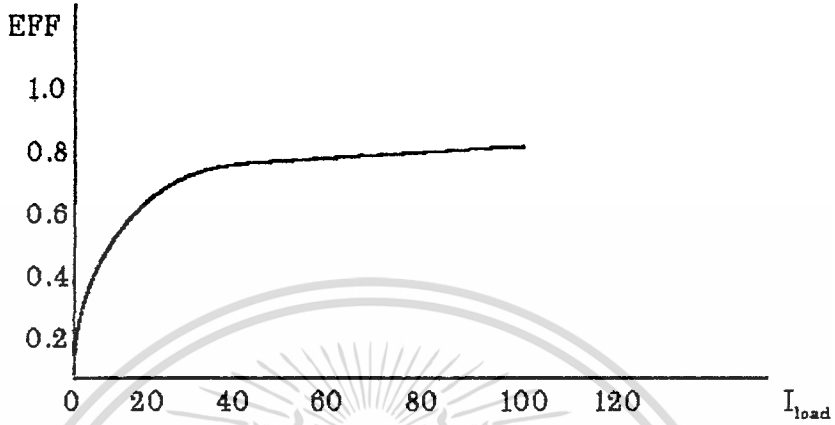
1. EFFICIENCY -  $I_{LOAD}$
2.  $I_{IN}$  -  $I_{LOAD}$
3. POWER FACTOR -  $I_{LOAD}$

$$\text{เมื่อ } \text{EFF} = \frac{\text{OUTPUT POWER}}{\text{INPUT POWER}} \quad \text{และ} \quad \text{REG} = \frac{(\text{VOLTAGE}(\text{noload}) - \text{VOLTAGE}(\text{load}))}{\text{VOLTAGE}(\text{load})}$$

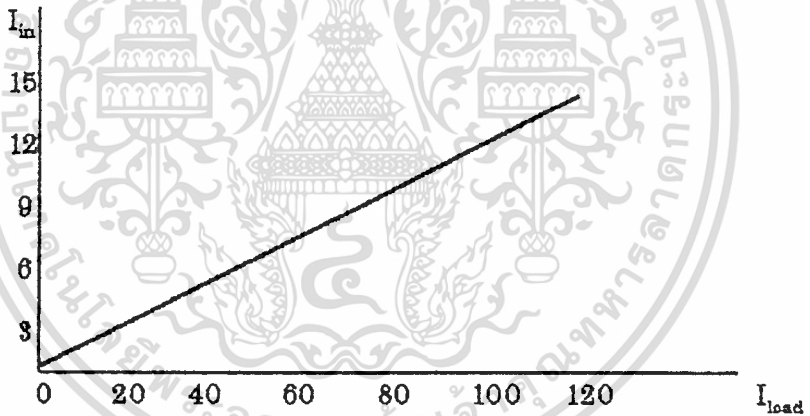
กราฟที่วัดได้จาก สโคป ณ ระดับค่าแรงดันของเอาต์พุตต่าง ๆ กัน

1. คลื่นของแรงดันตกคร่อมขา Collector-Emitter ( $V_{CE}$ ) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์
2. คลื่นของแรงดันทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง ( $V_{in}$ )
3. คลื่นของกระแสที่ไหลผ่านขาเบส ( $I_B$ ) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

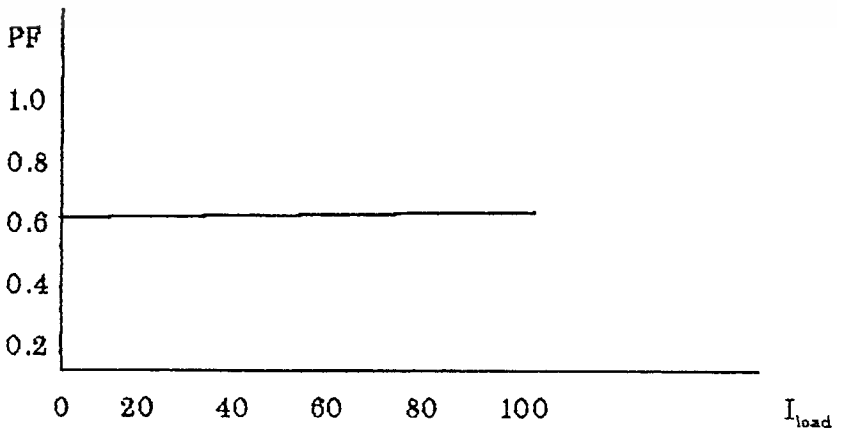
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ก EFFICIENCY -  $I_{load}$



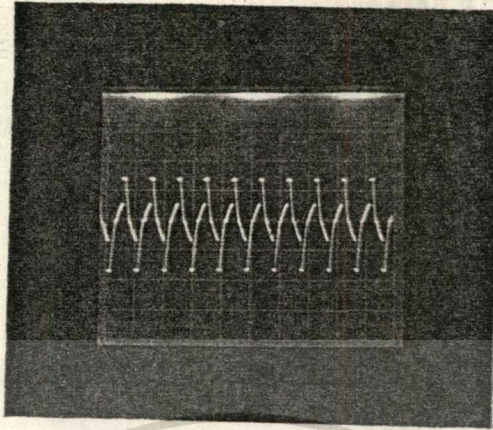
รูปที่ 3.7 ข  $I_{in} - I_{load}$



รูปที่ 3.7 ค POWER FACTOR -  $I_{load}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Time/Div 50  $\mu$ s

Volt/Div 100 V

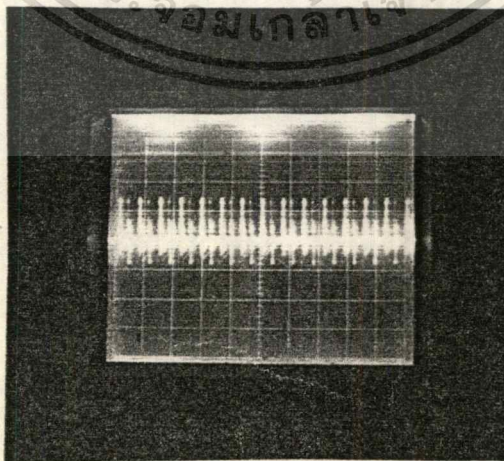
ก. กราฟของแรงดันที่ตกคร่อมขา Collector-Emitter ( $V_{CE}$ ) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์



Time/Div 50  $\mu$ s

Volt/Div 100 V

ข. กราฟของแรงดันทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง ( $V_{in}$ )



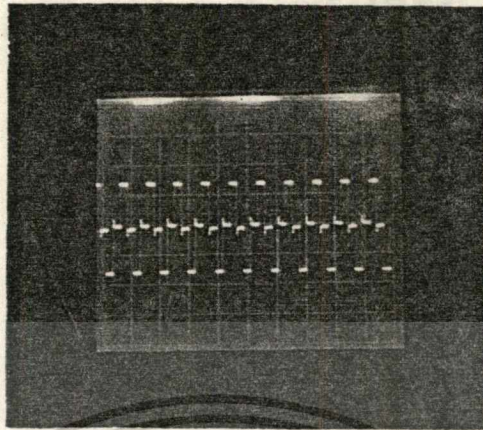
Time/Div 50  $\mu$ s

Volt/Div 2 V

ค. กราฟของกระแสที่ไหลผ่านขาเบส ( $I_B$ ) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

รูปที่ 3.8 แสดงถึงกราฟ  $V_{CE}$  และ  $V_{in}$  ที่ Noload

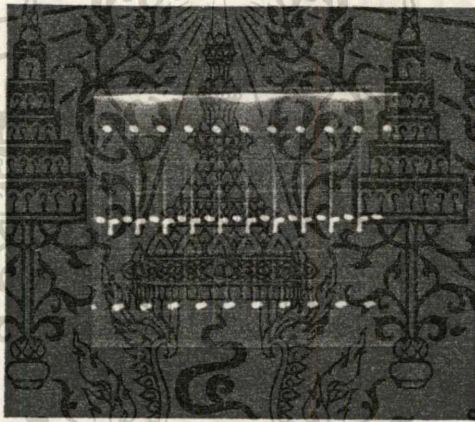
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Time/Div 50  $\mu$ s

Volt/Div 100 V

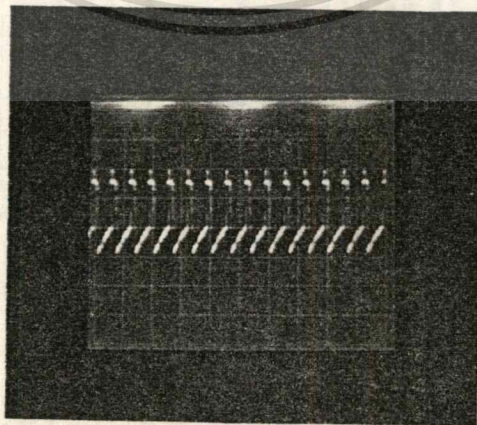
ก. กราฟของแรงดันที่ตกคร่อมขา Collector-Emitter ( $V_{CE}$ ) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์



Time/Div 50  $\mu$ s

Volt/Div 100 V

ข. กราฟของแรงดันทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง ( $V_m$ )



Time/Div 50  $\mu$ s

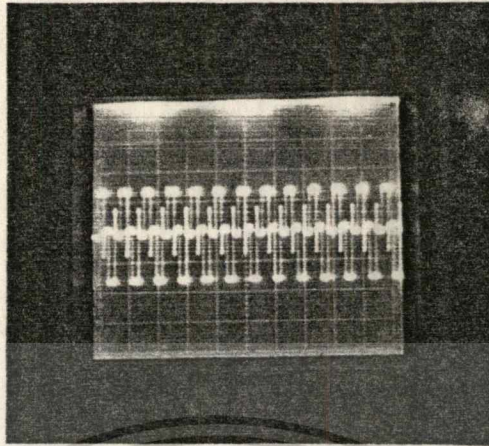
Volt/Div 2 V

ค. กราฟของกระแสที่ไหลผ่านขาเบส ( $I_B$ ) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

รูปที่ 3.9 แสดงถึงกราฟ  $V_{CE}$  และ  $V_m$  ที่ค่ากระแส 20 แอมแปร์

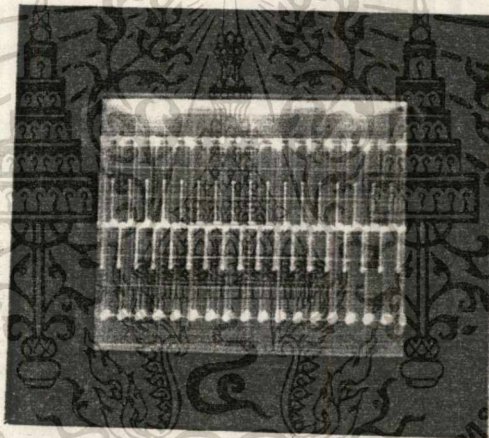
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดที่เห็นใจประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



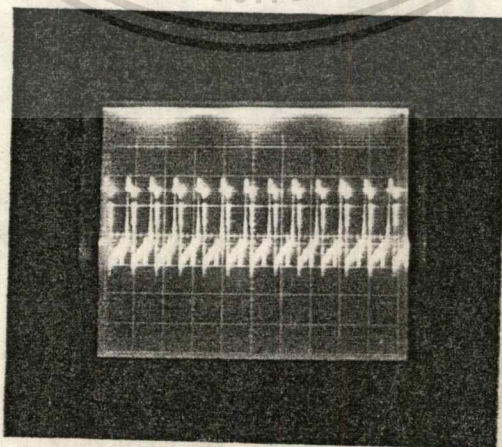
Time/Div 50  $\mu$ s  
 Volt/Div 100 V

ก. กราฟของแรงดันที่ตกคร่อมขา Collector-Emitter ( $V_{CE}$ ) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์



Time/Div 50  $\mu$ s  
 Volt/Div 100 V

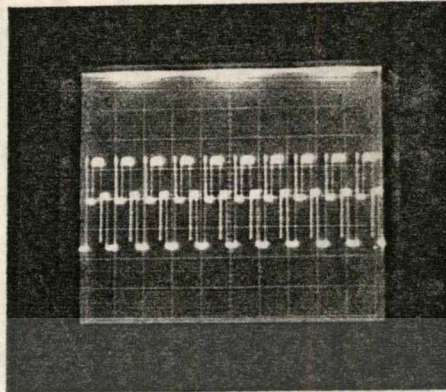
ข. กราฟของแรงดันทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง ( $V_m$ )



Time/Div 50  $\mu$ s  
 Volt/Div 2 V

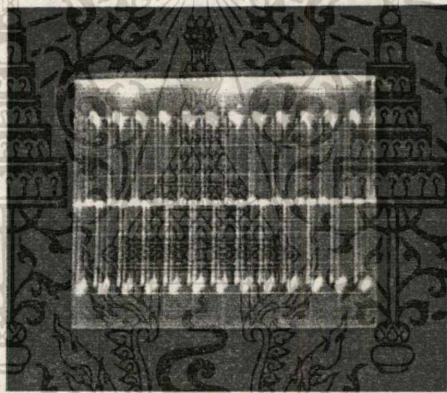
ค. กราฟของกระแสที่ไหลผ่านขาเบส ( $I_B$ ) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเขียนเพื่อวัตถุประสงค์อื่น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาเว็บไซต์ได้ดำเนินการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time/Div 50  $\mu$ s

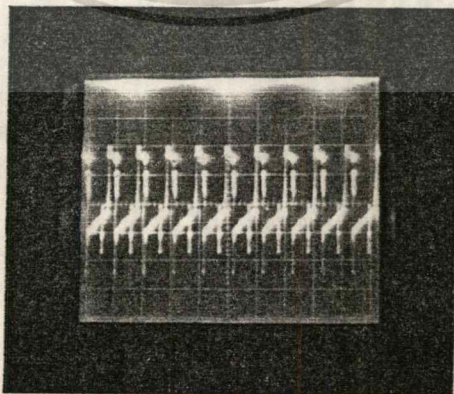
Volt/Div 100 V

ก. กราฟของแรงดันที่ตกคร่อมขา Collector-Emitter ( $V_{CE}$ ) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

Time/Div 50  $\mu$ s

Volt/Div 100 V

ข. กราฟของแรงดันทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง ( $V_m$ )

Time/Div 50  $\mu$ s

Volt/Div 2 V

ค. กราฟของกระแสที่ไหลผ่านขาเบส ( $I_B$ ) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์รูปที่ 3.11 แสดงถึงกราฟ

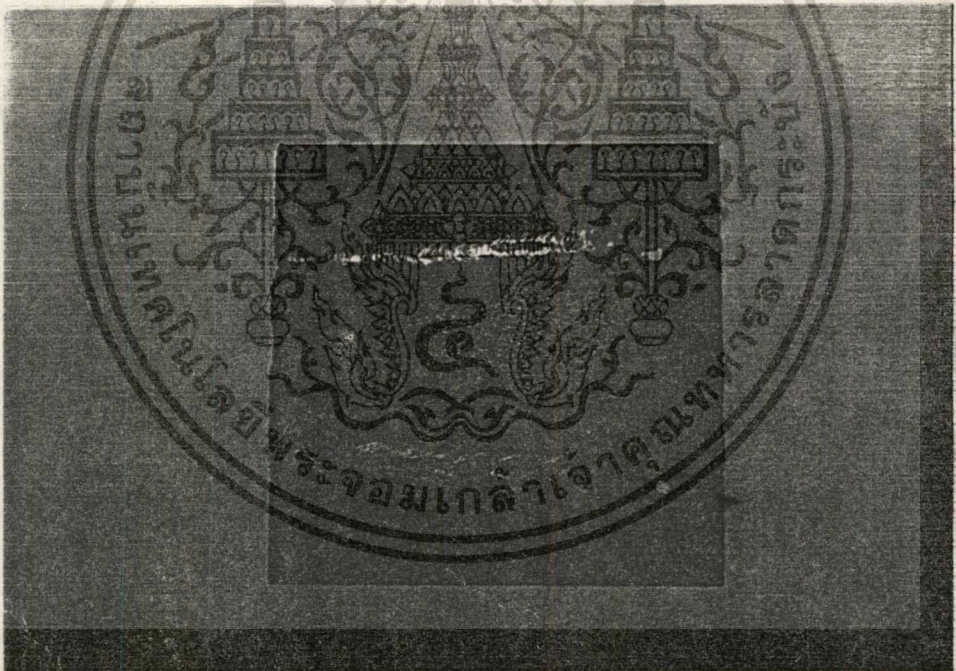
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $V_{CE}$  และ  $V_m$  ที่ค่ากระแส 100 แอมแปร์ เพื่อให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ได้ทำการทดลองเชื่อมวัสดุชิ้นงานด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีขนาดประมาณ 6 กิโลวัตต์ โดยอาศัยหลักการของ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งให้ผลการทดลองเชื่อมดังต่อไปนี้

ขณะเปิดวงจร	ขณะเชื่อม	
	V(VOLT)	A(AMP)
$V_{open}$		
40	16-20	60-70
50	20-24	70-80
60	24-28	75-85

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดลองเชื่อม



รูปที่ 3.15 เปรียบเทียบระหว่างรอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงกับไฟกระแสสลับ

## บทที่ 4

## สรุปและวิจารณ์

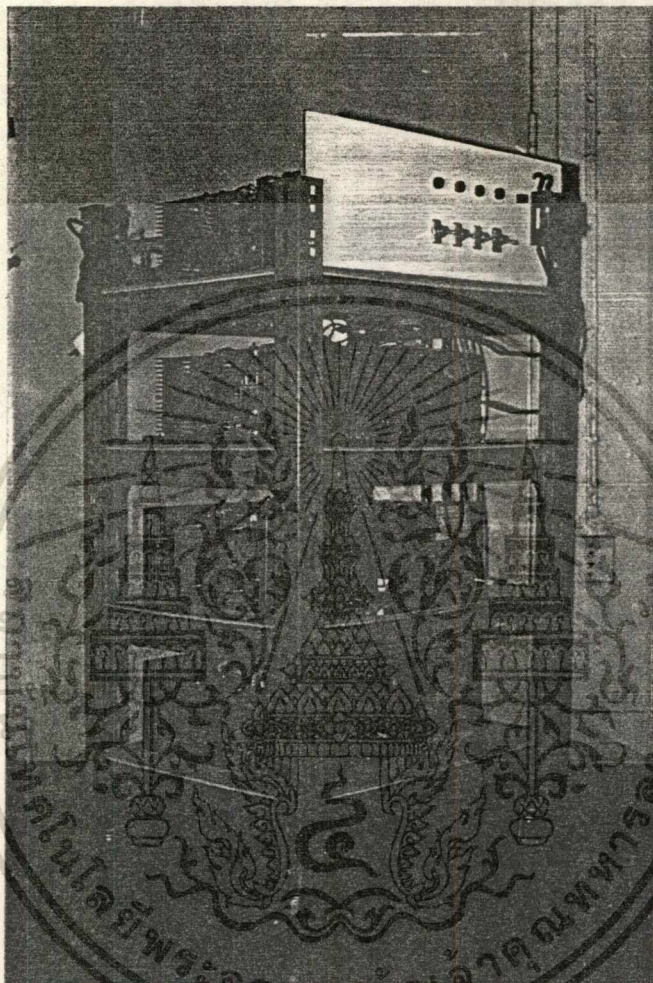
เครื่องเชื่อมไฟฟ้าที่ได้ทำการออกแบบเป็นลักษณะของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง โดยอาศัยหลักการของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ที่ให้กระแสเอาต์พุตคงที่ในขณะที่เชื่อม ทำให้ง่ายต่อการอาร์ค, การควบคุมระยะอาร์ค และระยะซึมลึกของผิวชิ้นงาน โดยอาจกล่าวได้ว่า เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง ที่อาศัยหลักการของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย จะให้ประสิทธิภาพ (Efficiency) สูงกว่าเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับกับเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่อาศัยหลักการของลิเนียร์เพาเวอร์ซัพพลาย และยังให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของเรกกูเลชัน (%Regulation) ที่ต่ำกว่า

นอกจากนี้ เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง ที่อาศัยหลักการของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ยังสามารถนำมาประยุกต์ให้มีขนาดกะทัดรัด, มีน้ำหนักเบา โดยการออกแบบในส่วน ของสวิตชิง (Switching component) ใหม่ เพื่อให้เหมาะสำหรับการพกพาโดยสะดวก สำหรับการใช้งานตามสถานที่ต่างๆ



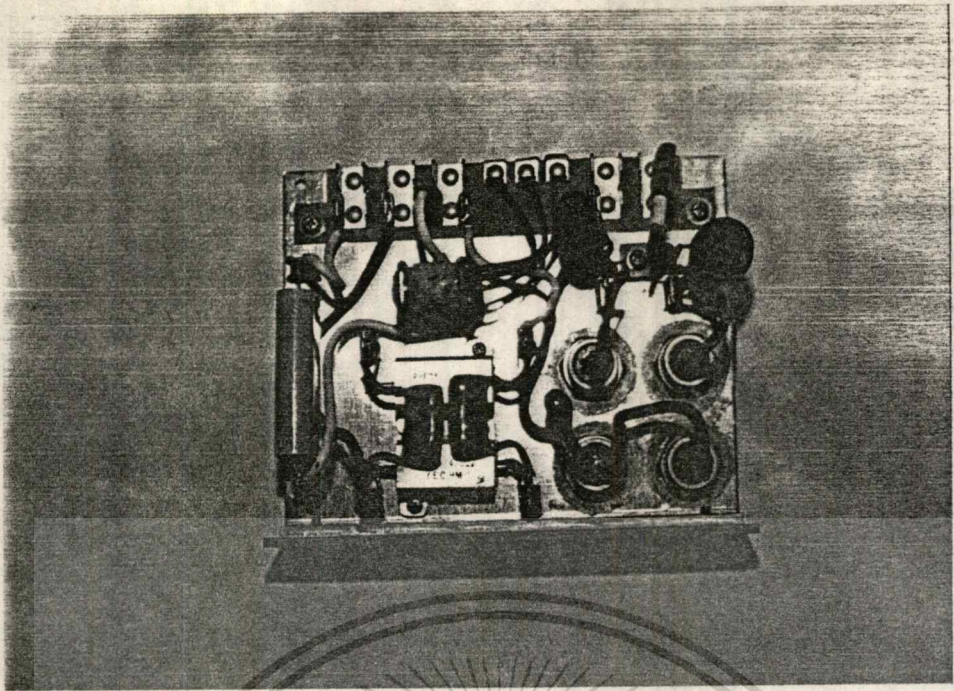
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงวงจรส่วนประกอบต่างๆของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

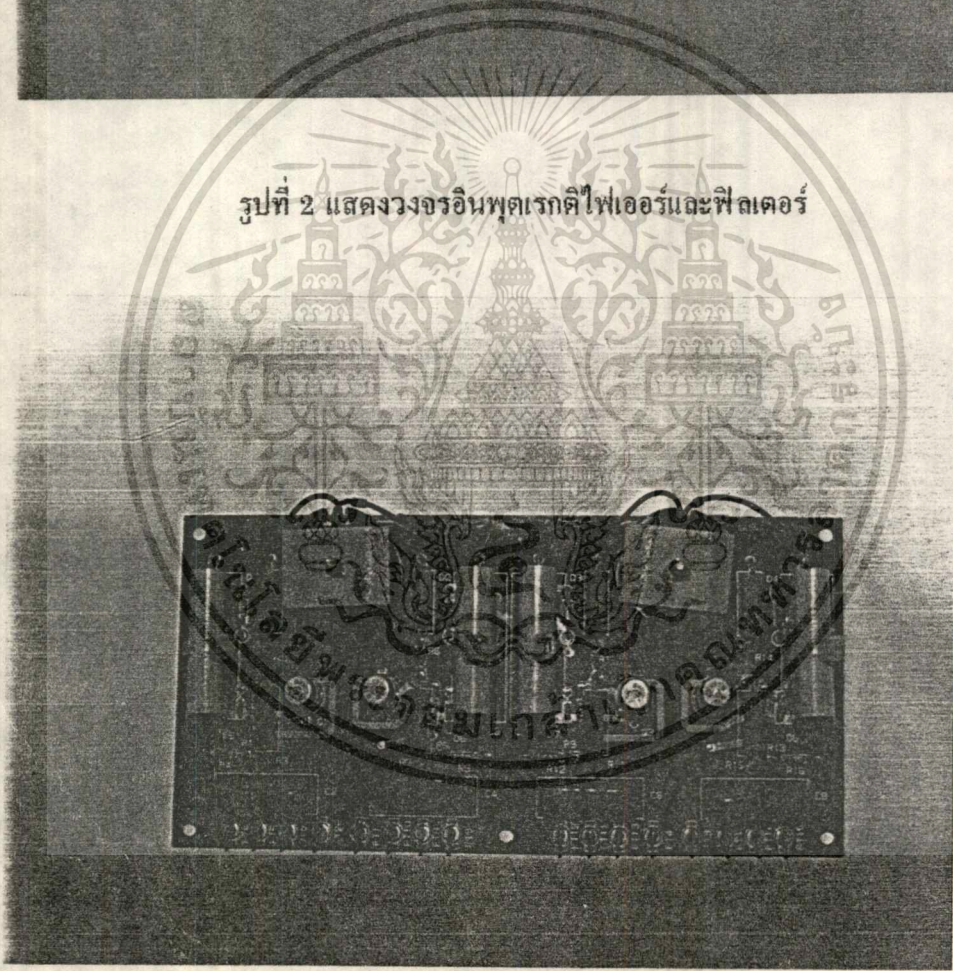


รูปที่ 1 แสดงเครื่องเชื่อมที่ใช้หลักการของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

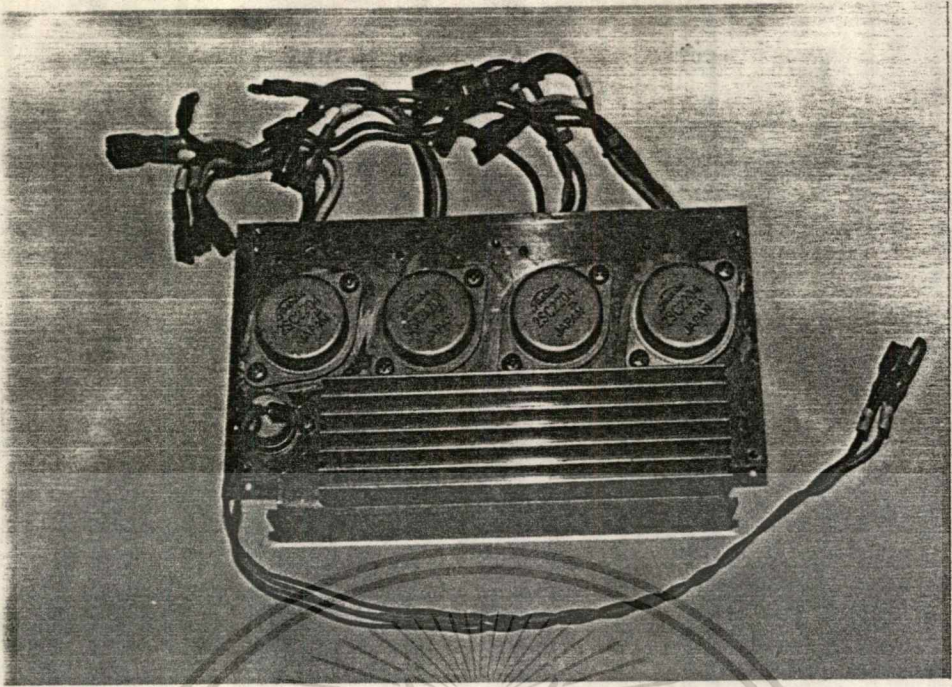


รูปที่ 2 แสดงวงจรอินพุตเรกติไฟเออร์และฟิลเตอร์

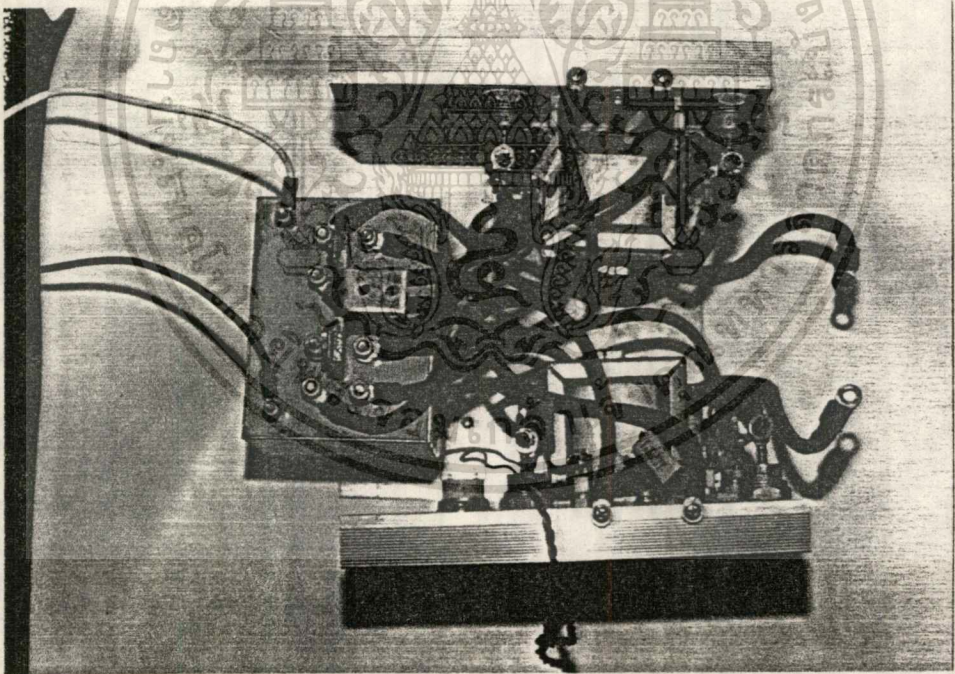


รูปที่ 3 แสดงวงจรขับเคลื่อนของสวิทซ์ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

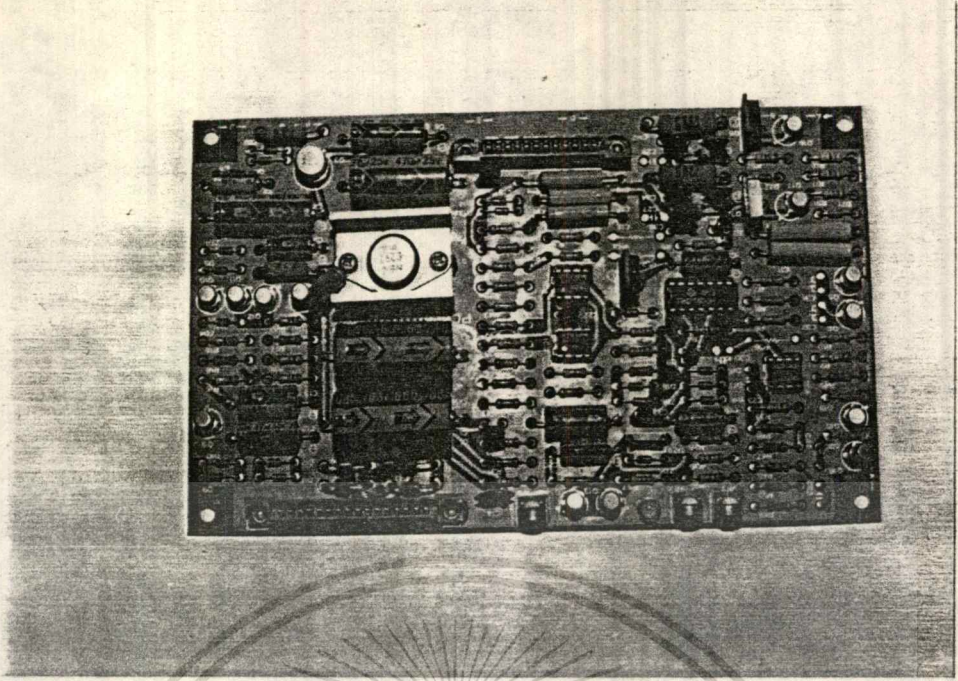


รูปที่ 4 แสดงวงจรสวิตชิง

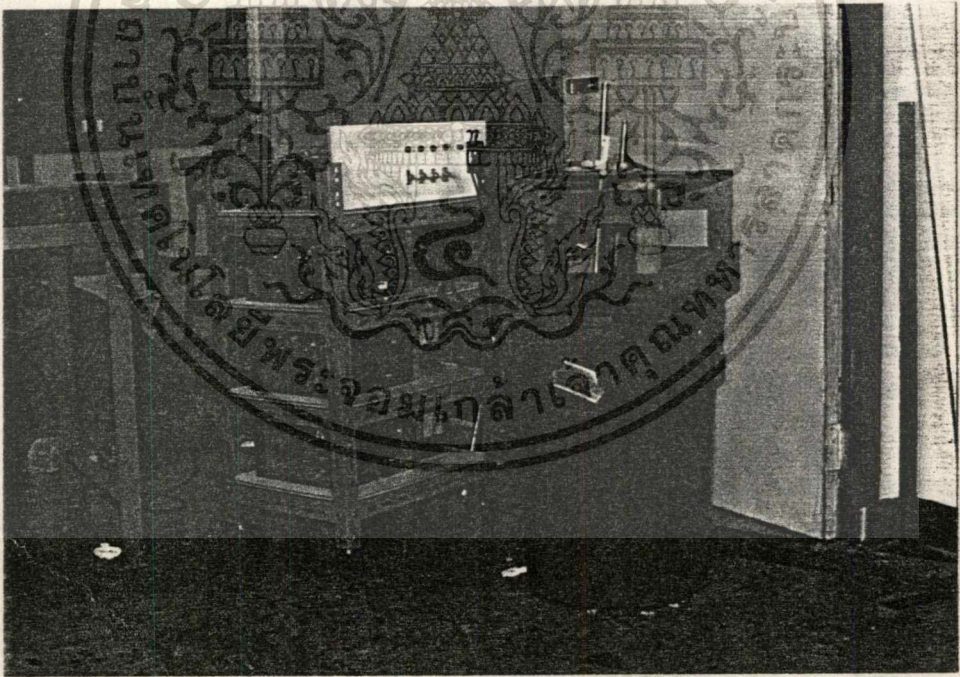


รูปที่ 5 แสดงวงจรเอาต์พุตของหม้อแปลงสวิตชิง, เรกตีไฟเออร์และฟิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

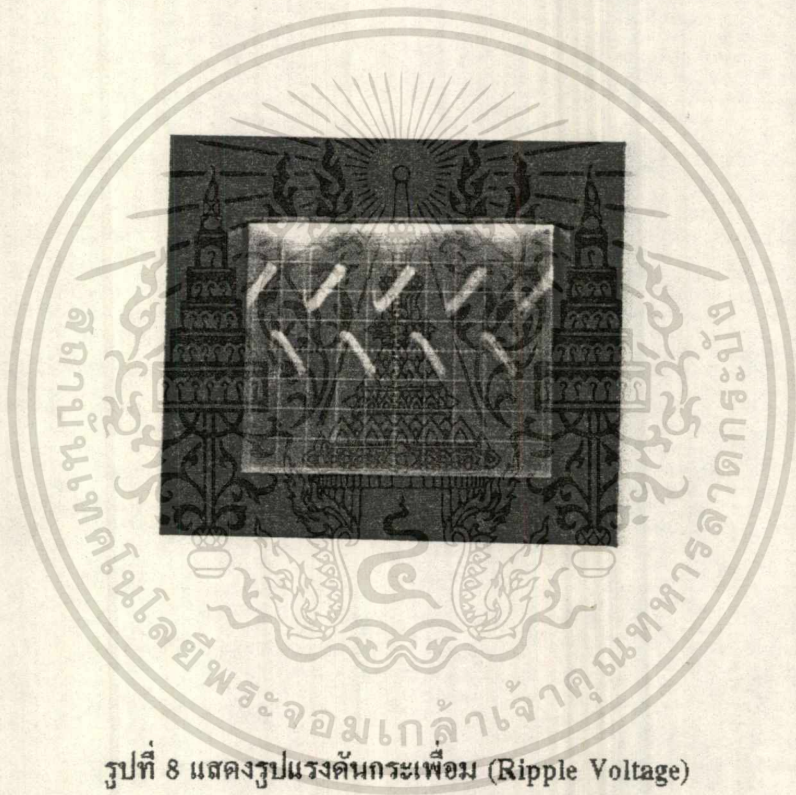
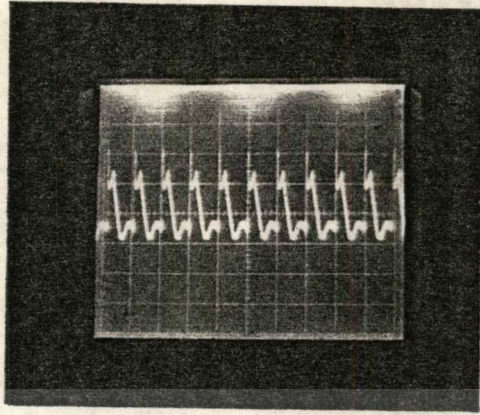


รูปที่ 6 แสดงวงจรควบคุม



รูปที่ 7 แสดงการทดสอบไหลด้วยฉนำเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 แสดงรูปแรงดันกระเพื่อม (Ripple Voltage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ศ.ประกาย ไพรสุวรรณ และคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนช่างเทคนิคประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ความสะดวกในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. สุวัฒน์ คั่น, เทคนิคและการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย, บริษัทเอนเทลไทย จำกัด, กรุงเทพฯ, 2537.
2. วิชัย ศังขจันทร์านนท์, ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)
3. ประสงค์ ท่วมยิ้ม, หลักการเชื่อมประสาน, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2522.
4. ดร.โกวิท มาศรัตน์, เครื่องจักรกลไฟฟ้า, วิทยาลัยมหานคร.
5. อุคมศักดิ์ ชัยยืน, Power Electronic I, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
6. วิทยา ทองขาว, เครื่องเชื่อมไฟฟ้า.
7. จักรพงษ์ จารุมิสร์, เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงคงที่, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18.
8. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ, สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18.
9. Chrysis G, High Frequency Switching Power Supplies Theory and Design, McGraw-Hill, New York, 1989.
10. Pressman,A., Switching Power Supply Design, McGraw-Hill, Singapore, 1992.