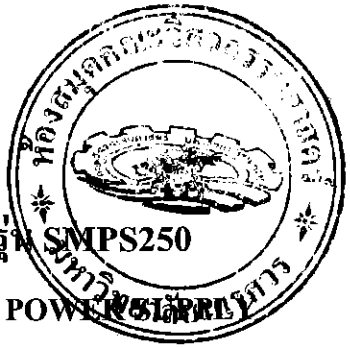


การวิเคราะห์การทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250

OPERATION ANALYSIS OF THE SMPS250 SWITCHING POWER SUPPLY

นายภาสกร บรรเทิงสุข รหัส 48361707

นายสมชาย นาคสุด รหัส 48361905

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 11 ส.ค. 2555
เลขทะเบียน 15732918
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ภ 493 ก 2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2551

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การวิเคราะห์การทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250

ผู้ดำเนินโครงงาน นายภาสกร บรรเทิงสุข รหัส 48361707

นายสมชาย นาคสุด รหัส 48361905

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร. อัครพันธ์ วงศ์กังแห

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2551

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร. อัครพันธ์ วงศ์กังแห)

.....กรรมการ

(ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

.....กรรมการ

(นายเศรษฐา ตั้งค้าวานิช)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การวิเคราะห์การทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายภาสกร บรรเทิงสุข รหัส 48361707
	นายสมชาย นาคสุด รหัส 48361905
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. อัครพันธ์ วงศ์กังแห
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการวิเคราะห์การทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250 โดยที่สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายก็คือ แหล่งจ่ายอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งเหมือนกับแหล่งจ่ายไฟทั่วๆไป ต่างกันตรงที่สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า มีการทำงานที่ความถี่สูง อุปกรณ์ต่างๆ เช่น หม้อแปลง โช้ค และตัวเก็บประจุที่ใช้วงจร จึงมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบากว่า ซึ่งเนื้อหาภายในโครงงานนี้จะประกอบไปด้วยทฤษฎีการทำงานและผลการวิเคราะห์การทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250 ซึ่งจะแยกการทำงานออก 4 ส่วนหลักๆ คือ ภาคเรกติไฟร์และฟิลเตอร์ด้านอินพุต ภาคเรกติไฟร์และฟิลเตอร์เอาท์พุต ภาคอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง และวงจรควบคุม เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปศึกษาต่อไป

Project title	Operation Analysis of the SMPS250 Switching Power Supply			
Name	Mr. Pasakorn	Banthoengsuk	ID. 48361707	
	Mr. Somchai	Naksud	ID. 48361905	
Project advisor	Dr. Akraraphunt Vongkunhae			
Major	Electrical Engineering			
Department	Electrical and Computer Engineering			
Academic year	2008			

Abstract

This project is an emperical analysis of the operational system of SMPS250 switching power supply. A switching power supply is another means for supplying power. It is higher in performance and works with higher frequencies which enable the devices such as the transformer, choke, and the capacitor to be smaller and lighter. The content of this project consists of the theories and emperical analysis of the operational system of the SMPS250 switching power supply, which is divided into 4 major sections: the rectifier and input filter sector, the rectifier and output filter sector, high frequency inverter sector, and the control circuit sector, for the purpose of a better understanding in the further study of this power supply.

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงงานการวิเคราะห์การทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250 สามารถเสร็จสมบูรณ์ลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยความกรุณาของบุคคลหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห ในฐานะที่ปรึกษาโครงงาน ที่คอยให้คำปรึกษาทางด้านทางทฤษฎี ชี้แนะแนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงาน ตลอดจนเสียสละเวลาทำงานและเวลาว่างในการตรวจโครงงานและชี้แนะข้อบกพร่อง เพื่อแก้ไขจนถูกต้องและเสร็จสมบูรณ์

พร้อมกันนี้ใคร่ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้มาให้ตั้งแต่ระดับอนุบาล จนถึงระดับมหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญยิ่งที่นำมาประยุกต์ใช้ในโครงงานนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าที่คอยให้กำลังใจ ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือด้านต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่คอยให้กำลังใจและเป็นแรงบันดาลใจให้ความรู้ คำแนะนำ ให้คำปรึกษาที่มีคุณค่าแก่คณะผู้จัดทำโครงงานนี้เสมอมา

นายภาสกร บรรเทิงสุข

นายสมชาย นาคสุด

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 1
1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน 2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.7 งบประมาณที่ต้องใช้ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) 3
2.1.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier) 3
2.1.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier) 6
2.1.3 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) 9
2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) 12
2.2.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) 13
2.2.2 ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter) 14
2.2.3 พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter) 16
2.2.4 ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter) 18
2.2.5 ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Converter) 19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 วงจรควบคุม (Control) 20

2.3.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน 21

2.3.2 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส 22

บทที่ 3 การประกอบวงจร

3.1 รายการอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง 26

3.2 แบบวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250 29

3.3 ลายทองแดงออกแบบด้วยโปรแกรม PROTEL DXP 30

3.4 การลงอุปกรณ์บนแผ่น PCB 31

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์การทำงาน

4.1 วงจรเรกติไฟร์และวงจรฟิลเตอร์ด้านอินพุต 33

4.2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันสำหรับวงจรควบคุม 34

4.3 วงจรควบคุม 35

4.4 วงจรพุชพูลคอนเวอร์เตอร์ 37

4.5 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 40

4.6 วงจรเรกติไฟร์และวงจรฟิลเตอร์ด้านเอาท์พุต 43

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป 46

5.2 สิ่งที่ได้จากโครงงาน 46

5.3 ปัญหาและอุปสรรค 46

5.4 ข้อเสนอแนะ 47

เอกสารอ้างอิง 48

ภาคผนวก 49

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 57

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น 4
2.2 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นบวก 5
2.3 รูปคลื่นแรงดันเอาท์พุตเมื่อใช้ตัวเก็บประจุกรองแรงดัน 5
2.4 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นลบ 6
2.5 รูปคลื่นแรงดันเอาท์พุตเมื่อใช้ตัวเก็บประจุกรองแรงดัน 6
2.6 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น 7
2.7 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น 7
2.8 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นโดยใช้ตัวเก็บประจุกรอง 8
2.9 สัญญาณวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นก่อนและหลังใส่ตัวเก็บประจุ 8
2.10 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น 9
2.11 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ 9
2.12 ไดโอด D1 และ D2 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out}) 10
2.13 ไดโอด D3 และ D4 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out}) 10
2.14 รูปคลื่นแรงดันเอาท์พุต เปรียบเทียบกับแรงดันอินพุต ของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ 11
2.15 ค่าแรงดันไฟตรงกับค่าแรงดันสูงสุด V_p ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น 11
2.16 ค่าแรงดันสูงสุดด้านกลับที่เกิดกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ 12
2.17 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ 13
2.18 ลักษณะของกระแสและแรงดันในวงจรขณะทำงาน 14
2.19 วงจรพื้นฐานของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ 15
2.20 ลักษณะของกระแสและแรงดันในวงจรขณะทำงาน 16
2.21 วงจรพื้นฐานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ 17
2.22 วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 18
2.23 ขณะ Q1 นำกระแส และ Q2 นำกระแส 19
2.24 วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 20
2.25 วงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน 21
2.26 ลักษณะความกว้างของพัลส์จาก PWM 22
2.27 วงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส 22
2.28 วงจรควบคุมเมื่อตัดตัวขยายความแตกต่างออก 23
2.29 ลักษณะการทำงานที่จุดต่างๆ ของวงจร 24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 วงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	29
3.2 ลายทองแดงสำหรับ ดรายฟิมล์ด้านล่าง ขนาดเท่าของจริง	30
3.3 แผ่น PCB ของวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	31
3.4 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250	32
4.1 วงจรเรกติไฟร์และวงจรฟิลเตอร์ด้านอินพุต	33
4.2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันสำหรับวงจรควบคุม	34
4.3 แรงดันไฟกระแสตรง	34
4.4 แรงดันกระแสตรงที่ออกจากไอซี LM78L12	35
4.5 วงจรควบคุม	35
4.6 สัญญาณพัลส์ ที่ขา 8 และ11 ของไอซี TL494	36
4.7 วงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์	37
4.8 คลื่นสัญญาณที่ขา C ของทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2	38
4.9 เปรียบสัญญาณที่ขา B และ C ของ Q_1	38
4.10 เปรียบสัญญาณที่ขา B และ C ของ Q_2	39
4.11 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	40
4.12 ทิศทางการไหลของกระแสขณะ Q_3 นำกระแส	41
4.13 ทิศทางการไหลของกระแสขณะ Q_4 นำกระแส	41
4.14 คลื่นสัญญาณที่ขดลวดปฐมภูมิหม้อแปลง T2	42
4.15 คลื่นสัญญาณที่ขดลวดทุติยภูมิหม้อแปลง T2	43
4.16 วงจรเรกติไฟร์และวงจรฟิลเตอร์ด้านเอาท์พุต	43
4.17 คลื่นสัญญาณเมื่อผ่านเรกติไฟร์	44
4.18 สัญญาณด้านเอาท์พุตเมื่อวงจรฟิลเตอร์	44

บทที่ 1
บทนำ

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงเรื่องที่มาและความสำคัญของโครงงาน วัตถุประสงค์ของโครงงาน ขอบเขตของโครงงาน ขั้นตอนการดำเนินงาน ผลที่คาดว่าจะได้รับ และงบประมาณที่ใช้ในการสร้างสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply)

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายได้เข้ามามีบทบาทกับชีวิตเราอย่างมาก เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กซึ่งต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีกำลังสูงแต่มีขนาดเล็ก เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ กล้องวงจรปิด เครื่องโทรสาร ชุดเครื่องเสียง เป็นต้น ล้วนจำเป็นต้องใช้สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย และในอนาคตมีแนวโน้มการนำสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายมาใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟในเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์

จึงเกิดแนวคิดในการวิเคราะห์การทำงานภายในวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย เพื่อให้เกิดความรู้ความใจ หลักการทำงานของวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งภายในวงจรก็จะแบ่งออกเป็นวงจรย่อยๆ อาทิ วงจรเรกติไฟร์และวงจรฟิลเตอร์ด้านอินพุตและเอาท์พุต วงจรอินเวอเตอร์ความถี่สูง และวงจรควบคุม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

1.2.2 วิเคราะห์การทำงานของวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 เข้าใจถึงความรู้พื้นฐานและการการทำงานของวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

1.3.2 วิเคราะห์การทำงานของวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาข้อมูล และคุณลักษณะของวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

1.4.2 สร้างวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

1.4.3 วิเคราะห์การทำงานและสรุปผลการดำเนินงาน

1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี 2553					ปี 2554			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาหาข้อมูลและการทำงานของ	←	—	→						
2. สร้างวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย				←	→				
3. ตรวจสอบความพร้อม ทดลอง						←	→		
4. วิเคราะห์ และสรุปผลการวิเคราะห์								←	→
5. จัดทำเอกสาร									← →

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถสร้างวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่มีคุณภาพที่สามารถใช้งานได้จริง

1.6.2 มีความรู้ความเข้าใจการทำงานของวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

1.6.3 เป็นเอกสารในการอ้างอิงเพื่อใช้ในการศึกษาและค้นคว้าต่อไปได้

1.7 งบประมาณที่ต้องใช้

1.7.1 ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1,000	บาท
1.7.2 ค่าถ่ายเอกสารและค่าเข้าเล่มโครงงาน	1,500	บาท
รวมเป็นเงิน (สองพันห้าร้อยบาทถ้วน)	2,500	บาท

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ภายในวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายนั้น จะประกอบไปด้วยวงจรที่สำคัญต่างๆ คือ วงจรเรียงกระแส (Rectifier) วงจรกรองแรงดัน (Filter) วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) และวงจรควบคุม (Controller) ทั้งหมดนี้เป็นส่วนประกอบในวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

วงจรเรียงกระแส เป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงออกมาทางเอาท์พุต วงจรเรียงกระแสที่ใช้งานมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ

2.1.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier)

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นนั้น เป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับไปเป็นไฟกระแสตรง (AC to DC) ซึ่งใช้ไดโอดเพียงตัวเดียว โดยจะอาศัยคุณสมบัติของไดโอดตรงที่สามารถนำกระแสได้ทางเดียวแรงดันเอาท์พุตที่ได้มีลักษณะเป็นพัลส์ที่ยังไม่เรียบ แรงดันนี้จะยังไม่สามารถนำไปใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ จะต้องผ่านการกรองให้เรียบก่อน แรงดันเอาท์พุตที่ได้ เมื่อเทียบกับแรงดันอินพุตยังมีประสิทธิภาพต่ำ [6] ซึ่งจะศึกษาในแต่ละหัวข้อต่อไปนี้

2.1.1.1 ลักษณะวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

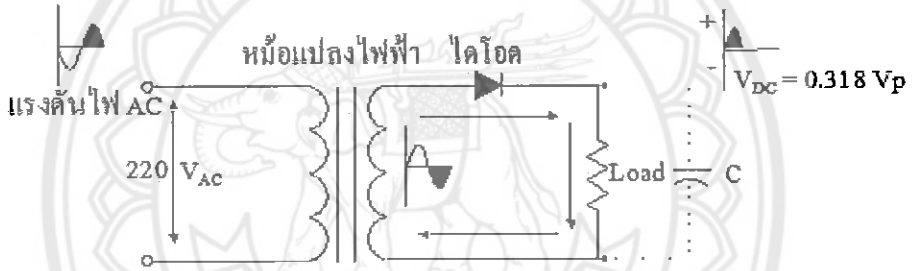
วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น จะเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ตัดเอาแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามาอาจเป็นครึ่งบวกหรือครึ่งลบแล้วแต่การจัดวงจรไดโอด แรงดันเอาท์พุตที่ส่งออกมาจะมีลักษณะเป็นช่วงๆ คือช่วงมีแรงดันและช่วงไม่มีแรงดันสลับกันไป ในวงจรนั้นประกอบด้วยไดโอดเพียงตัวเดียวดังแสดงในรูปที่ 2.1 การทำงานของวงจร ไฟกระแสสลับจะมาปรากฏที่ขาแอโนด โดยไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ทางเดียว คือในช่วงเวลาไดโอดที่ได้รับไบอัสตรง ดังนั้นวงจรจะมีกระแสไหลเพียงช่วงบวกของไฟสลับเท่านั้น ถ้าในช่วงลบจะไม่มีกระแสไหลผ่าน แรงไฟตรงที่เอาท์พุตนี้ ยังไม่สามารถนำไปใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ เพราะเป็นไฟกระแสตรงที่ยังไม่เรียบพอ (Pulse D.C) จึงต้องมีการกรอง (Filter) ให้เรียบโดยใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่กรอง

2.1.1.2 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

การเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier) ลักษณะวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.1 การทำงาน เมื่อจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V เข้าทางขดปฐมภูมิ (Primary) ของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้ามายังขดทุติยภูมิ (Secondary) การเหนี่ยวนำของ

แรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลง โดยเฟสของสัญญาณขาเข้ากับเฟสของสัญญาณขาออก จะต่างเฟสกันอยู่ 180 องศา เมื่อขั้วบนของขดปฐมภูมิได้รับเฟสลบ ขั้วล่างเทียบได้เฟสบวกจะทำให้ขดทุติยภูมิขั้วบนเป็นเฟสบวก ขาแอโนด (A) ของไดโอดได้รับแรงดันซีกบวก ขาแคโทด (K) ได้รับแรงดันซีกลบ เป็นผลให้ไดโอดได้รับไบอัสตรง ไดโอดนำกระแส มีกระแสไหลเข้าขาแอโนด ออกขาแคโทดผ่านโหลด (Load) ครบวงจรที่ขั้วล่างของทุติยภูมิ มีแรงดันซีกบวกตกคร่อมที่โหลด

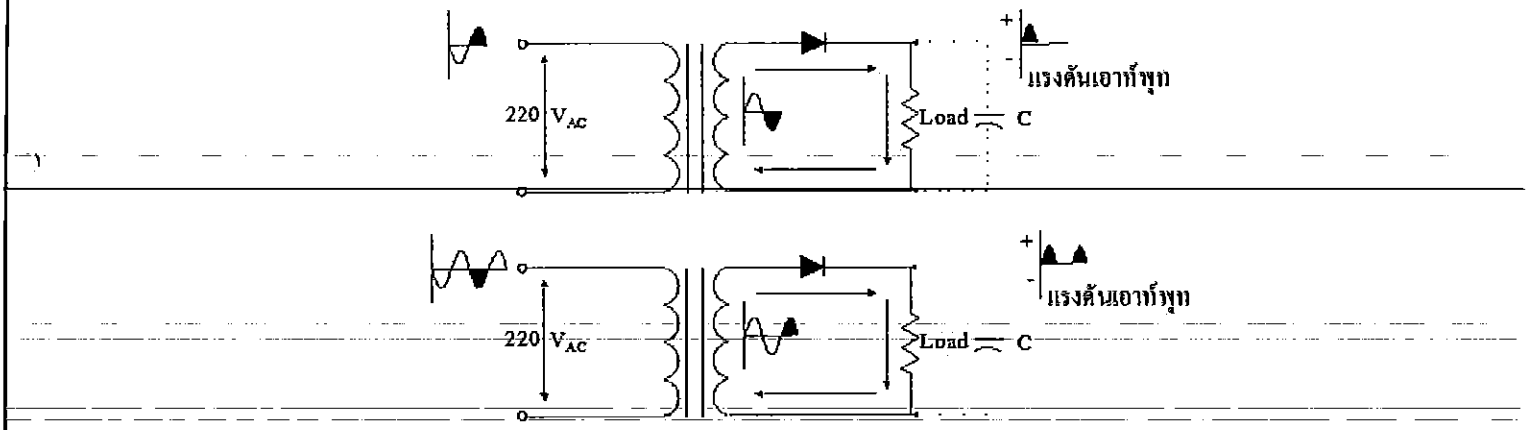
ในช่วงเวลาต่อมา ครึ่งไซเกิลหลังของไฟสลับ ขั้วบนของทุติยภูมิเป็นเฟสลบ ขั้วล่างเทียบศักย์ได้เป็นเฟสบวก ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ขาแอโนดของไดโอดได้รับแรงดันซีกลบและขาแคโทดได้รับแรงดันซีกบวก ไดโอดได้รับไบอัสกลับจะไม่นำกระแสเป็นผลให้ไม่มีแรงนี้ปรากฏที่โหลด ในรอบต่อมา การทำงานจะเป็นไปตามลักษณะเดิมซ้ำๆ กันไปเรื่อยๆ โดยมีแรงดันปรากฏที่เอาท์พุตเป็นช่วงๆ (ช่วงเว้นช่วง) นอกจากนี้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นยังสามารถแบ่งออกเป็นวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นบวกและวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นลบ



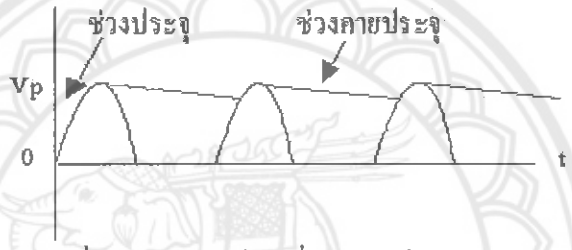
รูปที่ 2.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

2.1.1.3 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นบวก

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นบวกนั้น เป็นการจัดวงจรไดโอดให้นำกระแสเฉพาะซีกบวกของไฟสลับ ทำให้แรงดันที่ได้จากการเรียงกระแสออกมาที่เอาท์พุตนั้นมีแค่เพียงช่วงบวกของไฟสลับเท่านั้น แรงดันไฟตรงเฉลี่ยสามารถคำนวณหาได้จากสูตร $V_{DC} = 0.318\ V_P$ หรือ $V_{DC} = 0.45\ V_{AC}$ แต่แรงดันไฟตรงที่ได้ จะยังไม่เรียบมีลักษณะเป็นพัลส์ที่เรียกว่าพัลส์ กระแสตรง (Pulse D.C) ในการนำไปใช้งานจะต้องทำการกรองให้เรียบโดยใช้ตัวเก็บประจุทำการกรอง ก็จะทำให้แรงดันที่ได้เรียบขึ้น ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นบวก



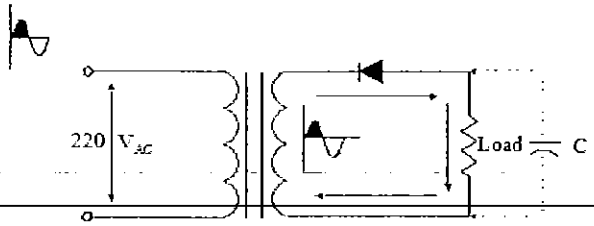
รูปที่ 2.3 รูปคลื่นแรงดันเอาท์พุตเมื่อใช้ตัวเก็บประจุกรองแรงดัน

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่า พัลส์กระแสตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะเป็นซีกบวก ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์จะทำการประจุแรงดัน ในช่วงที่พัลส์กระแสตรง มีค่าเพิ่มขึ้นและจะคายประจุในช่วงที่พัลส์กระแสตรง มีค่าลดลงจะเป็นไปในลักษณะเช่นนี้เรื่อยๆ แรงดันกระแสตรงที่ได้จะเรียบขึ้น ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ในวงจรยิ่งมีค่ามาก แรงดันไฟตรงที่ได้ก็จะยิ่งมีความเรียบขึ้น (ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ค่ามากเกินไปมีผลเสียกับไดโอด)

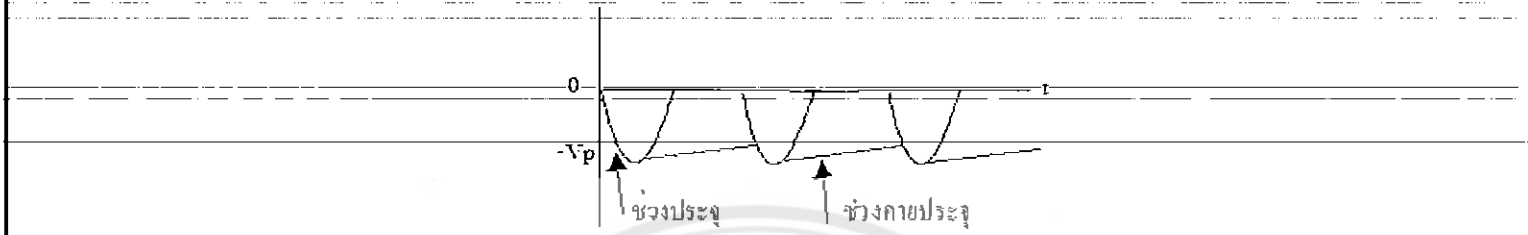
2.1.1.4 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นลบ

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นลบนั้น เป็นการจัดวงจรไดโอดให้นำกระแสเฉพาะซีกลบของไฟสลับ วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นลบดังรูปที่ 2.4 เมื่อขั้วบนของขดทุติยภูมิได้รับเฟสลบ ขั้วล่างเทียบศักย์ได้เฟสบวก ทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรง ไดโอดสามารถนำกระแสได้ กระแสจะไหลจากขั้วล่างของหม้อแปลงผ่านโหลดเข้าทางขาแอโนด ออกทางแคโทดครบวงจรที่ขั้วบนของหม้อแปลง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ขั้วบนของโหลดมีศักย์เป็นลบขั้วล่างมีศักย์เป็นบวก

เมื่อขั้วบนของหม้อแปลงได้รับเฟสบวกและขั้วล่างเทียบศักย์ได้เฟสลบ จะทำให้ไดโอดไม่สามารถนำกระแสได้ เพราะไดโอดได้รับไบอัสกลับ จังหวะนี้จึงไม่มีกระแสออกมาที่โหลด



รูปที่ 2.4 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นบวก



รูปที่ 2.5 รูปคลื่นแรงดันเอาท์พุตเมื่อใช้ตัวเก็บประจุกรองแรงดัน

2.1.1.5 ประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

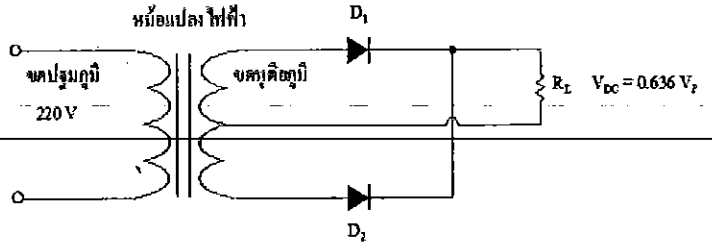
เมื่อต่อตัวเก็บประจุฟิลเตอร์เข้าไปในวงจร ตัวเก็บประจุเองจะทำหน้าที่ประจุแรงดันเอาไว้ในช่วงที่แรงดันมีค่าสูง และจะคายประจุในช่วงที่แรงดันมีค่าลดลง โดยเสริมรูปคลื่นที่ขาดหายให้เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน เป็นการทำให้แรงดันที่ไม่เรียบมีความเรียบยิ่งขึ้น การใช้วงจรเรียงกระแสแบบนี้จะได้ไฟกระแสตรงออกมาในลักษณะเป็นพัลส์ครึ่งคลื่นเท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบแรงดันอินพุตกับแรงดันเอาท์พุตที่ได้ จะเห็นว่ามีประสิทธิภาพต่ำ คือประมาณ 40 % เท่านั้น

2.1.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier)

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น จะใช้ไดโอด 2 ตัว ในการเรียงกระแสโดยใช้หม้อแปลงแบบมีแท็ปกลางเป็นตัวแบ่งเฟสให้ไดโอด โดยไดโอดจะนำกระแสครั้งละตัวในแต่ละครึ่งของไฟสลับที่เข้ามา ทำให้ได้แรงดันที่เอาท์พุตตลอดช่วงของแรงดันไฟสลับที่เข้ามา วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมี 2 แบบ คือ แบบที่ใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลางร่วมกับไดโอด 2 ตัว และแบบที่มีไดโอดบริดจ์ 4 ตัวและหม้อแปลงไม่จำเป็นต้องมีแท็ปกลางก็ได้ [6]

2.1.2.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง

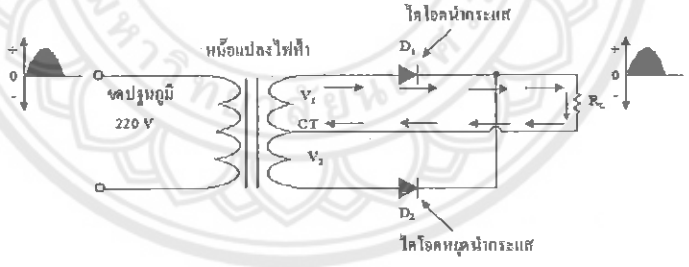
วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น จะสามารถเรียงแรงดันไฟสลับให้ออกเอาท์พุตได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบของแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามาที่อินพุตของวงจร ลักษณะของวงจรจะใช้ไดโอด 2 ตัว ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟสลับเป็นสัญญาณไฟตรง โดยมีหม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีแท็ปกลาง (Center Trap) ทำหน้าที่แบ่งเฟสให้เกิดเฟสต่างกัน 180 องศา ระหว่างสัญญาณที่ออกจากส่วนบนและส่วนล่างของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงเพื่อให้ไดโอดทั้ง 2 ตัวสลับกันทำงาน ดังนั้นวงจรจึงสามารถจ่ายไฟกระแสตรงได้เรียบกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นดังรูปที่ 2.6



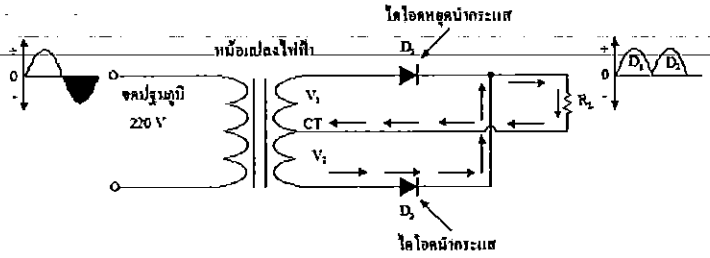
รูปที่ 2.6 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

2.1.2.2 การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง

เมื่อมีอินพุตแรงดันไฟสลับป้อนเข้าที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลง จะทำให้เกิดแรงดันไฟสลับขึ้นที่ขั้วบนและขั้วล่างของขดทุติยภูมิ ที่แท็ปกลางของหม้อแปลง จะกำหนดให้มีแรงดัน 0 โวลต์ ดังนั้นแรงดันครึ่งหนึ่งจึงเกิดขึ้น ที่แท็ปกลางกับขั้วด้านบนของหม้อแปลง และอีกครึ่งหนึ่งจะเกิดขึ้น ที่แท็ปกลางกับอีกขั้วด้านล่างของหม้อแปลง โดยระหว่างขั้วด้านบนและขั้วด้านล่างจะมีเฟสต่างกัน 180 องศา การทำงานของวงจรเมื่อขั้วบนของขดทุติยภูมิมีค่าแรงดันเป็นบวก ขั้วล่างมีแรงดันเป็นลบไดโอด D_1 จะได้รับไบอัสตรง นำกระแสมีกระแสไหลผ่านไดโอดผ่านโหลด R_L ไปครบวงจรที่ขั้วแท็ป ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลด R_L เป็นคลื่นรูปไซน์ครึ่งคลื่น ดังรูปที่ 2.7 (ก)



(ก) การนำกระแสของไดโอด D_1



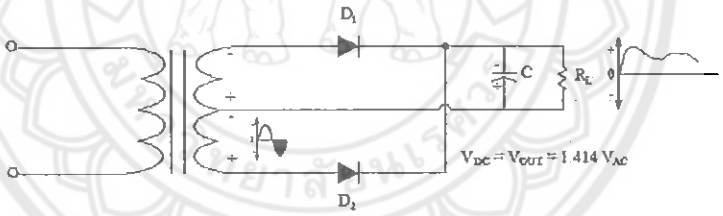
(ข) การนำกระแสของไดโอด D_2

รูปที่ 2.7 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

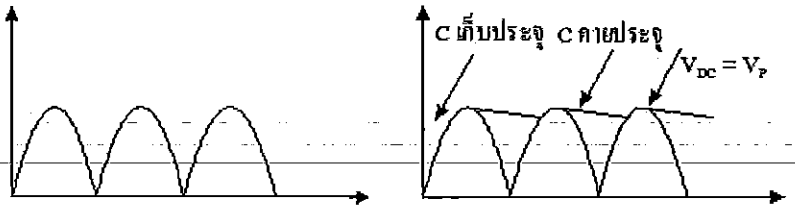
ในช่วงเวลาต่อมา ที่ขั้วบนของขดทุติยภูมิมีค่าแรงดันเป็นลบ และขั้วล่างมีค่าแรงดันเป็นบวก ไดโอด D_1 จะได้รับไบอัสกลับ ไดโอด D_2 ได้รับไบอัสตรงจึงเกิดการนำกระแส มีกระแสไหลผ่านไดโอดผ่านโหลด R_L ไปครบวงจรที่ขั้วแท็ปทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลด R_L เป็นคลื่นรูปไซน์ครึ่งคลื่นด้านบวกปรากฏที่เอาท์พุต ดังรูปที่ 2.7 (ข) แรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่ได้สามารถคำนวณได้จากสูตร $V_{DC} = 0.636\ V_P$ แต่แรงดัน V_P เป็นแรงดันค่ายอดสูงสุดสามารถคำนวณหาได้จากสูตร $V_P = 1.414\ V_{AC}$ หรือจะคำนวณหาค่าแรงดันไฟตรงได้จากสูตร $V_{DC} = 0.9\ V_{AC}$

2.1.2.3 วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Filter)

แรงดันได้จากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นยังมีระลอกคลื่นปนอยู่ปริมาณสูง ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน โดยจะต้องนำแรงดันนี้ไปผ่านวงจรกรอง ก่อนที่จะนำไปใช้งาน วงจรกรองแบบที่ง่ายและนิยมที่สุดก็คือ วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ โดยใช้ตัวเก็บประจุ C ต่อขนานกับตัวต้านทานโหลด R_L และตัวเก็บประจุ C นี้จะทำหน้าที่เก็บประจุ ไว้ในช่วงเวลาที่ไดโอดนำกระแสและทำหน้าที่คายประจุผ่านตัวต้านทานโหลดในช่วงเวลาที่ไดโอดไม่นำกระแส การทำงานของวงจรกรองจะทำการกรองแรงดันไฟตรงที่ยังไม่เรียบให้มีความราบเรียบยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้งานกับวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ อีกทั้งแรงดันไฟตรงที่ได้เมื่อผ่านการกรองแรงดันแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยคำนวณหาได้จากสูตร $V_{DC} = V_P = 1.414 \times V_{AC}$



รูปที่ 2.8 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นโดยใช้ตัวเก็บประจุกรอง

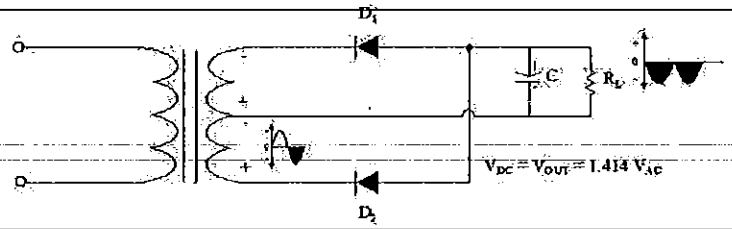


ก. การเรียงกระแสของไดโอด ข. ใช้ตัวเก็บประจุกรอง

รูปที่ 2.9 สัญญาณวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นก่อนและหลังใส่ตัวเก็บประจุ

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นนั้น ไดโอดทั้ง 2 ตัวจะผลัดกันทำงานตัวละครึ่งไซเคิล ทำให้การเรียงกระแสออกมาครบทั้งซีกบวกและซีกลบ จากวงจรรูปที่ 2.9 เป็นการเรียงกระแสให้ออกมา

เป็นซีกบวกเรียงกันไป แต่ถ้าต้องการเรียงกระแสให้ออกมาเป็นซีกลบก็สามารถกระทำได้โดยการกลับขาไดโอดทั้ง 2 เสียใหม่ดังแสดงในรูปที่ 2.10



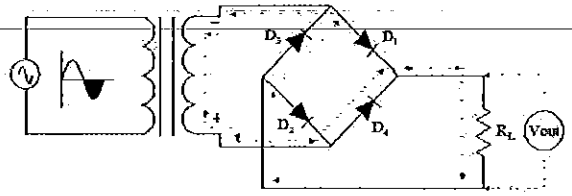
รูปที่ 2.10 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

2.1.3 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ **(Bridge Rectifier)**

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์นั้น เป็นวงจรที่แก้ไขจุดอ่อนของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงแบบมีแท็ปกลางซึ่งมักจะมีราคาแพง และการที่ไดโอดนำกระแสครั้งละตัวนั้นทำให้ต้องทำงานหนัก ส่วนวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์นั้น ไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงแบบมีแท็ปกลาง ทำให้ประหยัดขึ้นและไดโอดจะนำกระแสครั้งละสองตัว ทำให้ไดโอดทนแรงดันสูงขึ้น เอาท์พุตของวงจร ตลอดจนรูปร่างจะมีลักษณะเหมือนกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นทุกอย่าง [6]

2.1.3.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ **(Bridge Rectifier)**

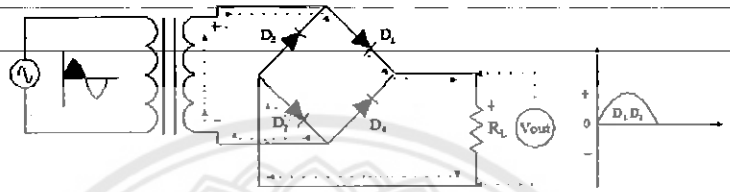
วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ มีลักษณะเหมือนวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น เพราะแรงดันเอาท์พุตที่ได้เป็นแบบเต็มคลื่น ข้อแตกต่างระหว่างการเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์และแบบเต็มคลื่นธรรมดา ต่างกันตรงการต่อวงจรไดโอดแบบเต็มคลื่นจะใช้ไดโอด 2 ตัว แบบบริดจ์จะใช้ไดโอด 4 ตัว และหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ก็แตกต่างกัน แบบเต็มคลื่นธรรมดาใช้หม้อแปลงแบบมีแท็ปกลาง (Center Trap, CT) มี 3 ขั้ว แบบบริดจ์ใช้หม้อแปลง 2 ขั้วหรือ 3 ขั้วก็ได้ แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

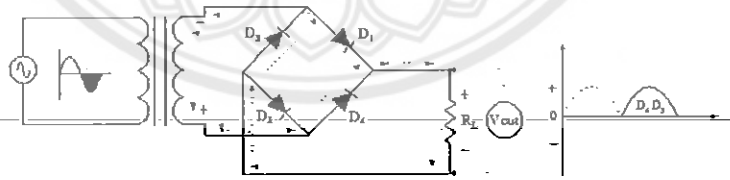
2.1.3.2 การทำงานวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

การทำงานของวงจร ไดโอดจะผลัดกันนำกระแสครั้งละ 2 ตัว โดยเมื่อไซเคิลบวกของแรงดันไฟสลับ ปรากฏที่ด้านบนของขดทุติยภูมิของหม้อแปลง และด้านล่างจะเป็นลบ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ในช่วงเวลานี้ไดโอด D_1 และ D_2 ได้รับไบอัสตรงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ผ่านโหลด R_L ผ่านไดโอด D_2 ครบวงจรที่หม้อแปลงด้านล่าง มีแรงดันตกคร่อมโหลด R_L ด้านบนเป็นบวก ด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาท์พุต

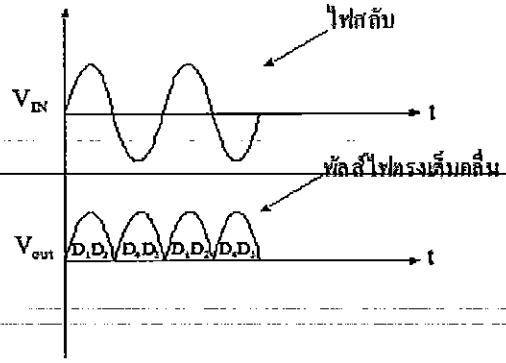


รูปที่ 2.12 ไดโอด D_1 และ D_2 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out})

ในช่วงเวลาการทำงานของไซเคิลลบของแรงดันไฟสลับ ปรากฏที่ด้านบนของขดทุติยภูมิของหม้อแปลง และด้านล่างเป็นบวก ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ในช่วงเวลานี้ไดโอด D_1 และ D_2 จะได้รับไบอัสกลับแต่ไดโอด D_3 และ D_4 จะได้รับไบอัสตรง ทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอด D_4 ผ่านโหลด R_L และผ่านไดโอด D_3 ครบวงจรที่หม้อแปลงด้านบน มีแรงดันตกคร่อมโหลด R_L ด้านบนเป็นบวกด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาท์พุตทำให้ได้คลื่นไฟตรงรวมกันเต็มคลื่นดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 ไดโอด D_3 และ D_4 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (Vout)

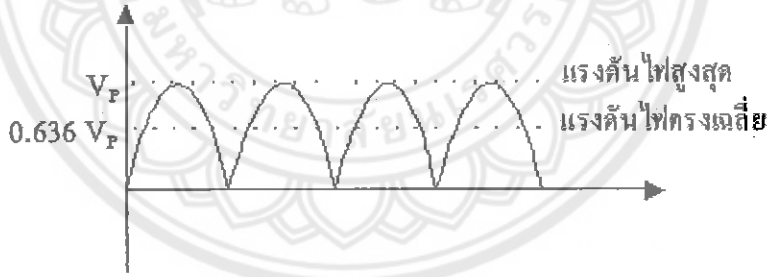


รูปที่ 2.14 รูปคลื่นแรงดันเอาท์พุตเปรียบเทียบกับแรงดันอินพุตของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

2.1.3.3 แรงดันเอาท์พุตของวงจร

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นทั้งแบบมีแท็ปกลางและแบบบริดจ์ จะให้แรงดันเอาท์พุตทุกๆ ครึ่งรอบของแรงดันไฟสลับที่เข้ามาทั้งซีกบวกและซีกลบ ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาท์พุตจึงมีค่าเป็น 2 เท่าของแรงดันไฟตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ค่าแรงดันเอาท์พุตมีค่าเป็น 0.636 เท่า ของแรงดันไฟสูงสุด ดังสมการที่ (2.1)

$$V_{DC} = 0.636\, V_P \qquad (2.1)$$



รูปที่ 2.15 ค่าแรงดันไฟตรงกับค่าแรงดันสูงสุด V_P ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

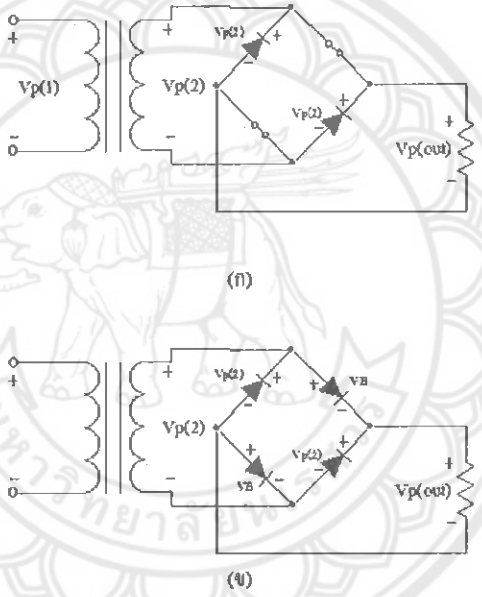
2.1.3.4 แรงดันสูงสุดด้านกลับ (Peak Inverse Voltage)

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ จะมีค่าแรงดันสูงสุดด้านกลับ (PIV) น้อยกว่าวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงแบบมีแท็ปครึ่งหนึ่ง พิจารณาวงจรในรูปที่ 2.16 (ก) เมื่อไดโอด D_1 และ D_2 นำกระแส ไดโอด D_1 และ D_2 จะทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ปิดวงจร (ถ้าไม่คิดแรงดันตกคร่อมไดโอด) จะเห็นว่าแรงดันสูงสุดด้านกลับที่ตกคร่อมไดโอด D_3 และ D_4 ที่ได้รับไบอัสกลับจะมีค่าเท่ากับแรงดันพีค (Vp)

ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาค่าแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะที่ไดโอด D_1 และ D_2 นำกระแส (V_B) ดังรูปที่ 2.16 (ข) จะเห็นว่าแรงดันสูงสุดด้านกลับ (PIV) ที่เกิดกับไดโอด D_3 และ D_4 จะหาได้จากสมการที่ (2.2)

$$PIV = V_P(out) + V_B \qquad (2.2)$$

เช่นเดียวกันถ้าหากว่าต้องการใช้ไฟตรงที่เรียงกระแสออกมาเรียบขึ้น เราก็ต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่ามากๆ มาเป็นวงจรกรองกระแส ยิ่งตัวเก็บประจุมีค่ามากการคายประจุก็ต้องใช้เวลานานขึ้น จึงทำให้ไฟกระแสตรงที่ออกมาเรียบที่สุด



รูปที่ 2.16 ค่าแรงดันสูงสุดด้านกลับที่เกิดกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter)

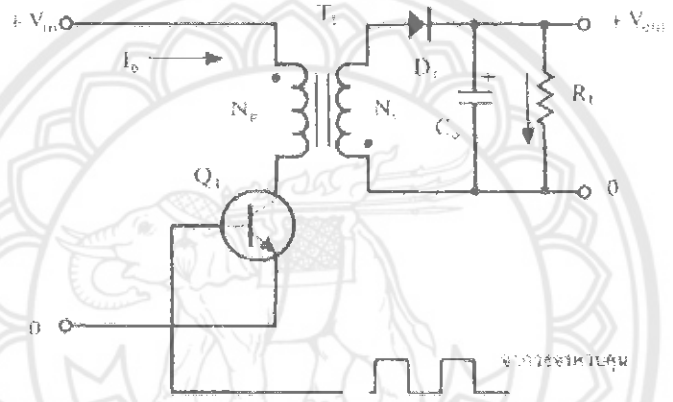
คอนเวอร์เตอร์ เป็นส่วนสำคัญที่สุดในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ และสามารถคงค่าแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป การจะเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์แบบใดสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายนั้นมีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังนี้คือ

1. ลักษณะการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาท์พุตของคอนเวอร์เตอร์
2. ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์
3. ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน

4. ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
5. การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่คอนเวอร์เตอร์มีเอาท์พุตหลายค่าแรงดัน
6. การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI/EMI ของคอนเวอร์เตอร์

จากข้อพิจารณาดังกล่าว จะทำให้ผู้ออกแบบทราบขีดจำกัดของคอนเวอร์เตอร์และตัดสินใจเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์แบบใดได้ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาคอนเวอร์เตอร์ในรูปแบบต่างๆ ขึ้นมามากมาย ซึ่งมีลักษณะการทำงานที่ไม่แตกต่างกันจนเกินไปนัก และค่อนข้างง่ายต่อการทำความเข้าใจและศึกษา [1] ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่เพียงการทำงานพื้นฐานเท่านั้น

2.2.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)



รูปที่ 2.17 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.17 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้ทางขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง T_1 จะกำหนดขดไพรมารี่และขดเซคันดารี่ให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q_1 นำกระแส ไดโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส จึงมีการสะสมพลังงานที่ขดไพรมารี่ของหม้อแปลง T_1 แทน เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก T_1 ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วแรงดันที่ขดไพรมารี่และเซคันดารี่ D_1 ก็จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง พลังงานที่สะสมในขดไพรมารี่ของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังขดเซคันดารี่ และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาท์พุต C_o แล้วโหลดได้ ค่าของแรงดันทีเอาท์พุตของคอนเวอร์เตอร์ จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่การทำงานของ Q_1 ช่วงเวลานำกระแสของ Q_1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง และค่าของแรงดันที่อินพุต [9]

เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการที่ (2.3)

$$V_{out} = \frac{t_{ON} \times (N_s / N_p)(V_{in} - V_{CE(sat)})}{(T - t_{ON})} - V_D \qquad (2.3)$$

T คือคาบเวลาการทำงานของ Q_1 เป็นวินาที

t_{ON} คือช่วงเวลาที่ Q_1 นำกระแส

N_P คือจำนวนรอบของขดไพรมารี่

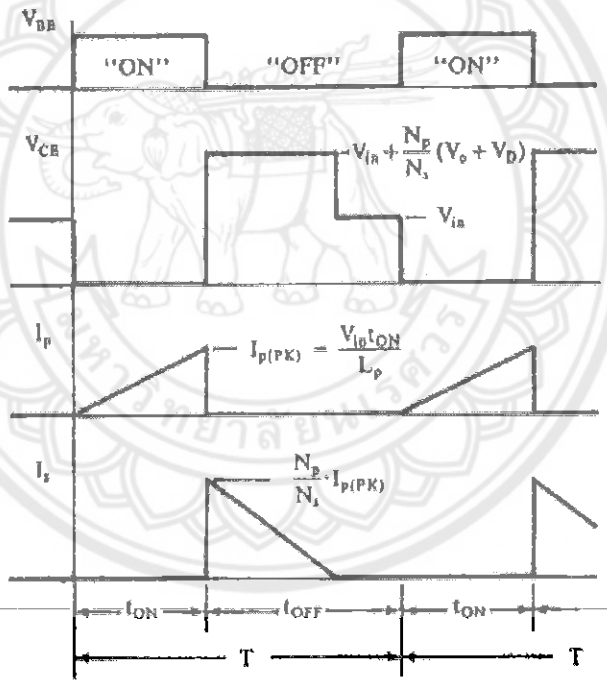
N_S คือจำนวนรอบของขดเซคันดารี่

V_{out} คือแรงดันที่เอาท์พุตของคอนเวอร์เตอร์ เป็นโวลต์

V_{in} คือแรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ เป็นโวลต์

$V_{CE(sat)}$ คือแรงดันตกคร่อม Q_1 ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว เป็นโวลต์

V_D คือแรงดันที่ตกคร่อมไดโอด D_1 ขณะนำกระแส เป็นโวลต์



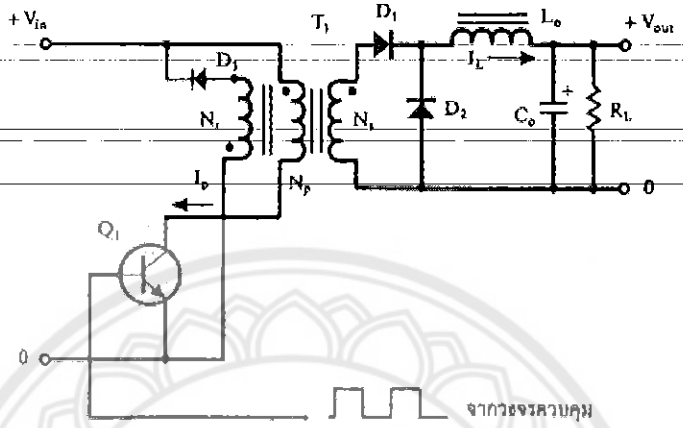
รูปที่ 2.18 ลักษณะของกระแสและแรงดันในวงจรขณะทำงาน

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังงานได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMI ค่อนข้างสูง แต่ใช้อุปกรณ์น้อยและมีราคาถูก

2.2.2 ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)

วงจรพื้นฐานของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.19 จะเห็นได้ว่าฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่พื้นฐานการทำงานจะแตกต่างกัน

คือ หม้อแปลงในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานในช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแส ต่างจากฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ซึ่งหม้อแปลงจะสะสมพลังงานในช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแส แล้วจึงถ่ายเทพลังงานออกไปขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส

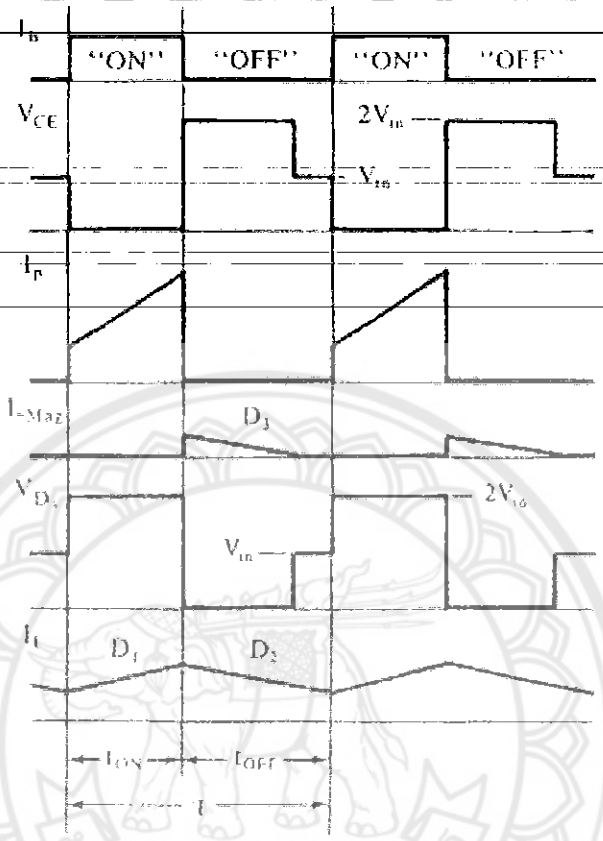


รูปที่ 2.19 วงจรพื้นฐานของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์คือ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันไป เมื่อ Q_1 นำกระแส จะมีกระแส I_P ไหลผ่านขดไพรมารี่ N_P และตัวมัน เนื่องจากหม้อแปลง T_1 ในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์จะกำหนดขดไพรมารี่และเซคันดารี่ให้มีเฟสตรงกัน ดังนั้นไดโอด D_1 จึงถูกไบแอสตรง ทำให้มีกระแสไหลที่เซคันดารี่ N_S ผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_o ไปยังตัวเก็บประจุเอาท์พุต C_o และโหลด R_L ได้ ขณะที่มีกระแสไหลผ่าน L_o จะมีการสะสมพลังงานไว้ในตัวมันด้วย ส่วนไดโอด D_2 จะอยู่ในลักษณะไบแอสกลับ จึงไม่มีการนำกระแส เช่นเดียวกันไดโอด D_3 เนื่องจากขดดีแมกเนไตซิ่ง Nr ถูกพันไว้ในทิศตรงข้ามกับขดไพรมารี่ N_P ไดโอด D_3 จึงอยู่ในลักษณะไบแอสกลับ และไม่มีประแสไหล เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส ไดโอด D_1 จะถูกไบแอสกลับและจะไม่มีกระแสไหลจากขดเซคันดารี่ N_S แต่ในขณะเดียวกันสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นใน L_o ยุบตัว ทำให้มีการกลับขั้วแรงดันที่ L_o ไดโอด D_2 จึงถูกไบแอสตรง พลังงานที่ถูกสะสมไว้ใน L_o จะถูกถ่ายเทออกมาทำให้มีกระแสไหลผ่าไดโอด D_2 ไปยังตัวเก็บประจุ C_o และโหลด R_L ได้ กระแสที่ไหลผ่านโหลด R_L จึงมีลักษณะต่อเนื่อง ทั้งในช่วงที่ Q_1 นำกระแสและหยุดนำกระแส ทำให้มีการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาท์พุตต่ำกว่าฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

ในขณะที่ Q_1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็กที่ตกค้างภายในหม้อแปลงจะมีการยุบตัวและกลับขั้วแรงดันที่ขด N_p, N_s และ N_r ไดโอด D_3 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง ทำให้มีการถ่ายเทพลังงานที่เหลือค้างนี้ออกไปได้ ขดลวดดีแมกเนไตซิ่ง N_r และไดโอด D_3 นี้มีความสำคัญมาก

เพราะถ้าไม่มีการถ่ายเทพลังงานที่ตกค้างออกไปจากขดไพรมารี่ในขณะที่ Q_1 หยุดนำกระแส เมื่อ Q_1 เริ่มนำกระแสอีกครั้ง สนามแม่เหล็กที่หลงเหลืออยู่จะทำให้ Q_1 เป็นอันตรายได้



รูปที่ 2.20 ลักษณะของกระแสและแรงดันในวงจรขณะทำงาน

สำหรับฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการที่ (2.4)

$$V_{out} = \frac{(N_p / N_s)(V_{in} - V_{CE(sat)})t_{ON}}{T} - V_D \qquad (2.4)$$

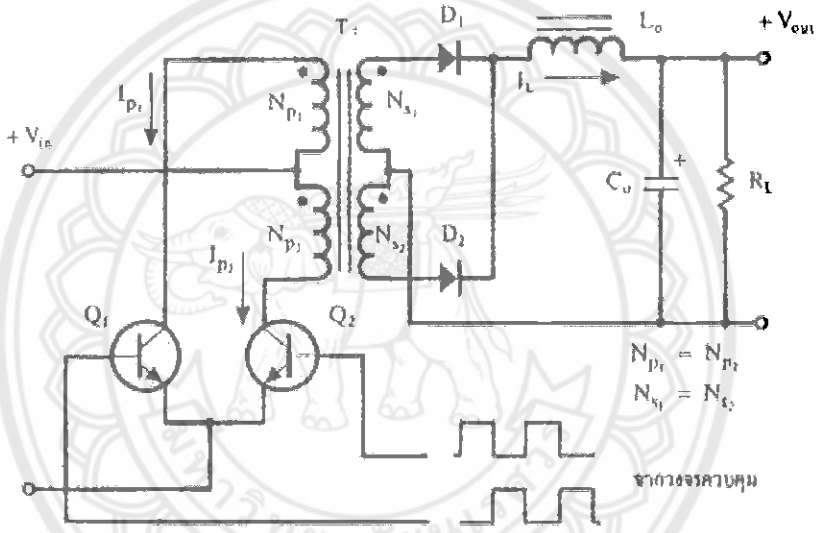
ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ให้กำลังงานได้ในช่วงเดียวกับเฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (ในช่วง 100 - 200 วัตต์) แต่กระแสที่ได้จะมีการกระเพื่อมต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ตัวอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามาจะให้มีราคาสูงกว่า [9]

2.2.3 พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter)

พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่จ่ายกำลังได้สูง ในช่วง 200 - 1000 วัตต์ แต่มีข้อเสียคือมักเกิดการไม่สมมาตรของฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลงซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหาย

ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย ในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมแบบควบคุมกระแสช่วยลดปัญหานี้ลงได้ ดังนั้นพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์จึงเป็นคอนเวอร์เตอร์ที่น่าสนใจสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ต้องการกำลังสูง

การทำงานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ เปรียบเสมือนการนำฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์สองชุดมาทำงานร่วมกัน โดยผลัดกันทำงานในแต่ละครึ่งคาบเวลาในลักษณะกลับเฟส ทำให้จ่ายกำลังได้สูง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรยังคงมีแรงดันตกคร่อมในขณะหยุดนำกระแสค่อนข้างสูง เช่นเดียวกับฟลายแบคและฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ รวมทั้งปัญหาการเกิดฟลักซ์ไม่สมมาตรในแกนเฟอร์ไรต์ของวงจร ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายง่าย พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เป็นพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์ และฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งมีการทำงานคล้ายกัน แต่มีข้อบกพร่องน้อยกว่า



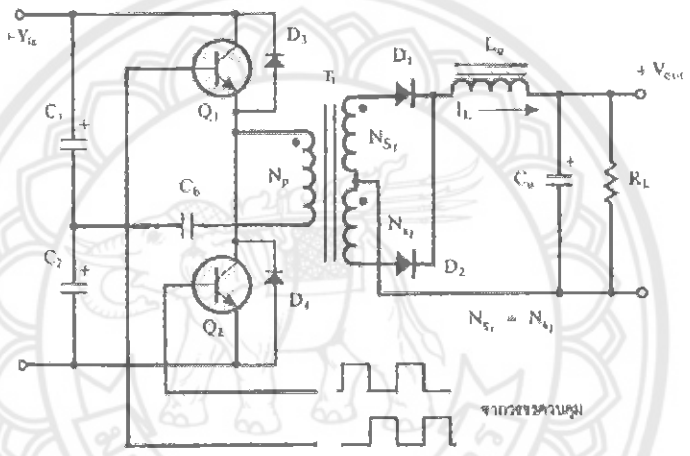
รูปที่ 2.21 วงจรพื้นฐานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.21 จากรูป Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานโดยผลัดกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบเวลา T ในขณะที่ Q_1 นำกระแสจะมีกระแส I_P ไหลผ่านขดไพรมารี่ N_{P1} และไดโอด D_1 จะถูกไบแอสกลับ ส่วนไดโอด D_2 จะถูกไบแอสตรง ทำให้มีกระแสไหลที่ขดไพรมารี่ N_{S2} ผ่านไดโอด D_2 และ L_o ไปยังตัวเก็บประจุ C_o และโหลด R_L ในจังหวะนี้แรงดันตกคร่อม Q_2 จะมีค่าเป็น 2Vin (จำนวนรอบ $N_{P1} = N_{P2}$ และ $N_{S1} = N_{S2}$) ในทำนองเดียวกันขณะที่ Q_2 นำกระแส Q_1 และ D_2 จะไม่นำกระแสเนื่องจากถูกไบแอสกลับ D_1 ซึ่งถูกไบแอสตรงจะนำกระแสจากขดเซคันดารี่ N_{S1} ผ่าน L_o ไปยังตัวเก็บประจุ C_o และโหลด จะเห็นได้ว่าในหนึ่งคาบเวลาการทำงาน ขดเซคันดารี่จะให้กระแสไหลผ่าน L_o ได้ถึงสองครั้ง พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์จึงสามารถจ่ายกำลังงานได้มากเป็นสองเท่าของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ที่ค่ากระแสสูงสุดด้าน

ไพรมารี่มีค่าเท่ากัน และโหลดมีกระแสไหลต่อเนื่องตลอดเวลา กระแสที่ได้ทางเอาท์พุตจึงค่อนข้างเรียบ

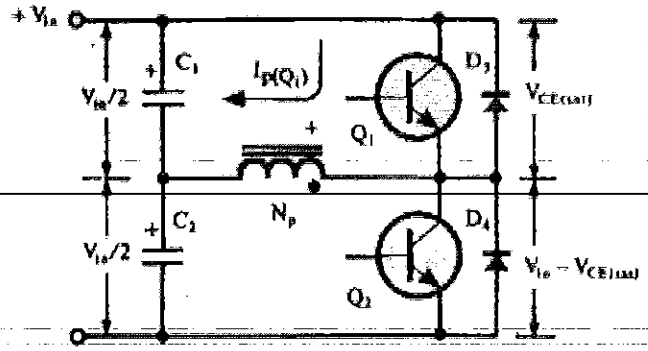
2.2.4 ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter)

ฮาลฟ์บริดจ์คอนเวอร์เตอร์จัดอยู่ในตระกูลเดียวกับพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ แต่ลักษณะการจัดวงจรจะทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรมีแรงดันตกคร่อมขณะหยุดนำกระแสเพียงค่าแรงดันอินพุตเท่านั้น ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้มีราคาถูก และหาได้ง่ายกว่า และลดข้อจำกัดเมื่อใช้กับระบบแรงดันไฟสูงได้มาก รวมทั้งยังไม่มีปัญหาการไม่สมมาตรของฟลักซ์ในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงได้ด้วย

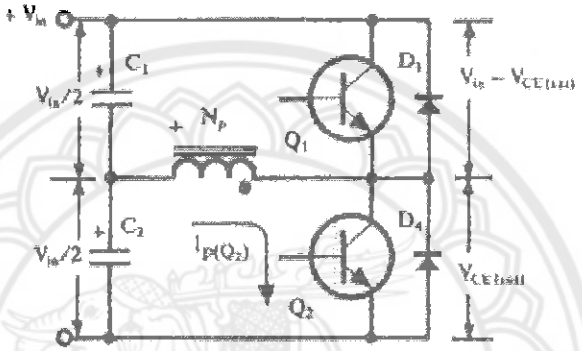


รูปที่ 2.22 วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 2.22 การทำงานเป็นดังต่อไปนี้ ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากัน ต่ออนุกรมกันอยู่ทางด้านอินพุตเพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน ทำให้แรงดันที่ตกคร่อม C_1 และ C_2 มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันที่อินพุต เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานคนละครึ่งคาบเวลาเช่นเดียวกับพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาวงจร จะพิจารณาในกรณีที่ไม่มีตัวเก็บประจุ C_B ต่ออยู่ในวงจร โดยให้ปลายของขดไพรมารี่ N_P ที่ต่ออยู่กับ C_B นั้นต่อโดยตรงเข้ากับจุดต่อระหว่างตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ดังแสดงในรูปที่ 2.23



(ก)



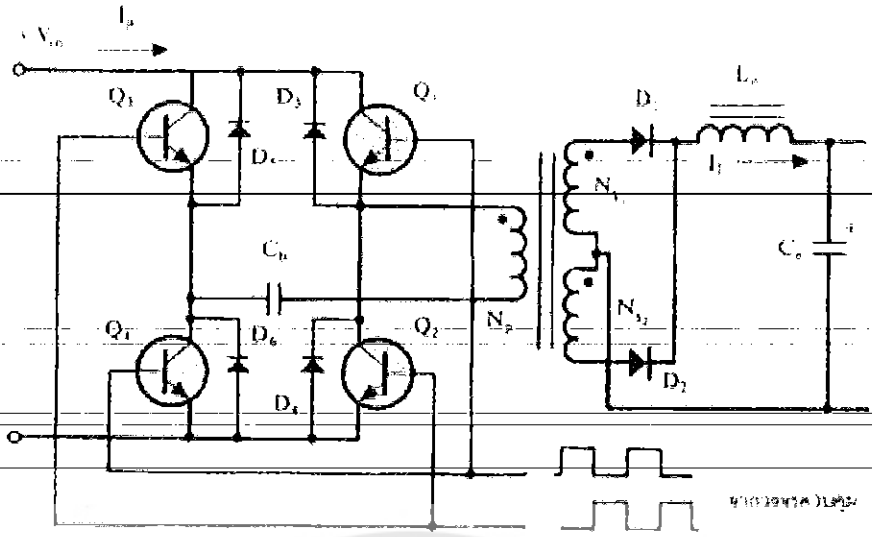
(ข)

รูปที่ 2.23 (ก) ขณะ Q_1 นำกระแส (ข) ขณะ Q_2 นำกระแส

เมื่อ Q_1 เริ่มนำกระแส และ Q_2 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q_2 จะมีค่าเท่ากับ Vin-Vce(sat) ส่วนแรงดันตกคร่อมของไพรมารี่ N_p จะเท่ากับ Vc_1 - Vce(sat) หรือมีค่าเท่ากับ Vin/2 - Vce(sat) ในทำนองเดียวกัน เมื่อ Q_2 นำกระแส และ Q_1 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q_1 จะเท่ากับ Vin-Vce(sat) เช่นเดียวกัน แรงดันตกคร่อมที่ขดไพรมารี่ N_p ก็ยังคงมีค่าเท่ากับ Vin/2 - Vce(sat) เนื่องจาก Vce(sat) มีค่าประมาณ 0.5-1 โวลต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงดันตกคร่อม Q_1 และ Q_2 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเพียงแรงดันอินพุตเท่านั้น ผลของการทำงานของ Q_1 และ Q_2 ที่ด้าน เซคันดารี่ จะมีลักษณะเดียวกันกับพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

2.2.5 ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Converter)

ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมขดไพรมี่ เท่ากับแรงดันอินพุต แต่แรงดันที่ตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นั้น จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุตเท่านั้น และค่ากระแสสูงสุดที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนั้น มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่ากระแสสูงสุดในฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่กำลังขาออกเท่ากัน เนื่องจากข้อจำกัดด้านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดน้อยลงไป กำลังงานสูงสุดที่ได้จากฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จึงมีค่าสูง ตั้งแต่ 500 - 1000 วัตต์



รูปที่ 2.24 วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

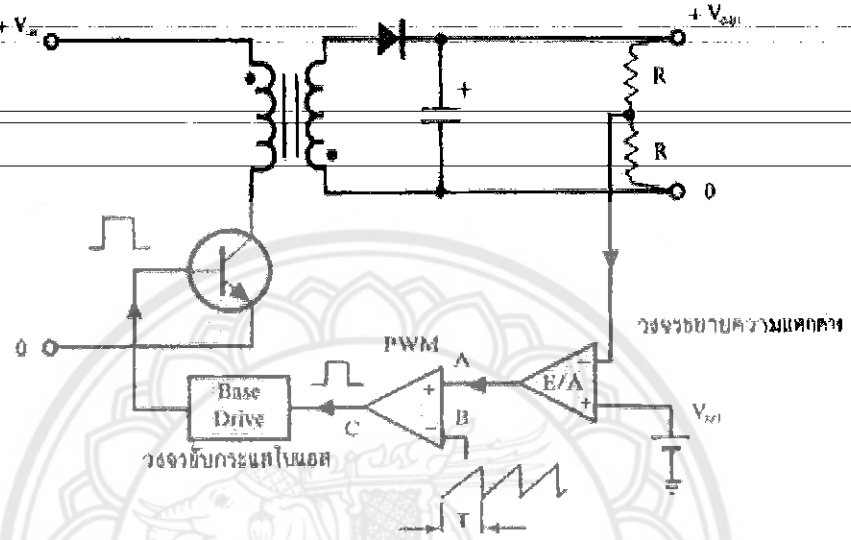
วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงในรูปที่ 2.24 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวจะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันเป็นคู่ๆ ในแต่ละครึ่งคาบเวลา Q_1 และ Q_4 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลา และเมื่อหยุดนำกระแส Q_2 และ Q_3 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาที่เหลือ สลับกันเช่นนี้เรื่อยไป ลักษณะการทำงานของวงจรที่ได้จึงเป็นเช่นเดียวกับฮาลฟ์บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ยกเว้นแรงดันตกคร่อมขดไพรมารี่จะมีค่าเท่ากับ Vin - 2Vce(sat) ดังนั้นผลของการทำงานของวงจรจึงเหมือนกับผลที่ได้จากพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์นั้นเอง ส่วนตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง Cb จะมีผลเช่นเดียวกับวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะเห็นได้ว่าแรงดันที่ตกคร่อม Q_1 และ Q_4 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ $Vin-Vceq_2(sat)$ และ $Vin-Vceq_3(sat)$ ตามลำดับ ส่วนแรงดันที่ตกคร่อม Q_2 และ Q_3 ขณะหยุดนำกระแสก็จะมีค่า $Vin-Vceq_1(sat)$ และ $Vin-Vceq_4(sat)$ ตามลำดับเช่นเดียวกัน ส่วนไดโอด D_3-D_6 ทำหน้าที่เป็นดอมมิวเตติ้งไดโอดให้กับวงจร เพื่อป้องกัน Q_1-Q_4 เช่นเดียวกับฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

2.3 วงจรควบคุม (Controller)

เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์เกือบทุกแบบจะคงค่าแรงดันเอาท์พุตได้ด้วยการควบคุมช่วงเวลานำกระแส (t_{ON}) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นวงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปจึงมักนิยมใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM) เป็นหลัก การใช้ PWM เพื่อควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์สามารถทำได้สองลักษณะ คือ ควบคุมจากแรงดัน และ ควบคุมจากกระแส [8]

2.3.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน

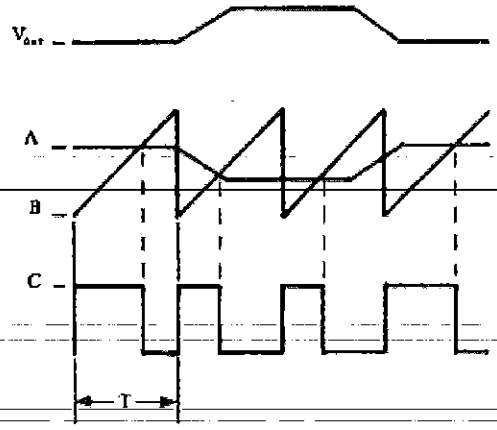
การทำงานของวงจรควบคุมในโหมดแรงดัน (Voltage Mode Control) จะอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันที่เอาท์พุตมาควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อการคงค่าแรงดันเอาท์พุตเป็นหลัก วงจรพื้นฐานเป็นดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 วงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน

จากรูปที่ 2.25 วงจรควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาท์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง Vref ของวงจร เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาท์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่าง E/A ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ตำแหน่ง A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อยที่ตำแหน่ง B ของ PWM อีกครั้งหนึ่ง เอาท์พุตที่ได้จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อยและมีความกว้างของพัลส์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปผลของการมอดูเลตชั่นของค่าแรงดันที่ตำแหน่ง A และ B ค่าความกว้างของพัลส์นี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์

เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ขาอินเวอร์ติ้ง ผลต่างของแรงดันเอาท์พุต และแรงดันอ้างอิงที่จุด A จึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่ 180 องศา กล่าวคือ เมื่อแรงดันเอาท์พุตมีค่ามากขึ้น แรงดันที่จุด A จะมีค่าลดลง ความกว้างของพัลส์ที่เอาท์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าลดลงด้วย และช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ t_{ON} ก็จะมีค่าลดลง ถ้าแรงดันเอาท์พุตมีค่าลดลง แรงดันที่จุด A จะมีค่าเพิ่มขึ้น ความกว้างพัลส์ที่เอาท์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าเพิ่มขึ้น t_{ON} ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้คอนเวอร์เตอร์สามารถคงค่าแรงดันเอาท์พุตไว้ได้ ลักษณะรูปคลื่นแรงดันขณะวงจรทำงานจะเป็นดังรูปที่ 2.26

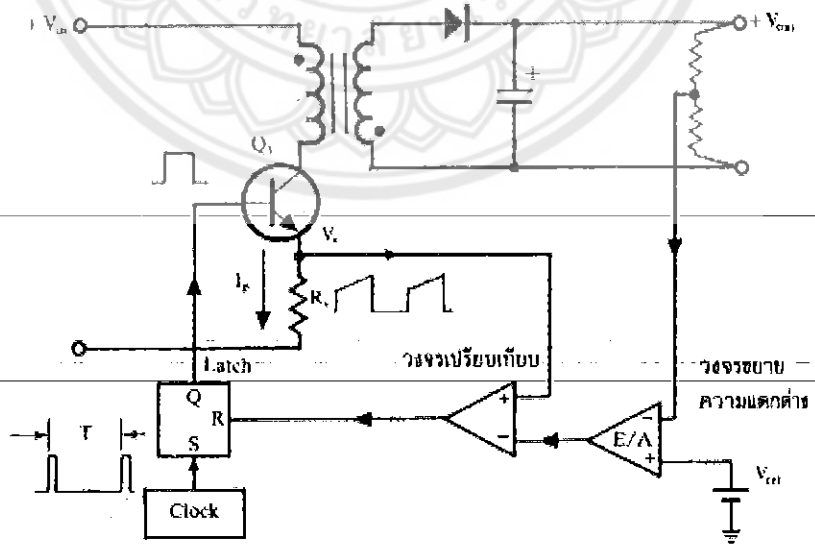


รูปที่ 2.26 ลักษณะความกว้างของพัลส์จาก PWM

ตัวอย่าง IC ที่ใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดันได้แก่ MC34060, MC34166 และ TL494 เป็นต้น

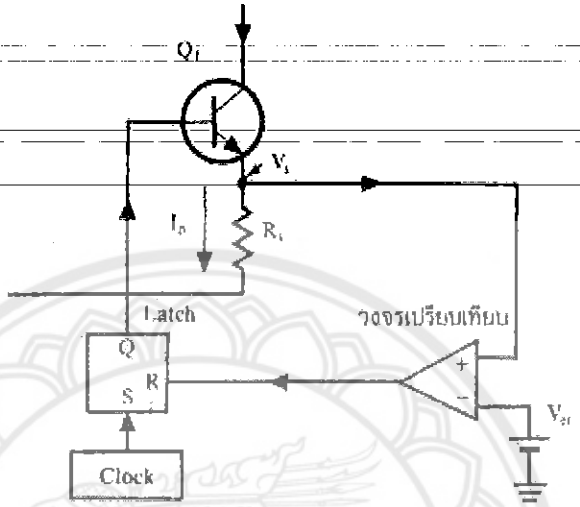
2.3.2 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส

การคงค่าแรงดันเอาท์พุตของคอนเวอร์เตอร์ ด้วยวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส (Current Mode Control) มีข้อดีหลายประการที่เหนือกว่าโหมดควบคุมจากแรงดัน จึงเป็นวงจรควบคุมที่นิยมใช้กันมาก วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแสนี้ยังคงใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์เช่นกัน วงจรพื้นฐานแสดงในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 วงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส

เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา เราจะแยกคิดการทำงานของวงจรควบคุมด้วยการตัดวงจรขยายความแตกต่าง E/A ออกไปก่อน และกำหนดขาอินเวอร์ติ้งของวงจรเปรียบเทียบให้ต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง Ver ดังรูปที่ 2.28 วงจร latch จะทำงานโดยขา Q ของวงจร latch จะมีสถานะเป็น high เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา S และขา Q จะมีสถานะเป็น low เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา R



รูปที่ 2.28 วงจรควบคุมเมื่อตัดตัวขยายความแตกต่างออก

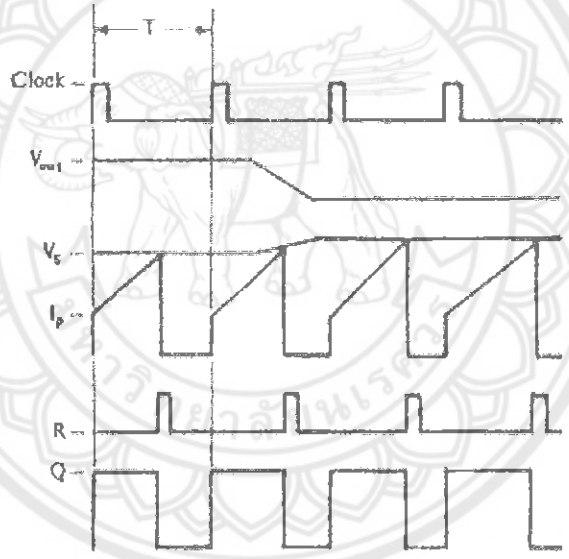
เมื่อวงจรทำงาน วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา จะให้กำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีคาบเวลาคงที่ไปกระตุ้นที่ขา S ของ latch ขา Q จึงมีสถานะเป็น high เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะเริ่มนำกระแส เมื่อ Q_1 นำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านขดไรมารี่และตัวต้านทาน R_S ที่ต่ออนุกรมไว้กับ Q_1 ทำให้เกิดแรงดัน V_S ตกคร่อมที่ตัวต้านทาน R_S ด้วย

แรงดันตกคร่อม R_S ที่เกิดขึ้นจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง Ver โดยวงจรเปรียบเทียบ เมื่อค่าของ V_S เพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าค่าของแรงดันอ้างอิง Ver เอาท์พุตของวงจรเปรียบเทียบจะมีสถานะเป็น high และไปกระตุ้นที่ขา R ของวงจร latch ทำให้ขา Q มีสถานะเป็น low และเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 หยุดนำกระแส จนกว่าที่ขา S ของวงจร latch จะได้รับการกระตุ้นจากสัญญาณนาฬิกาอีกครั้ง

จะเห็นได้ว่าความกว้างของเอาท์พุตพัลส์ที่ขา Q ของวงจร latch จะถูกควบคุมโดยค่าของแรงดัน V_S ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_S ถ้าค่าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น แรงดัน V_S จะเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิง Ver ได้เร็วขึ้นด้วย ทำให้ความกว้างของเอาท์พุตพัลส์ลดลง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีช่วงเวลานำกระแสน้อยลง ในทางกลับกัน ถ้าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าลดลง แรงดัน V_S จะเพิ่มขึ้นได้ช้า ความกว้างของเอาท์พุตพัลส์จึง เพิ่มขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีช่วงเวลานำกระแสมากขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าเมื่อโหลดคงที่คอนเวอร์เตอร์

จะสามารถคงค่าแรงดันเอาท์พุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้ โดยไม่ต้องอาศัยการป้อนกลับแรงดันที่เอาท์พุตเลย ทำให้คอนเวอร์เตอร์ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้อย่างรวดเร็ว

พิจารณาวงจรควบคุมอีกครั้งตามวงจรในรูปที่ 2.27 เมื่อต่อวงจรขยายความแตกต่าง E/A เพิ่มเข้ามา วงจรในลักษณะนี้เมื่อแรงดันเอาท์พุตมีค่าลดลง เอาท์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่ามากขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะใช้เวลานำกระแสมากขึ้นด้วย เพื่อให้ค่าแรงดัน V_s มากกว่าแรงดันที่เอาท์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A ในทางกลับกัน เมื่อแรงดันเอาท์พุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น เอาท์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง E/A จะมีค่าลดลง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงใช้เวลานำกระแสลดลงด้วย ดังนั้นคอนเวอร์เตอร์จะสามารถคงค่าแรงดันที่เอาท์พุตเอาไว้ได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด ลักษณะรูปคลื่นและแรงดันขณะที่วงจรทำงานเป็นดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 ลักษณะการทำงานที่จุดต่างๆของวงจร

จากลักษณะการทำงานดังกล่าว ทำให้วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแสมีข้อดีมากกว่าวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน [7]

1. ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้รวดเร็วกว่า ทำให้ลดปัญหาการคงค่าแรงดันที่เอาท์พุตเมื่อเกิดทรานเซียนส์และการกระเพื่อมของแรงดันสูงที่แรงดันอินพุต เพราะไม่ต้องรอสัญญาณป้อนกลับจากเอาท์พุต

2. สามารถป้องกันกระแสโหลดเกินได้ ด้วยการจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่ขดไพรมารี่ในลักษณะพัลส์ต่อพัลส์อย่างรวดเร็ว

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3. ให้ค่าไลน์เรกูเลชั่นที่ดีมาก

4. โดยการจำกัดกระแสสูงสุดที่ขดไพรมารี่ ปัญหาการไม่สมมาตร ฟลักซ์แม่เหล็กของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์จะไม่เกิดขึ้น

5. สามารถต่อขนานคอนเวอร์เตอร์หลายชุดเข้าด้วยกันได้ เพื่อให้จ่ายกระแสได้มากขึ้น และกระแสเฉลี่ยที่คอนเวอร์เตอร์แต่ละชุดจะมีค่าเท่ากัน

ตัวอย่าง IC ที่ใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากกระแสได้แก่ UC3842/3/4/5, MC34023/5 และ MC34129 เป็นต้น

ว 7329 18

ปร.
ว 4939
2551

บทที่ 3

การประกอบวงจร

วงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250 ออกแบบให้ลดความยุ่งยากในการพันหม้อแปลง และมีอุปกรณ์น้อย สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250 เป็นการพัฒนาวงจรต่อยอดจากสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อนำมาใช้ในเครื่องขยายเสียง วงจรนี้ออกแบบโดยคุณ คมสันต์ ปักกะโต

3.1 รายการอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

ตัวต้านทาน

R1 - 39KΩ	1%	1/2W	1 ตัว
R2, R9, R10 - 1KΩ	1%	1/4W	3 ตัว
R3, R5 - 4.7KΩ	1%	1/4W	2 ตัว
R4 - 27KΩ	1%	1/4W	1 ตัว
R6 - 10KΩ	1%	1/4W	1 ตัว
R7 - 510KΩ	1%	1/4W	1 ตัว
R8 - 18KΩ	1%	1/4W	1 ตัว
R11 - 1.5KΩ	5%	1/4W	1 ตัว
R12, R13 - 39Ω	5%	1/4W	2 ตัว
R14, R15 - 2.7KΩ	5%	1/4W	2 ตัว
R16, R17 - 2.2Ω	5%	1/4W	2 ตัว
R18, R19 - 150KΩ	5%	1/2W	2 ตัว
R20 - 330KΩ	5%	1/2W	1 ตัว
R21 - 10KΩ POT			1 ตัว
R22, R23 - 2.2KΩ	5%	5W	2 ตัว
R24 - 47Ω	5%	2W	1 ตัว
R25 - 5Ω 5A NTC Thermistor			1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

C1 - 33nF 50V Polyester	1 ตัว
C2 - 2.2uF 50V Electrolyte	1 ตัว

C3, C4, C5, C6, C7, C8 - 470uF 63V Electrolyte	6 ตัว
C9, C10, C11 - 100nF 63V Polyester	3 ตัว
C12 - 1nF 63V Polyester	1 ตัว
C13 - 100nF 63V Polyester	1 ตัว
C14, C16, C17 - 1uF 50V Electrolyte	3 ตัว
C15 - 47uF 25V Electrolyte	1 ตัว
C18 - 2.2nF 1kV Ceramic	1 ตัว
C19 - 1uF 250V Polyester	1 ตัว
C20, C23 - 100nF 250V CX Grad	2 ตัว
C21, C22 - 4.7nF 1kV CY Grad	2 ตัว
C24, C25 - 470uF 200V Electrolyte	2 ตัว

ตัวเหนี่ยวนำ

L1 - 22uH T130-8 Micrometals	1 ตัว
L2 - EMI Filter	1 ตัว

หม้อแปลง

T1 - EE-16	1 ตัว
T2 - ETD 42/35/12	1 ตัว
T3 - 15V 50mA (000031-1)	1 ตัว

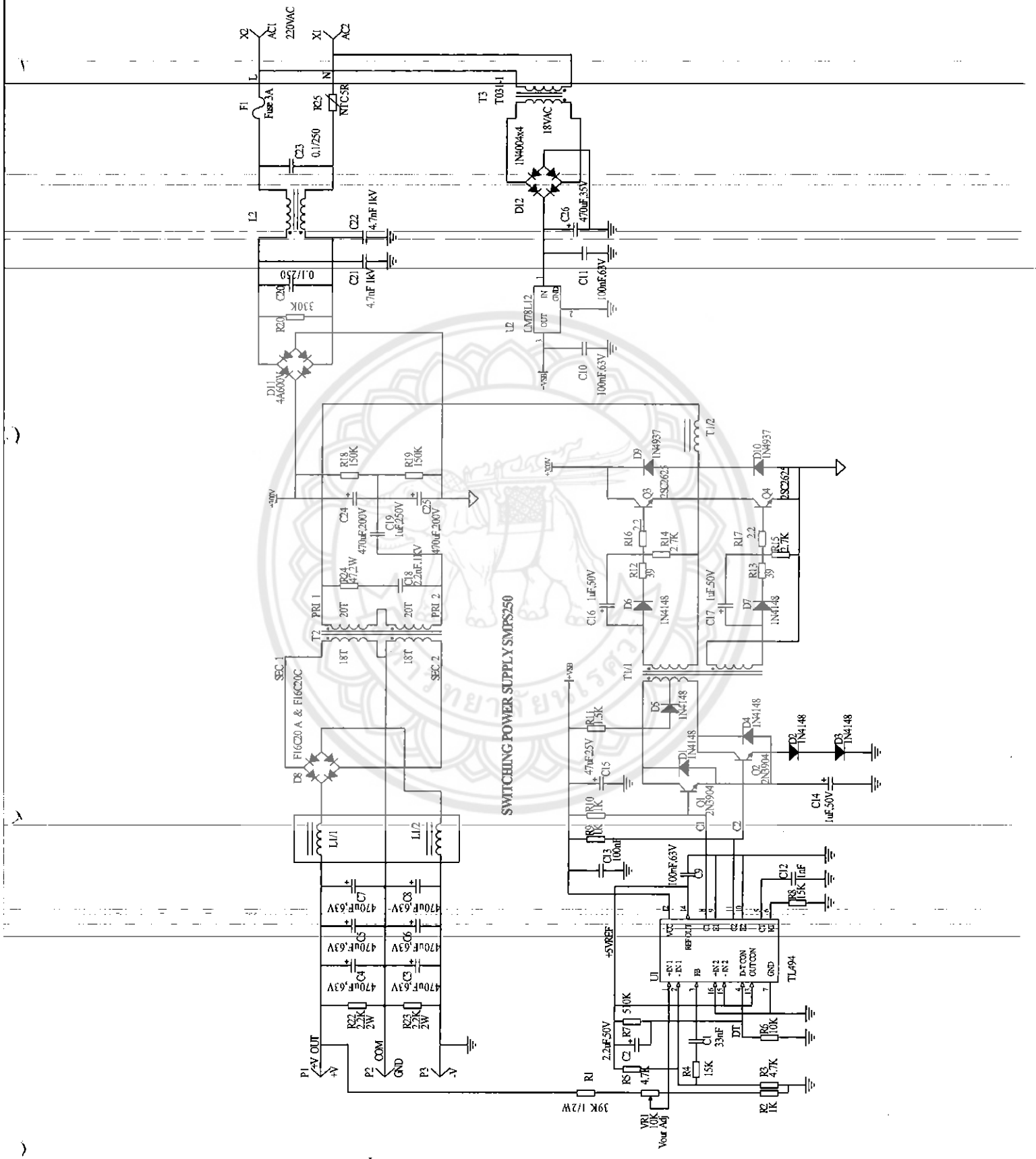
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7 - 1N4148	7 ตัว
D8 - F16C20A & F16C20C Dual Ultra fast Diode	1 ตัว
D9, D10 - 1N4937	2 ตัว
D11 - KBL404 4A400V Bridge Diode	1 ตัว
D12 - 1N4004*4 Bridge Diode	1 ตัว
Q1, Q2 - 2N3904	2 ตัว
Q3, Q4 - 2SC2625	2 ตัว
U1 - TL494C2	1 ตัว
U2 - LM78L12	1 ตัว

อื่นๆ

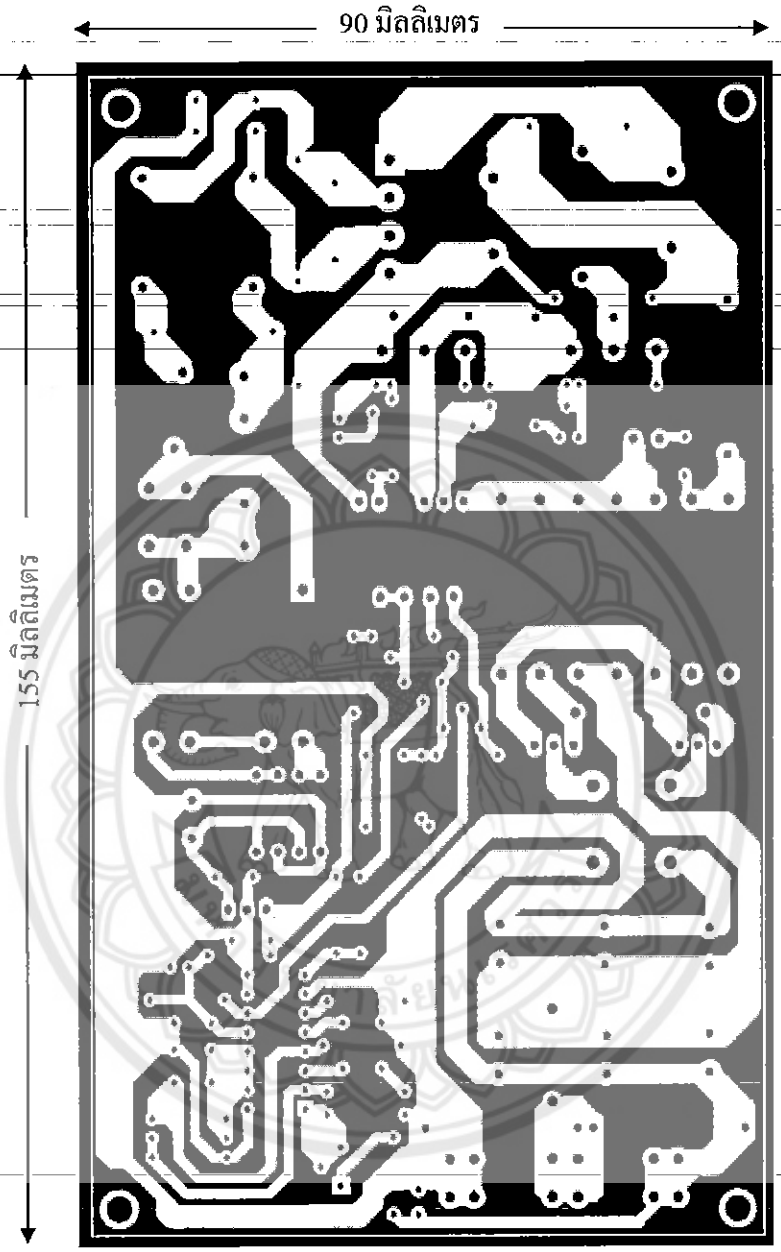
F1 - Fuse 3A	1 ตัว
Fuse Socket	1 ตัว
Heat Sink	1 ตัว
PCB Terminal	
ลวดทองแดงอาบน้ำยา	
Ect.	

3.2 แบบวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250



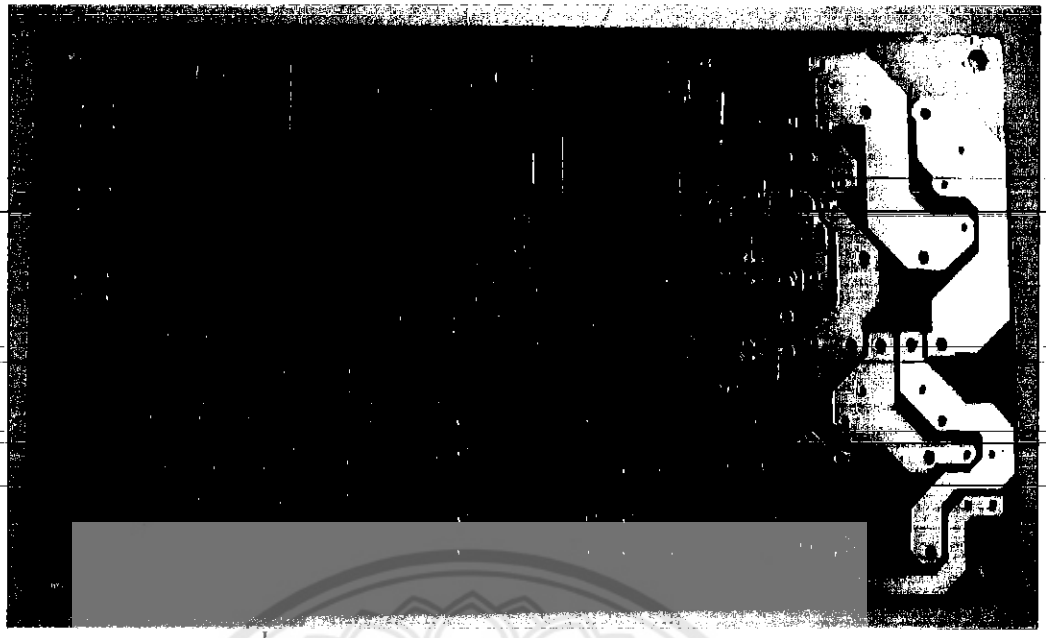
รูปที่ 3.1 วงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250

3.3 ลายทองแดงออกแบบด้วยโปรแกรม PROTEL DXP



รูปที่ 3.2 ลายทองแดงสำหรับ ดรายฟิล์มด้านล่าง ขนาดเท่าของจริง

จากรูปลายวงจรที่ได้ เป็นการออกแบบด้วยโปรแกรม PROTEL DXP ในบทนี้แล้วต้องนำไปกัดให้ได้แผ่น PCB สำเร็จรูปเพื่อที่จะทำการลงอุปกรณ์ต่อไป ซึ่งแผ่น PCB เมื่อนำไปกัดเสร็จแล้วจะมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 3.3 แผ่น PCB ของวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

3.4 การลงอุปกรณ์ลงบนแผ่น PCB

การลงอุปกรณ์ควรเริ่มจากอุปกรณ์ที่มีความสูงน้อยที่สุดก่อน เพื่อความสวยงามและการประกอบที่ง่าย โดยให้เริ่มลงอุปกรณ์เตี้ยๆก่อนเช่น จัมพ์เปอร์ ตัวต้านทาน ไดโอด ขั้วต่อต่างๆ ทรานซิสเตอร์ ตัวเก็บประจุ ขดลวด และสุดท้ายคือ หม้อแปลงสวิตชิง สำหรับอุปกรณ์ที่มีขั้วต่างๆ ควรใช้ความระมัดระวังในการประกอบวงจรก่อนการใส่อุปกรณ์เหล่านี้จะต้องให้ขั้วที่แผ่น PCB กับตัวอุปกรณ์ให้ตรงกันเพราะใส่กลับขั้วกันแล้ว อาจจะทำให้อุปกรณ์หรือวงจรเสียหายได้ ในการบัดกรีให้ใช้หัวแร้งขนาดไม่เกิน 40 วัตต์ และใช้ตะกั่วบัดกรีที่มีอัตราส่วนดีบุกและตะกั่วอยู่ระหว่าง 60/40 ทั้งนี้จะต้องมีน้ำยาประสานอยู่ภายในตะกั่วด้วย หลังจากที่ได้ใส่อุปกรณ์และทำการบัดกรีเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้เกิดความมั่นใจแก่ตัวเราเอง แต่ถ้าใส่อุปกรณ์ผิดตำแหน่ง ควรใช้ที่ดูดตะกั่วหรือลวดซับตะกั่วเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดกับลายวงจรได้

รูปที่ 3.4 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์การทำงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์การทำงานสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250 เพื่อให้การวิเคราะห์ผล มีความเข้าใจที่ง่ายขึ้น จะแบ่งวงจรออกเป็น 6 ส่วนด้วยกัน คือ

4.1 วงจรเรกติไฟร์และวงจรฟิลเตอร์ด้านอินพุต

4.2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันสำหรับวงจรควบคุม

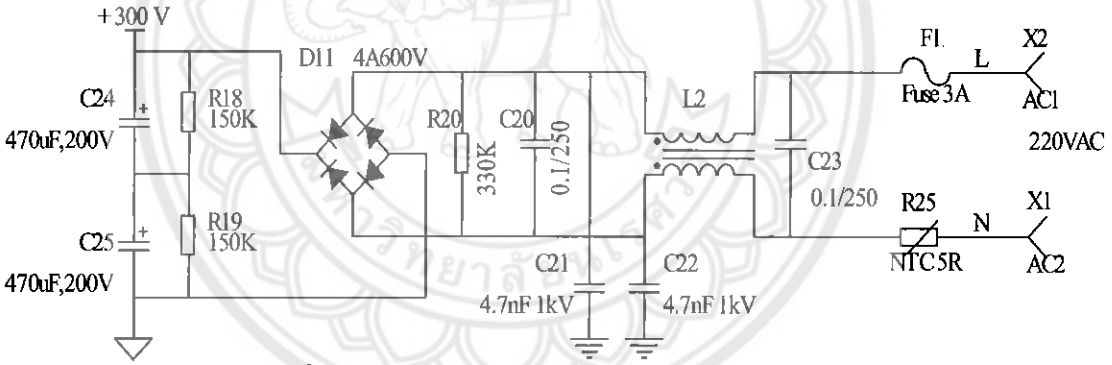
4.3 วงจรควบคุม

4.4 วงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

4.5 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

4.6 วงจรเรกติไฟร์และวงจรฟิลเตอร์ด้านเอาท์พุต

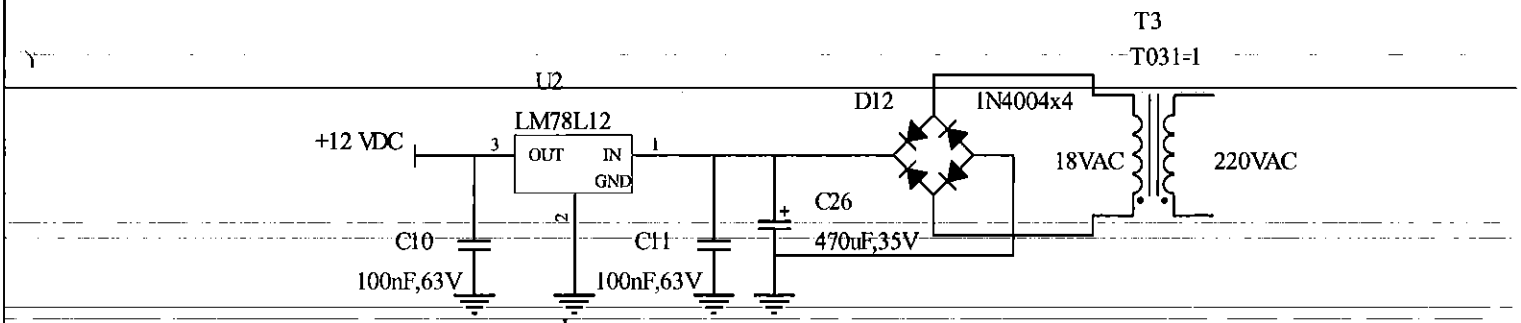
4.1 วงจรเรกติไฟร์และวงจรฟิลเตอร์ด้านอินพุต



รูปที่ 4.1 วงจรเรกติไฟร์และวงจรฟิลเตอร์ด้านอินพุต

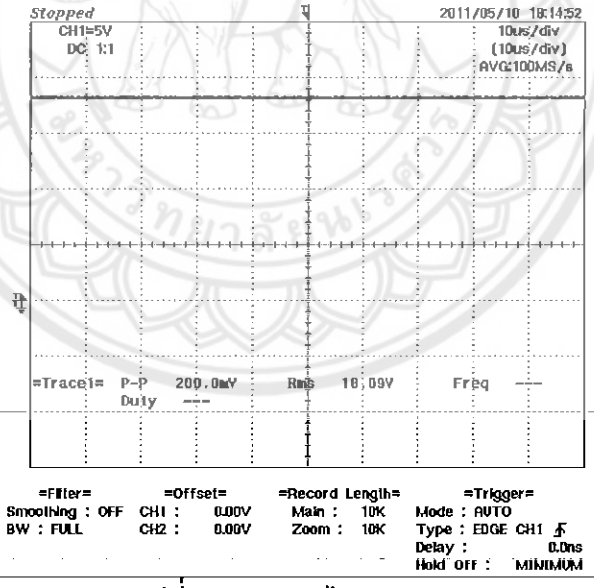
จากรูปที่ 4.1 วงจรทางด้านอินพุต ประกอบไปด้วย F1 ซึ่งใช้ฟิวส์ขนาด 3A เป็นวงจรป้องกันกระแสเกิน ส่วน R_{25} เป็นตัวต้านทานชนิด NTC ทำหน้าที่ป้องกันการกระชากจากการชาร์ตตัวเก็บประจุในตอนเปิดเครื่อง ในส่วนของภาค EMI, RFI Filter ประกอบด้วย C_{20}, C_{21}, C_{22}, C_{23}, R_{20} และ L_2 ทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวนจากสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายไม่ให้ออกไปรบกวนระบบเอซีไลน์ภายนอก ซึ่งในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายทุกเครื่องความจำเป็นต้องมี ส่วน D_{11}, C_{24}, C_{25}, R_{18}, R_{19} ทำหน้าที่เป็นวงจรเรกติไฟร์ต่อเป็นแท็ป แบ่งแรงดันให้มีค่าครึ่งหนึ่งของแรงดันสูงสุด ซึ่งแรงดันในส่วนนี้จะถูกนำไปใช้ในวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ต่อไป แรงดันสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 309 V_{DC} มีค่าแรงดันกระเพื่อม 2 Vp-p หรือประมาณ 0.7 %

4.2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันสำหรับวงจรควบคุม



รูปที่ 4.2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันสำหรับวงจรควบคุม

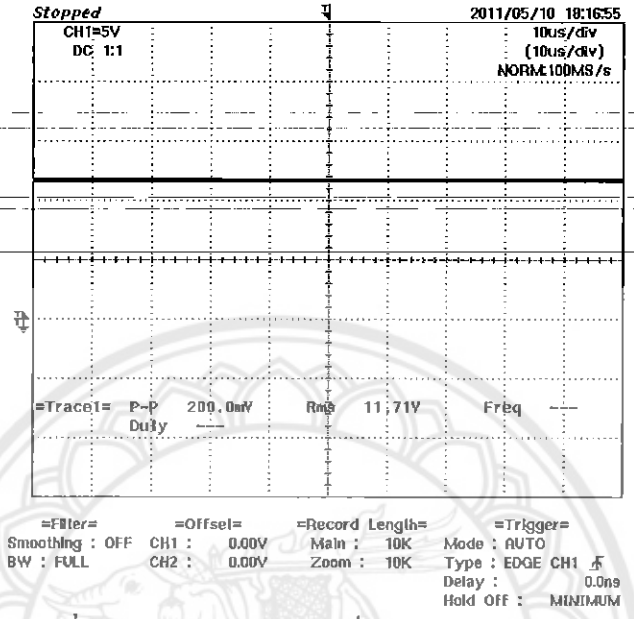
จากรูปที่ 4.2 เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างแรงดันกระแสตรงคงที่ โดยไม่ขึ้นอยู่กับกระแสที่จ่ายให้กับโหลด ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ และไม่ขึ้นกับความแปรผันต่างๆในสายส่งกระแสสลับ จากรูปจะใช้หม้อแปลงเพื่อลดระดับแรงดันไฟกระแสสลับจาก 220 V ลดลงเหลือ 15 V จะถูกไดโอดบริดจ์เร็กติไฟร์ ทั้ง 4 ตัว แปลงแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรง 18 V_{DC} แรงดันกระเพื่อม 200 mV หรือ 1.11 % แสดงผลดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แรงดันไฟกระแสตรง

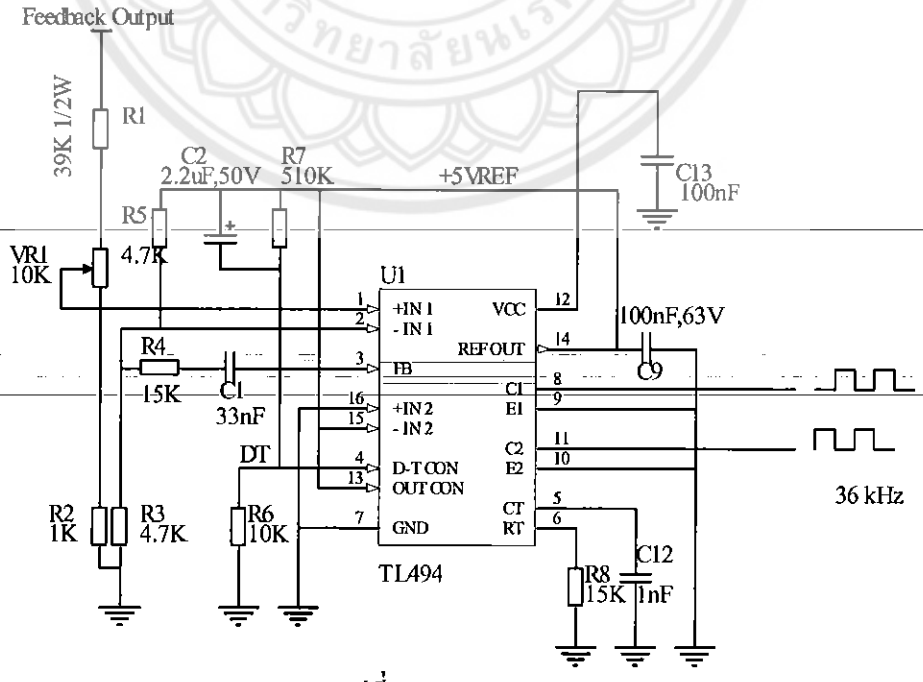
จากนั้นแรงดันไฟกระแสตรงนี้จะเข้าสู่ไอซี LM78L12 โดยตัวเก็บประจุ C_{11} ทำหน้าที่กำจัดผลกระทบของการเหนี่ยวนำที่มีอยู่ในสายส่ง ส่วนตัวเก็บประจุ C_{10} ทำหน้าที่ปรับปรุงคุณภาพของแรงดันกระแสตรงให้ดีขึ้น ในการใช้งานเราไม่ต้องปรับแต่งอะไรเลย โดยแรงดันเอาท์พุตจะถูกตั้งไว้โดยผู้ผลิตตามมาตรฐานของอุตสาหกรรมมีค่าต่างๆ ได้แก่ 5, 6, 8, 12, 15, 18, 24 V [2]

ในวงจรนี้ใช้ LM78L12 ให้แรงดันเอาท์พุต 11.71 V ซึ่งแรงดันไฟกระแสตรงจะมีค่าคงที่มากกว่า เพราะวงจรควบคุมต้องการไฟเลี้ยงที่มีค่าคงที่ให้มากที่สุด เพื่อความเที่ยงตรงของการควบคุม แสดงผลดังในรูปที่ 4.4



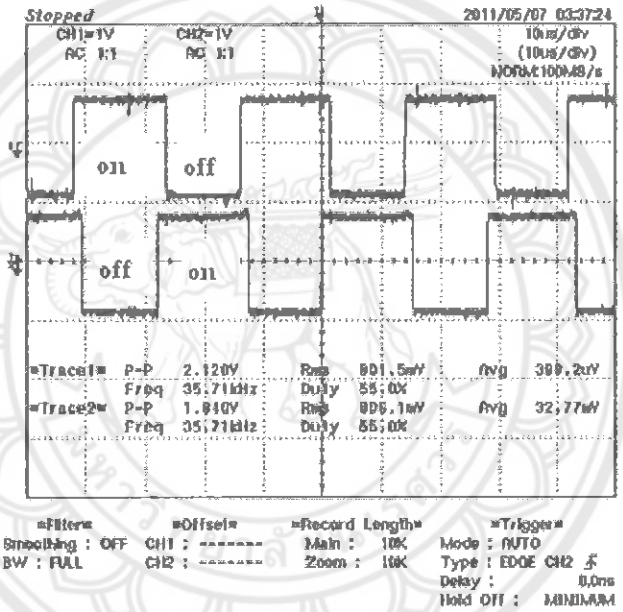
รูปที่ 4.4 แรงดันกระแสตรงที่ออกจากไอซี LM78L12

4.3 วงจรควบคุม



รูปที่ 4.5 วงจรควบคุม

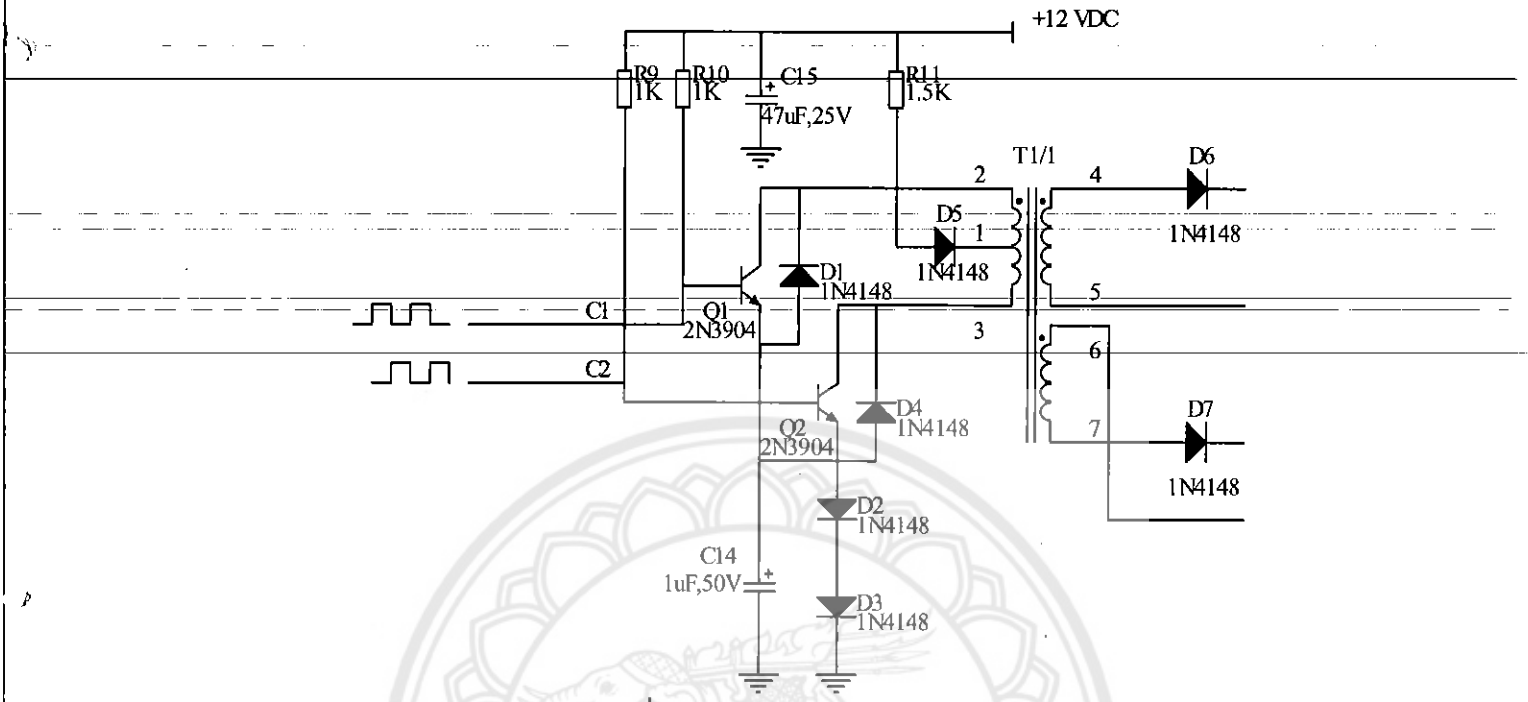
ในส่วนของวงจรควบคุมนี้ใช้ไอซี TL494 ซึ่งกำหนดความถี่สวิตชิงของวงจรไว้ที่ประมาณ 36 KHz โดยค่าของ R_8 และ C_{12} ต่อมาเป็นส่วนของวงจร Soft Start และวงจรกำหนดค่า Death - Time ประกอบด้วย C_2, R_7 และ R_6 ส่วน R_5 และ R_3 ทำหน้าที่แบ่งแรงดันจากแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงภายในไอซีให้เป็น 2.5 V เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบแรงดันเอาท์พุต โดยมี C_1 และ R_4 เป็นวงจรชดเชยลูป การป้อนกลับจะอาศัยการแบ่งแรงดันเอาท์พุตโดย R_1, R_2 และ R_{21} โดยปกติหากโหลดมีค่าคงที่แรงดันตกคร่อม R_2 จะมีค่าเท่ากับแรงดันอ้างอิงที่ขา 2 ของ TL494 แต่เมื่อหากโหลดมีการเปลี่ยนแปลงดึงกระแสมากขึ้นแรงดันจุดนี้จะลดลง ไอซีจะทำการเพิ่มความกว้างของ พัลส์ให้มีความกว้างมากขึ้นเป็นการทำให้แรงดันเอาท์พุตคงที่เสมอ แต่การทำงานจะรวดเร็วหรือมีเสถียรภาพที่ดีนั้นขึ้นอยู่กับวงจรชดเชยลูปหรือค่าของ C_1 และ R_4



รูปที่ 4.6 สัญญาณพัลส์ที่ขา 11 และ8 ของไอซี TL494

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ที่ขา 11 และ 8 ของไอซี TL494 พบว่าสัญญาณพัลส์จะมีมุมเฟสต่างกัน 180 องศา ลักษณะการทำงานจะสลับกัน คือ เมื่อขา 11 นำกระแส ขา 8 จะหยุดนำกระแส ในทางกลับกันเมื่อขา 11 หยุดนำแส ขา 8 จะนำกระแส เพื่อต้องการนำสัญญาณพัลส์ไปขับทรานซิสเตอร์ 2 ตัวให้ผลัดกันทำงาน สัญญาณมีขนาดแอมพลิจูดเท่ากับ 1.8-2.1 Vp-p ซึ่งสัญญาณพัลส์ในส่วนนี้จะนำไปขับทรานซิสเตอร์ในวงจรพุช-พูลคอนเวอเตอร์ต่อไป

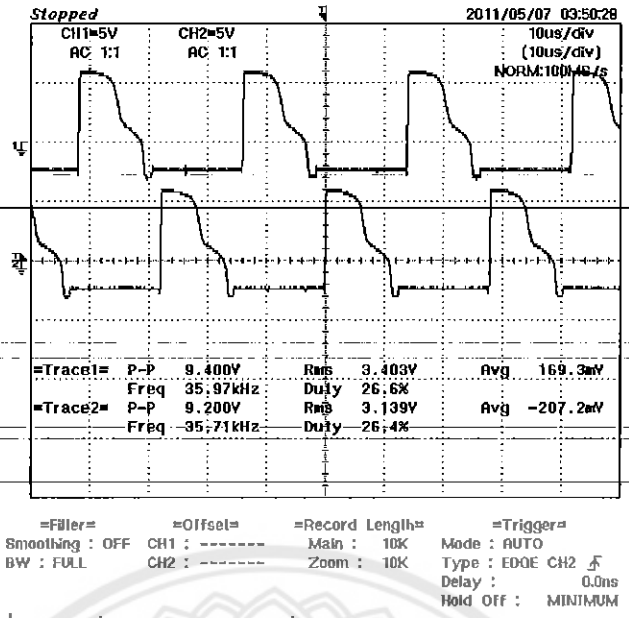
4.4 วงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.7 วงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

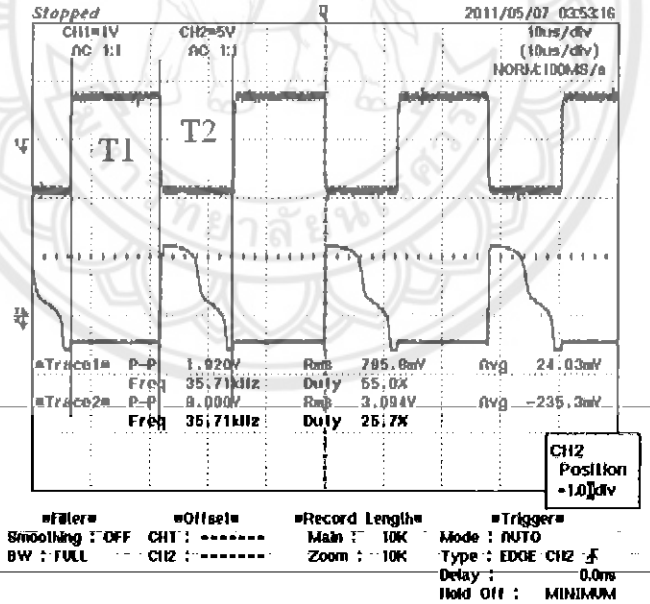
จากรูปที่ 4.7 ใช้ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ต่อเป็นวงจรแบบพุช-พูลขยายสัญญาณเพื่อขับหม้อแปลง สำหรับขับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ D_2, D_3 และ C_{14} ทำหน้าที่เป็นไบอัส ยกระดับแรงดันที่ขาอิมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1และ Q_2 ขึ้นเพื่อให้ทรานซิสเตอร์ภายในไอซี TL494 มีแรงดันสูงพอให้สามารถทำงานได้

ในวงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์นั้น Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานโดยผลัดกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบเวลา ในขณะที่ Q_1 นำกระแสก็จะมีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของ T1 จากจุด 1 ไปยังจุด 2 ดังนั้นจุด 4 และ 6 ทางด้านขดลวดทุติยภูมิจึงมีศักย์เป็นลบเมื่อเทียบกับจุด 5 และ 7 ตามลำดับ D_7 จึงถูกไบแอสตรง ในขณะที่ D_6 ได้รับไอแอสกลับ เมื่อ Q_2 นำกระแสก็จะมีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของ T1 จากจุด 1 ไปยังจุด 3 ดังนั้นจุด 4 และ 6 ทางด้านขดลวดทุติยภูมิจึงมีศักย์เป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด 5 และ 7 ตามลำดับ D_7 จึงถูกไบแอสกลับ ในขณะที่ D_6 ได้รับไบแอสตรง ซึ่งคลื่นสัญญาณพัลส์จะถูกส่งต่อไปยังวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขนาดแอมพลิจูดที่ได้จะมีขนาดเท่ากับ 9 Vp-p ที่ความถี่ประมาณ 36 KHz ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 คลื่นสัญญาณพัลส์ที่ขา C ของทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2

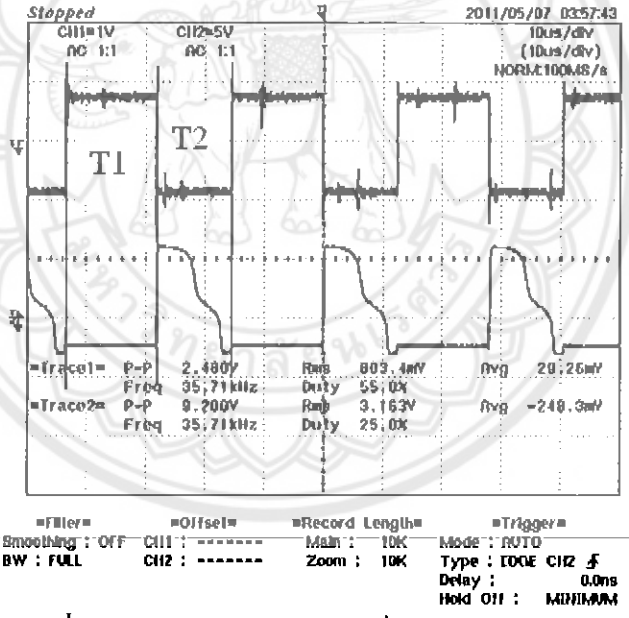
สัญญาณพัลส์ที่ C ของทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 มีขนาดแอมพลิจูดเท่ากับ 9.4 V และ 9.2 V ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 เปรียบสัญญาณพัลส์ที่ขา B และ C ของ Q_1

เมื่อพิจารณาการต่อวงจรของ Q_1 จะพบว่า Q_1 ต่อวงจรแบบอิมิตเตอร์ร่วมซึ่งมีคุณสมบัติการอัตราการขยายกระแสและแรงดันสูงและมีมุมเฟสอินพุตไปยังเอาท์พุตต่างกัน 180 องศา [5] จึงทำให้สัญญาณพัลส์ที่ขา B และ C ของ Q_1 มีลักษณะดังรูปที่ 4.9

พิจารณาที่ช่วงเวลา T_1 กระแสจะไหลจากจุด 1 ไปจุด 2 ที่จุด 1 จะมีศักย์เป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด 2 กระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 และผ่าน Q_1 ลงกราวด์ ที่ช่วงเวลานี้จะมีปริมาณกระแสสูงสุดที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 จึงทำให้แรงดันที่ขา C มีค่าเข้าใกล้ 0 V ค่ากระแสสามารถหาได้จาก I=V/R มีค่าเท่ากับ 8 mA ขณะที่กระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 นั้นจะเกิดการเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปสนามแม่เหล็ก เมื่อถึงช่วงเวลา T_2 Q_1 จะทำตัวเหมือนสวิตช์เปิดวงจรและหยุดนำกระแส ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 จะทำตัวเป็นเหมือนแหล่งจ่ายขนาด 9 V_{DC} และปลดปล่อยพลังงานที่สะสมไว้ที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 ออกมาในรูปของกระแส แต่จะไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับช่วงเวลา T_1 จะไหลจากจุด 2 ไปจุด 1 ที่จุด 1จะมีศักย์เป็นลบเมื่อเทียบกับจุด 2 D_1 จึงไบแอสตรง เพื่อป้องกระแสย้อนกลับไม่ให้ Q_1 พัง จากรูปค่าแอมพลิจูดของคลื่นสัญญาณพัลส์ที่ขา C มีค่าเท่ากับ 9 Vp-p และจะลดระดับแรงดันลงจนเข้าสู่ 0 V ตามความสมการความสัมพันธ์แรงดันและกระแสของตัวเหนี่ยวนำ [3] $V(t)=L\frac{di}{dt}$ เพราะขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 ไม่สามารถปลดปล่อยพลังงานแบบทันทีทันใดได้

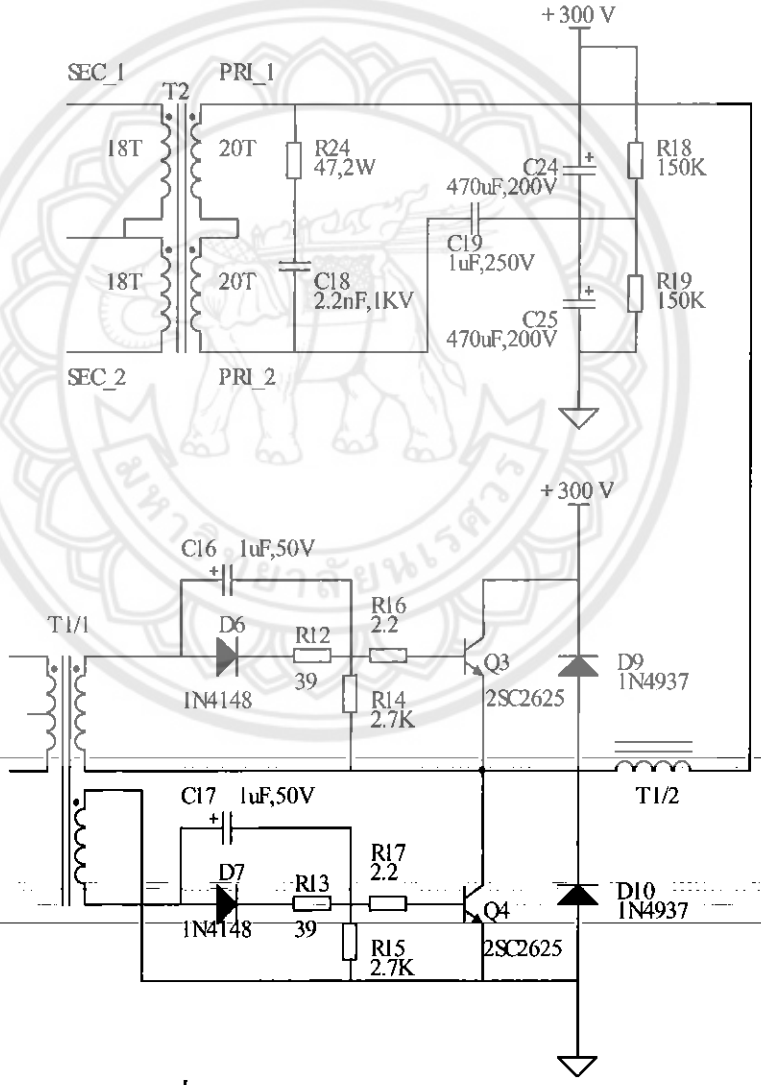


รูปที่ 4.10 เปรียบสัญญาณพัลส์ที่ขา B และ C ของ Q_2

พิจารณาที่ช่วงเวลา T_1 กระแสจะไหลจากจุด 1 ไปจุด 3 ที่จุด 1จะมีศักย์เป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด 3 กระแสจะผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 และผ่าน Q_2 ลงกราวด์ ที่ช่วงเวลานี้จะมีปริมาณกระแสสูงสุดจึงทำให้แรงดันที่ขา C มีค่าเข้าใกล้ 0 V ค่ากระแสสามารถหาได้จาก I=V/R มีค่าเท่ากับ 8 mA ขณะที่กระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 นั้นจะเกิดการเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปสนามแม่เหล็ก เมื่อถึงช่วงเวลา T_2 Q_2 จะทำตัวเหมือนสวิตช์เปิดวงจรและหยุดนำกระแส ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 จะทำตัวเป็นเหมือนแหล่งจ่ายที่ขนาด 9 V_{DC} และ

ปลดปล่อยพลังงานที่สะสมไว้ที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 ออกมาในรูปของกระแส แต่จะไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับช่วงเวลา T_1 จะไหลจากจุด 3 ไปจุด 1 ที่จุด 1 จะมีศักย์เป็นลบเมื่อเทียบกับจุด 2 D_4 จึงไบแอสตรง เพื่อป้องกระแสย้อนกลับไม่ให้ Q_2 พัง จากรูปค่าแอมพลิจูดของคลื่นสัญญาณพัลส์ที่ขา C มีค่าเท่ากับ 9.2 Vp-p และจะลดระดับแรงดันลงจนเข้าสู่ 0 V ตามความสมการความสัมพันธ์แรงดันและกระแสของตัวเหนี่ยวนำ [3] $V(t)=L\frac{di}{dt}$ เพราะขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 ไม่สามารปลดปล่อยพลังงานแบบทันทีทันใดได้

4.5 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

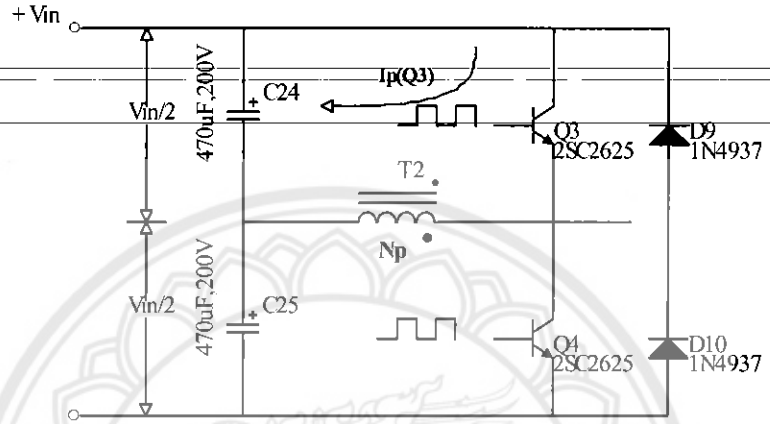


รูปที่ 4.11 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

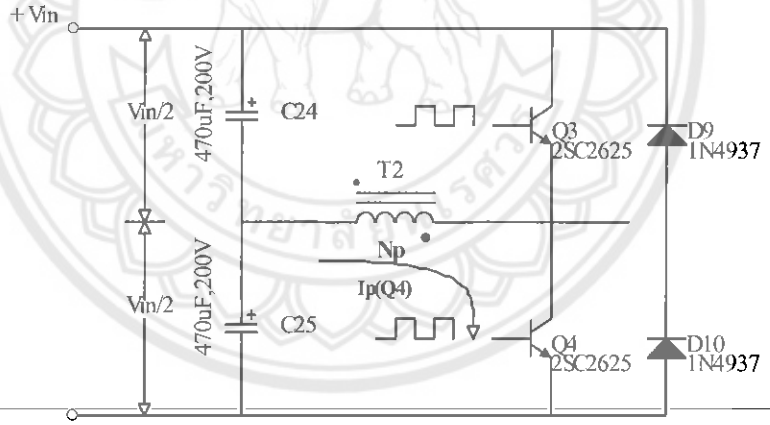
วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จัดเป็นตระกูลเดียวกันกับวงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ โดยที่ทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 จะสลับการทำงานคนละครึ่งคาบเวลาเช่นเดียวกับวงจรพุช-พูลคอน

เวอร์เตอร์ โดยมีการจัดวงจรภาคขับเพื่อให้การขับทรานซิสเตอร์สวิตช์ให้มีความเร็วสูงซึ่งประกอบไปด้วย R_{12}, R_{13}, R_{14}, R_{15}, R_{16}, R_{17}, C_{16}, C_{17}, D_6 และ D_7 ส่วน C_{18}, R_{24} ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวนและแรงดันสไปค์สูงๆ

เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์วงจร จะวิเคราะห์ในกรณีที่ไม่มี C_{19}, C_{18} และR_{24} ต่ออยู่ในวงจร ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13



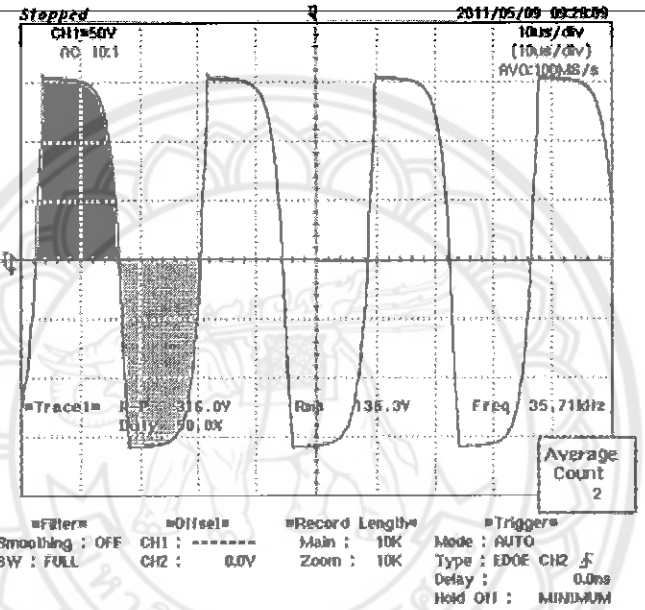
รูปที่ 4.12 ทิศทางการไหลของกระแสขณะ Q_3 นำกระแส



รูปที่ 4.13 ทิศทางการไหลของกระแสขณะ Q_4 นำกระแส

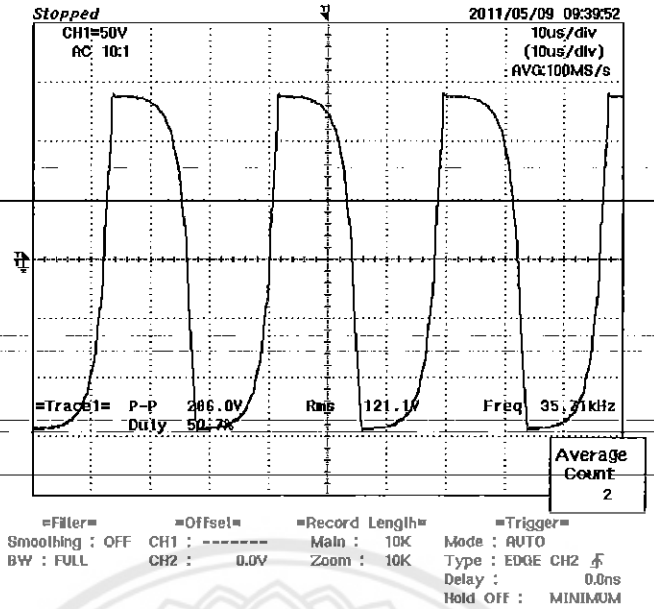
จากรูปที่ 4.12 เมื่อ Q_3 นำกระแส และ Q_4 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q_4 จะมีค่าเท่ากับ Vin –Vce(sat) ที่ช่วงเวลานี้ C_{24} จะคายประจุ และ C_{25} เก็บประจุส่วนแรงดันตกคร่อมของขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_2 จะมีค่าเท่ากับ Vc24–Vce(sat) หรือมีค่าเท่ากับ Vin/2 –Vce(sat) ในทำนองเดียวกัน เมื่อ Q_4 นำกระแส และ Q_3 ไม่นำกระแส ดังรูปที่ 4.13 ทำให้กระแสไหลผ่าน C_{24} ผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_2 ผ่าน Q_4 เมื่อสังเกตดูจะพบว่าขั้วของขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_2 จะสลับกัน ที่ช่วงเวลานี้ C_{25} จะคายประจุ และ C_{24} เก็บประจุกระแส ส่วนแรงดันตกคร่อมของขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_2 ก็ยังคงมีค่าเท่ากับ Vin/2 –Vce(sat) เนื่องจาก

Vce(sat) มีค่าประมาณ 0.5 – 1 V ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงดันตกคร่อม Q_3 และ Q_4 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต มีค่าเท่ากับ 309/2 = 154.5V ส่วนหน้าที่ของ C_{19} C_{18} และ R_{24} มีดังนี้ C_{19} เป็นตัวเก็บประจุคัปปลิ้ง ต่อไว้เพื่อเป็นการป้องกันการไม่สมมาตรของสัญญาณพัลส์ C_{18} และ R_{24} ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวน และแรงดันสไปค์สูงๆ D_9 และ D_{10} หรือเรียกว่าไดโอดคอมมิวเตติ้ง ทำหน้าที่ป้องกันแรงดันไหลย้อนกลับจากการยุบตัวของสนามแม่เหล็กของหม้อแปลงสวิตชิง ป้องกันไม่ให้ Q_3 และ Q_4 เสียหาย จะต้องทนแรงดันย้อนกลับได้อย่างน้อยที่สุดเป็น 2 เท่าของแรงดัน Vce ขณะที่ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส



รูปที่ 4.14 คลื่นสัญญาณที่ขดลวดปฐมภูมิหม้อแปลง T2

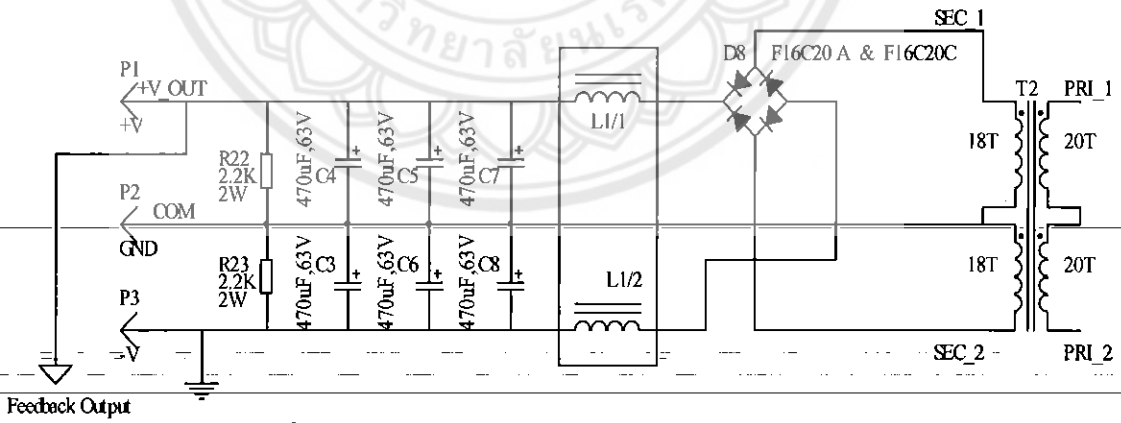
จากรูปที่ 4.14 คลื่นสัญญาณที่ได้จะเกิดจากการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 แรงดันที่ได้เท่ากับ 316 Vp-p ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันที่ออกจากวงจรเรกติไฟร์และวงจรฟิลเตอร์ด้านอินพุตที่ 309 V_{DC} โดยพื้นที่สีดำเกิดจากการนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_3 ส่วนพื้นที่สีเทาเกิดจากการนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_4 สัญญาณที่ปล่อยออกมาจะถูกทำให้สมมาตรโดย C_{19} เพื่อให้คลื่นสัญญาณซีกบวกและลบเท่ากัน ป้องกันสนามแม่เหล็กตกค้างในแกนหม้อแปลง T_2 จึงทำให้พื้นที่สีดำและเทาเท่ากัน ซึ่งสังเกตได้จากดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 50 %



รูปที่ 4.15 คลื่นสัญญาณที่ขดลวดทุติยภูมิหม้อแปลง T_2

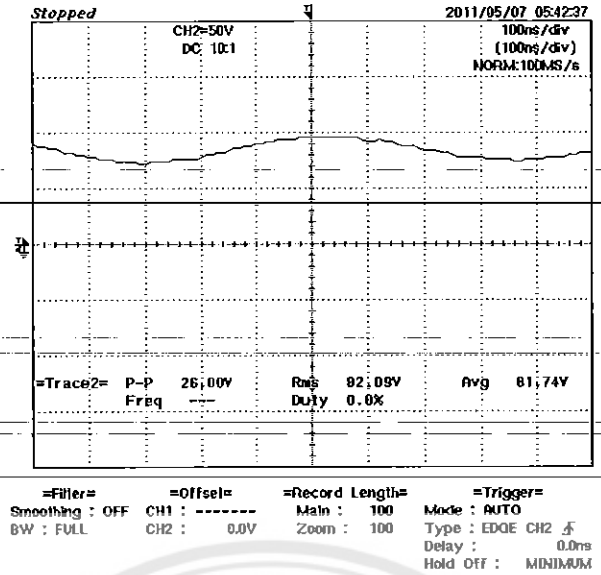
จากรูปที่ 4.15 จะพบว่าสัญญาณพัลส์จากขดลวดทุติยภูมิหม้อแปลง T_2 ขนาดแอมพลิจูดจะลดลงเหลือเพียง 286 Vp-p เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ขดลวดปฐมภูมิที่มีแอมพลิจูดเท่ากับ 316 Vp-p เพราะหม้อแปลง T_2 เป็นหม้อแปลงสวิตชิงแบบลดแรงดัน

4.6 วงจรเรกติไฟร์และวงจรฟิลเตอร์ด้านเอาท์พุต



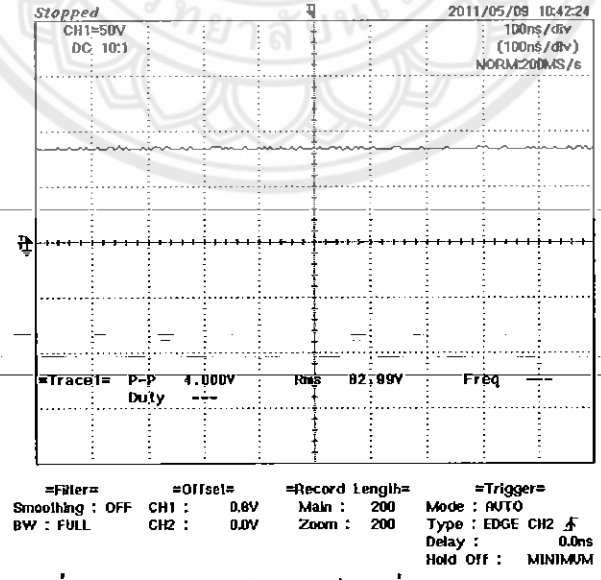
รูปที่ 4.16 วงจรเรกติไฟร์และวงจรฟิลเตอร์ด้านเอาท์พุต

จากรูปที่ 4.16 เป็นชุดวงจรที่จะทำการแปลงสัญญาณพัลส์ความถี่สูงให้กลายเป็นไฟกระแสตรง โดยใช้ไดโอดความถี่สูงชนิด Fast Recovery Diode ซึ่งในวงจรจะใช้แบบ Dual Ultra fast Diode เมื่อได้ไฟกระแสตรงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 คลื่นสัญญาณเมื่อผ่านเรกติไฟร์

วงจรเรกติไฟร์แปลงสัญญาณพัลส์ที่มีขนาดแอมพลิจูดเท่ากับ 286 Vp-p ความถี่ 35.7 kHz ให้เป็นแรงดันกระแสตรง 82.09 V ซึ่งมีแรงดันกระเพื่อม 26 Vp-p หรือ 31.67 % แรงดันกระแสตรงที่ได้ยังไม่เรียบพอ ไม่เหมาะสำหรับนำไปเป็นแหล่งจ่าย ต้องลดระดับแรงดันกระเพื่อมให้เหมาะสมก่อน โดยใช้วงจรฟิลเตอร์ซึ่งประกอบด้วยตัวเก็บประจุขนาดเท่ากันทั้งหมด 6 ตัว และคอยล์หรือขดลวดเนื่องจากเป็นความถี่สูงจะทำให้การกรองและการเก็บพลังงานเป็นอย่างเหมาะสม สัญญาณที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 สัญญาณด้านเอาท์พุตเมื่อผ่านวงจรฟิลเตอร์

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นว่าเมื่อแรงดันผ่านวงจรฟิลเตอร์แล้ว ค่าแรงดันกระเพื่อมจะลดลงเหลือเพียง 4 Vp-p คิดเป็น 4.8 % เท่านั้น ซึ่งค่าแรงดันกระเพื่อมที่ยอมรับได้คือจะต้องไม่เกิน 10 % (คิดที่จ่ายกระแสสูงสุดให้กับโหลด) จึงเป็นแรงดันที่เหมาะสมกับการเป็นแหล่งจ่าย ถ้าต้องการลดแรงดันกระเพื่อมให้น้อยลง สามารถทำได้โดยเปลี่ยนตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุสูงๆ จึงทำให้สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายมีคุณภาพ แรงดันเอาท์พุตบางส่วนจะถูกป้อนกลับเข้าวงจรควบคุมและเปรียบเทียบแรงดันอ้างอิง Vref ของวงจรควบคุม วงจรควบคุมจะอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เอาท์พุตมาควบคุมช่วงเวลานำกระแสของทรานซิสเตอร์ เพื่อคงค่าแรงดันเอาท์พุตเป็นหลัก

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากผลการทดลองการวิเคราะห์การทำงานสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250 ทำให้ทราบถึงการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละตัว ต่างมีหน้าที่การทำงานและมีพฤติกรรมการตอบสนองของกระแสและแรงดันกระตุ้นต่างกัน เมื่อประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละชนิดเข้าด้วยกันแล้วก็จะเกิดการทำงานตามการออกแบบ ซึ่งการทำงานของวงจรอาจมีความผิดเพี้ยนไม่มากก็น้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้ ซึ่งค่ากระแสและแรงดันในวงจรที่วัดได้อาจมีความผิดเพี้ยนอยู่บ้าง

5.2 สิ่งที่ได้จากโครงงาน

1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละชนิด
2. ทำให้เกิดกระบวนการคิดวิเคราะห์เป็นระบบ
3. นำไปเป็นแนวคิดในการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย
4. สามารถนำความรู้ที่ได้จากโครงงานไปประยุกต์ใช้และพัฒนาประสิทธิภาพสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

1. การหาอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการนั้นค่อนข้างหายากจึงต้องหาอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงแทนจึงทำให้บางผลการทดลองที่ได้นั้นคลาดเคลื่อนไปจากเดิมบ้าง

2. อุปกรณ์ที่ใช้มีความค่าความผิดพลาดค่อนข้างสูงยกตัวอย่างเช่น ตัวต้านทานที่ใช้มีค่าความผิดพลาด ±5% ซึ่งสูงในระดับหนึ่งจึงทำให้วงจรทำงาน ไม่มีประสิทธิภาพเต็มที่โดยเฉพาะเมื่อต้องไปเกี่ยวข้องกับวงจรที่ต้องเกี่ยวข้องกับความถี่สูงปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการใช้อุปกรณ์ที่มีค่าความผิดพลาดน้อยซึ่งนั่นก็คือ ค่าใช้จ่ายในการสร้างต้องเพิ่มสูงขึ้นตามประสิทธิผลที่ต้องการให้เป็น

3. ขณะวัดมีสัญญาณรบกวนมาก อาจทำให้ค่าผิดเพี้ยนบ้าง

4. อุปกรณ์บางตัวหาซื้อได้ยาก

5. อุปกรณ์บางตัวเกิดความเสียหายเมื่อเกิดความร้อนมากเกินไป หรือกระแสหรือแรงดันเกิน ต้องเสียเวลาในการจัดหาอีกครั้ง

5.4 ข้อเสนอแนะ

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250 เหมาะสำหรับเครื่องขยายเสียงที่มีขนาดกำลัง 100+100 วัตต์ โดยประมาณ หรือในกรณีที่ต้องการนำไปใช้กับวงจรอื่นที่ต้องการไฟเลี้ยงที่ต่ำหรือสูงกว่านี้ก็สามารถปรับแรงดันเอาท์พุตให้เหมาะสมกับวงจรได้ แต่กำลังเอาท์พุตสูงสุดจะอยู่ที่ 250 วัตต์ไม่เปลี่ยนแปลง

วงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย รุ่น SMPS250 นั้นไม่ได้ออกแบบระบบป้องกันการลัดวงจรที่เอาท์พุต ดังนั้นการนำไปใช้งานควรระมัดระวังไม่ให้เอาท์พุตลัดวงจรกันอย่างเด็ดขาดเพราะจะทำให้เครื่องเกิดความเสียหายได้ หากต้องการนำ SMPS250 ไปใช้ใช้งานหนักต่อเนื่องเป็นเวลานานควรเพิ่มพัดลมระบายอากาศให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ด้วย ไม่แนะนำให้ใช้แรงดันจากหม้อแปลงที่ใช้เลี้ยงวงจรควบคุมเพราะหม้อแปลงภายในวงจรจ่ายกระแสไม่พอ ให้เพิ่มหม้อแปลงสำหรับพัดลมแยกออกต่างหากจะดีที่สุด เมื่อปรับแรงดันที่ต้องการได้แล้วแนะนำให้หาตัวต้านทานค่าคงที่มาใส่แทนตัวต้านทานปรับค่าเพื่อป้องกันค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงจากสภาพการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

[1] Muhammad H. Rashid. (2004). POWER ELECTRONICES: CIRCUITS, DEVICES AND APPLICATION. Third Edition. : Pearson Prentice Hall.

[2] Robert L. Boylestad. and Louis Nashelsky. (2006). ELECTRONIC DEVICE AND CIRCUIT THEORY. International Edition. : Pearson Prentice Hall.

[3] มงคล ทองสงคราม. (2542). การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า 1. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วน จำกัด วี.เจ. พริ้นติ้ง.

[4] มงคล ทองสงคราม. (2544). อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วน จำกัด วี.เจ. พริ้นติ้ง.

[5] ยงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง. (2549). พื้นฐานอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น 1. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[6] วีรเชษฐ์ ขันเงิน และ วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์. (2549). อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วน จำกัด วี.เจ. พริ้นติ้ง.

[7] วิสุทธิ์ อัศวนนวงศ์. (2535). วารสารคอมพิวเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์เวิลด์ ฉบับที่ 137. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พริ้นติ้ง.

[8] สุวัฒน์ ดั่น. (2538). เทคนิคและการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย. กรุงเทพฯ: เอนเทลไทย.

[9] ศิริชัย คล่องการพานิช. (2539). เข้าใจไม่ยากกับการทำงานของสวิตชิงเรกูเลเตอร์ ฉบับที่ 160. กรุงเทพฯ: เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์.

ภาคผนวก

รายละเอียดข้อมูลของไอซี LM78L12 และไอซี TL494

1. รายละเอียดข้อมูลของไอซี LM78L12

National Semiconductor

February 1995

LM78LXX Series 3-Terminal Positive Regulators

General Description

The LM78LXX series of three terminal positive regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. When used as a zener diode/resistor combination replacement, the LM78LXX usually results in an effective output impedance improvement of two orders of magnitude, and lower quiescent current. These regulators can provide local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow the LM78LXX to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment.

The LM78LXX is available in the metal three-lead TO-39(H) package, the plastic TO-92 (Z) package, and the plastic SO-8 (M) package. With adequate heat sinking the regulator can deliver 100 mA output current. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistors is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Features

- Output voltage tolerances of ±5% (LM78LXXAC) over the temperature range
- Output current of 100 mA
- Internal thermal overload protection
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in plastic TO-92 and metal TO-39 and plastic SO-8 low profile packages
- No external components
- Output voltages of 5.0V, 6.2V, 8.2V, 9.0V, 12V, 15V

Connection Diagrams

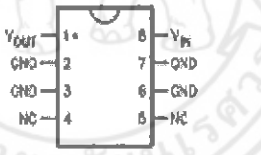
(TO-39)
Metal Can Package (H)

TL/H/7744–1

Bottom View

Order Number LM78L05ACH,
LM78L12ACH or LM78L15ACH
See NS Package Number H03A

SO-8 Plastic (M)
(Narrow Body)



TL/H/7744–2

Top View

Order Number LM78L05ACM,
LM78L12ACM or LM78L15ACM
See NS Package Number M08A

(TO-92)
Plastic Package (Z)

TL/H/7744–3

Bottom View

Order Number
LM78L05ACZ, LM78L09ACZ,
LM78L12ACZ, LM78L15ACZ,
LM78L62ACZ or LM78L82ACZ
See NS Package Number Z03A

LM78LXXAC Electrical Characteristics

Limits in standard typeface are for T_J = 25°C, **bold typeface applies over the 0°C to +125°C temperature range.** Limits are guaranteed by production testing or correlation techniques using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. Unless otherwise specified: I_O = 40 mA, C_I = 0.33 µF, C_O = 0.1 µF. (Continued)

LM78L12AC Unless otherwise specified, V_{IN} = 19V

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
V_O	Output Voltage		11.5	12	12.5	V
		14.5V ≤ V_{IN} ≤ 27V 1 mA ≤ I_O ≤ 40 mA (Note 3)	**11.4**		**12.6**	
		1 mA ≤ I_O ≤ 70 mA (Note 3)	**11.4**		**12.6**	
ΔV_O	Line Regulation	14.5V ≤ V_{IN} ≤ 27V		30	180	mV
		16V ≤ V_{IN} ≤ 27V		20	110	
ΔV_O	Load Regulation	1 mA ≤ I_O ≤ 100 mA		30	100	
		1 mA ≤ I_O ≤ 40 mA		10	50	
I_Q	Quiescent Current			3	5	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	16V ≤ V_{IN} ≤ 27V			**1**	
		1 mA ≤ I_O ≤ 40 mA			**0.1**	
V_n	Output Noise Voltage			80		µV
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	f = 120 Hz 15V ≤ V_{IN} ≤ 25V	40	54		dB
I_{PK}	Peak Output Current			140		mA
$\frac{\Delta V_O}{\Delta T}$	Average Output Voltage Tempco	I_O = 5 mA		−1.0		mV/°C
V_{IN} (Min)	Minimum Value of Input Voltage Required to Maintain Line Regulation			13.7	14.5	V

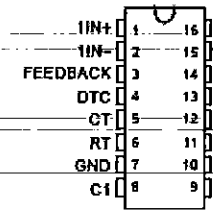
2. รายละเอียดข้อมูลของไอซี TL494

TL494
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074D – JANUARY 1983 – REVISED MAY 2002

- Complete PWM Power-Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source Current
- Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation
- Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output
- Variable Dead Time Provides Control Over Total Range
- Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply With 5% Tolerance
- Circuit Architecture Allows Easy Synchronization

D, DB, N, NS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



description

The TL494 incorporates all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation (PWM) control circuit on a single chip. Designed primarily for power-supply control, this device offers the flexibility to tailor the power-supply control circuitry to a specific application.

The TL494 contains two error amplifiers, an on-chip adjustable oscillator, a dead-time control (DTC) comparator, a pulse-steering control flip-flop, a 5-V, 5%-precision regulator, and output-control circuits.

The error amplifiers exhibit a common-mode voltage range from –0.3 V to V_{CC} – 2 V. The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time. The on-chip oscillator can be bypassed by terminating RT to the reference output and providing a sawtooth input to CT, or it can drive the common circuits in synchronous multiple-rail power supplies.

The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. The TL494 provides for push-pull or single-ended output operation, which can be selected through the output-control function. The architecture of this device prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation.

The TL494C is characterized for operation from 0°C to 70°C. The TL494I is characterized for operation from –40°C to 85°C.

AVAILABLE OPTIONS

T_A	PACKAGED DEVICES				
	SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (N)	SMALL OUTLINE (NS)	SHRINK SMALL OUTLINE (DB)	THIN SHRINK SMALL OUTLINE (PW)
0°C to 70°C	TL494CD	TL494CN	TL494CNS	TL494CDB	TL494CPW
–40°C to 85°C	TL494ID	TL494IN	—	—	—

The D, DB, NS, and PW packages are available taped and reeled. Add the suffix R to device type (e.g., TL494CDR).

Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1) ..... 41 V
Amplifier input voltage, V_I ..... V_{CC} + 0.3 V
Collector output voltage, V_O ..... 41 V
Collector output current, I_O ..... 250 mA
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2 and 3): D package ..... 73°C/W
DB package ..... 82°C/W
N package ..... 67°C/W
NS package ..... 64°C/W
PW package ..... 108°C/W
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds ..... 260°C
Storage temperature range, T_{stg} ..... –65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. All voltage values are with respect to the network ground terminal.
2. Maximum power dissipation is a function of $T_J(max)$, θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

recommended operating conditions

			MIN	MAX	UNIT
V_{CC}	Supply voltage		7	40	V
V_I	Amplifier input voltage		–0.3	V_{CC}–2	V
V_O	Collector output voltage			40	V
	Collector output current (each transistor)			200	mA
	Current into feedback terminal			0.3	mA
f_{osc}	Oscillator frequency		1	300	kHz
C_T	Timing capacitor		0.47	10000	nF
R_T	Timing resistor		1.8	500	kΩ
T_A	Operating free-air temperature	TL494C	0	70	°C
		TL494I	–40	85	

TL494
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074D – JANUARY 1983 – REVISED MAY 2002

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, V_{CC} = 15 V, f = 10 kHz (unless otherwise noted)

reference section

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494C, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Output voltage (REF)	I_O = 1 mA	4.75	5	5.25	V
Input regulation	V_{CC} = 7 V to 40 V		2	25	mV
Output regulation	I_O = 1 mA to 10 mA		1	15	mV
Output voltage change with temperature	ΔT_A = MIN to MAX		2	10	mV/V
Short-circuit output current§	REF = 0 V		25		mA

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at T_A = 25°C.
§ Duration of the short circuit should not exceed one second.

oscillator section, C_T = 0.01 µF, R_T = 12 kΩ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency¶	All values of V_{CC}, CT, RT, and T_A constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	V_{CC} = 7 V to 40 V, T_A = 25°C		1		Hz/kHz
Frequency change with temperature#	ΔT_A = MIN to MAX			10	Hz/kHz

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at T_A = 25°C.
¶ Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N} (x_n - \overline{x})^2}{N-1}}$$

Temperature coefficient of timing capacitor and timing resistor are not taken into account.

error-amplifier section (see Figure 2)

PARAMETER	TEST CONDITIONS			TL494, TL494I			UNIT
				MIN	TYP‡	MAX	
Input offset voltage	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V				2	10	mV
Input offset current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V				25	250	nA
Input bias current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V				0.2	1	µA
Common-mode input voltage range	V_{CC} = 7 V to 40 V			−0.3 to V_{CC}−2			V
Open-loop voltage amplification	ΔV_O = 3 V,	R_L = 2 kΩ,	V_O = 0.5 V to 3.5 V	70	95		dB
Unity-gain bandwidth	V_O = 0.5 V to 3.5 V,		R_L = 2 kΩ		800		kHz
Common-mode rejection ratio	ΔV_O = 40 V,	T_A = 25°C		65	80		dB
Output sink current (FEEDBACK)	V_{ID} = −15 mV to −5 V,		V (FEEDBACK) = 0.7 V	0.3	0.7		mA
Output source current (FEEDBACK)	V_{ID} = 15 mV to 5 V,		V (FEEDBACK) = 3.5 V	−2			mA

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at T_A = 25°C.

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, V_{CC} = 15 V, f = 10 kHz (unless otherwise noted)

output section

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP†	MAX	UNIT
Collector off-state current		V_{CE} = 40 V,	V_{CC} = 40 V		2	100	μA
Emitter off-state current		V_{CC} = V_C = 40 V,	V_E = 0			−100	μA
Collector-emitter saturation voltage	Common emitter	V_E = 0,	I_C = 200 mA		1.1	1.3	V
	Emitter follower	$V_{O(C1 \text{ or } C2)}$ = 15 V,	I_E = −200 mA		1.5	2.5	
Output control input current		V_I = V_{ref}				3.5	mA

† All typical values except for temperature coefficient are at T_A = 25°C.

dead-time control section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
Input bias current (DEAD-TIME CTRL)	V_I = 0 to 5.25 V		−2	−10	μA
Maximum duty cycle, each output	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 0, C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ		45%		
Input threshold voltage (DEAD-TIME CTRL)	Zero duty cycle		3	3.3	V
	Maximum duty cycle	0			

† All typical values except for temperature coefficient are at T_A = 25°C.

PWM comparator section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
Input threshold voltage (FEEDBACK)	Zero duty cycle		4	4.5	V
Input sink current (FEEDBACK)	V (FEEDBACK) = 0.7 V	0.3	0.7		mA

† All typical values except for temperature coefficient are at T_A = 25°C.

total device

PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN	TYP†	MAX	UNIT
Standby supply current	RT = V_{ref}, All other inputs and outputs open	V_{CC} = 15 V		6	10	mA
		V_{CC} = 40 V		9	15	
Average supply current	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 2 V,	See Figure 1		7.5		mA

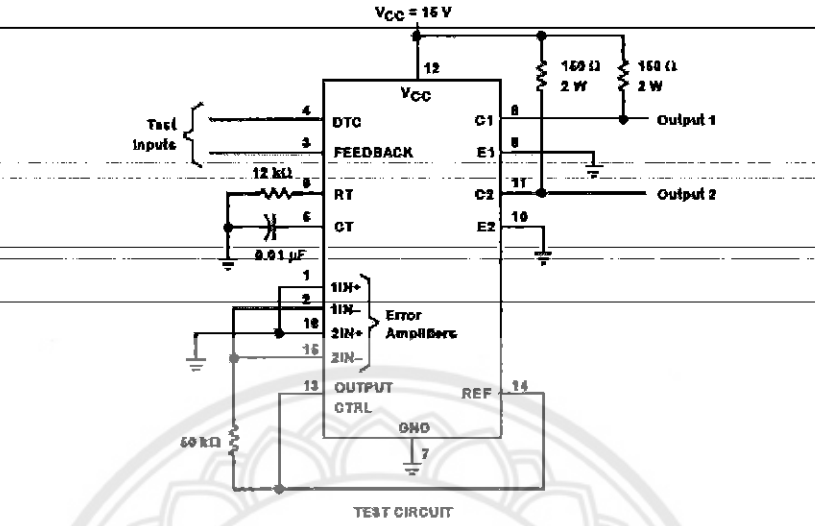
† All typical values except for temperature coefficient are at T_A = 25°C.

switching characteristics, T_A = 25°C

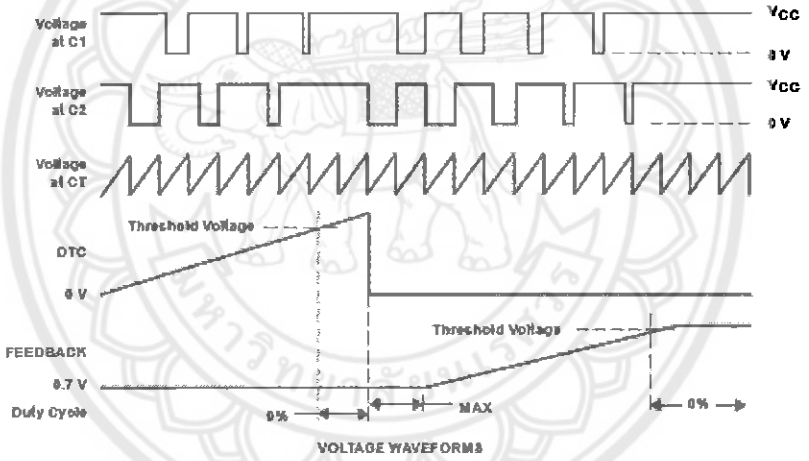
PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN	TYP†	MAX	UNIT
Rise time	Common-emitter configuration,	See Figure 3		100	200	ns
Fall time				25	100	ns
Rise time	Emitter-follower configuration,	See Figure 4		100	200	ns
Fall time				40	100	ns

† All typical values except for temperature coefficient are at T_A = 25°C.

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



TEST CIRCUIT



VOLTAGE WAVEFORMS

Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายภาสกร บรรเทิงสุข

ภูมิลำเนา 49/1 หมู่ 5 ต.ท่าอิบุญ อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ 67110

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย พิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 6 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: **jigge_punk@hotmail.com**

ชื่อ นายสมชาย นาคสุด

ภูมิลำเนา 233/3 หมู่ 15 ต.วังนกแอ่น อ.วังทอง จ.พิษณุโลก 65130

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนทรัพย์ไพรวัลย์วิทยาคม จังหวัดพิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 6 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: **myd_evillive@hotmail.com**