แหล่งจ่ายไฟสำรอง

UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY

โดย

นาย กิตินงษ์ นามวงศ์

นาย จิรพจน์ ธนพัฒน์ชัยพงศ์

นาย ธีรพล เปี่ยมวิริยะ

นาย อภิสิทธิ์ ตรงศิริวัฒน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2536

แหล่งจ่ายไฟสำรอง

Uninterruptible Power Supply

คณะผู้จัดทำ

นาย กิตินพงษ์ นามวงศ์ รหัส 33100031

นาย จิรพจน์ ธนพัฒน์ชัยพงศ์ รหัส 33100056

นาย ธีรพล เปี่ยมวิริยะ รหัส 33100146

นาย อภิสิทธิ์ ตรงศิริวัฒน์ รหัส 33100493

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ

อ. สมภพ ผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033128

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2536

ภาควิชาไฟฟ้ากำลัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แหล่งจ่ายไฟสำรอง

คณะผู้จัดทำ

1. นาย กิตติพงษ์ นามวงศ์ รหัส 33100031
2. นาย จิรพจน์ ธนพัฒน์ชัยพงศ์ รหัส 33100056
3. นาย ธีรพล เปี่ยมวิริยะ รหัส 33100146
4. นาย อภิสิทธิ์ ตรงศิริวัฒน์ รหัส 33100493

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. สมภพ ผลไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายไฟสำรอง

UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY

โดย นาย กิติพงษ์ นามวงศ์
นาย จิรพจน์ ธนพัฒน์ชัยพงศ์
นาย ธีรพล เปี่ยมวิริยะ
นาย อภิสิทธิ์ ตรงศิริวัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร วิริยะ พิเชฐจำเริญ
อ.สมภพ ผลไม้

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอผลการวิจัยและพัฒนา แหล่งจ่ายไฟสำรอง 1 เฟส ขนาด 1 kVA ซึ่งใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แบบโมดูล เป็นอุปกรณ์ สวิทช์ตัดต่อทางเพาเวอร์ ในวงจรอินเวอร์เตอร์ การจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในขณะไฟดับ สามารถทำได้ในช่วงเวลานาน 15 นาที ที่ค่าพิกัดโหลดเต็มกำลังทางเอซีเอาท์พุท เอซีเอาท์พุทโวลท์เตจลักษณะคลื่นซายน์เวฟนี้ จะได้จากอินเวอร์เตอร์ชนิด ที่มีการมอดูเลทคลื่นในลักษณะ เนเจอรอลพีดับบิวเอ็ม ซึ่งจะให้คลื่นพีดับบิวเอ็มชนิดสามระดับ และมีความถี่สวิทชิ่งของคลื่นสูงกว่าความถี่สวิทชิ่ง ของตัวอุปกรณ์ตัดต่อทางเพาเวอร์นี้ ในลักษณะเช่นนี้จะทำให้เอซีเอาท์พุทโวลท์เตจมีฮาร์โมนิคต่ำ ซึ่งจะง่ายต่อการกรองความถี่อื่นทิ้งเพื่อให้ได้เฉพาะคลื่นซายน์ได้โดยง่าย นอกจากนี้ ส่วนทรานเฟอร์สวิทช์ของแหล่งจ่ายไฟต่อเนื่องนี้ ยังสามารถทำงานในโหมด ออน-ไลน์ โหมด แบ็คอัพ หรือโหมดป้องกันระบบ ได้อย่างดี โดยจะขึ้นกับสภาวะทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟต่อเนื่องที่เกิดขึ้นในขณะนั้น เช่นความผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในอินเวอร์เตอร์ ในไลน์หรือกับโหลดเป็นต้น นอกจากนี้ ยังได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของแหล่งจ่ายไฟต่อเนื่องนี้ โดยใช้ชุดทดสอบที่ได้พัฒนาขึ้นในห้องวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY

ABSTRACT

This Project concern the reserch and development of a single phase 3-Kva uninterruptible power supply (UPS),using power transistor modules as power switching devices in the inverter circuit. The backup time of the power supply is 15 minutes at the full-load capacity of the ac output. The sinusoidal ac output voltage is obtained from the inverter of natural pwm type which yields a 3-level pwm waveform of switching devices. This results in a low_harmonic ac output voltage being easy for sinusoidal filtering. In addition, the transfer switch of the ups can perform successfully in on_line mode, back_up mode or system protection mode, depending on the electrical condition of the ups occuring at that time,i.e. inverter fault,line fault or load fault,etc. Moreover, various characteristics of the ups are also investigated, using the prototype set up in the laboratory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		
สารบัญ		
จุดประสงค์และขอบเขตของโครงงาน		1
บทที่ 1	บทนำ	2
บทที่ 2	ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับพัลส์วิดมอดูเลชั่น	5
	รูปคลื่น PWM แบบ 2 ระดับและ แบบ 3 ระดับ	5
	การสร้างรูปคลื่น PWM แบบเนเทอรอลและแบบเรกูลาร์	7
บทที่ 3	วงจรซายน์เวฟอินเวอร์เตอร์	11
	วงจร PWM ซายน์เวฟอินเวอร์เตอร์	11
	วงจรขับเบส	25
	วงจรกำลัง	28
	วงจรควบคุม	32
บทที่ 4	วงจรเรียงกระแส	36
	ประเภทวงจรเรียงกระแส	36
	การออกแบบวงจรควบคุม	37
บทที่ 5	ทรานส์เฟอร์สวิทช์	40
	การสับเปลี่ยนที่แรงดันศูนย์	43
	ลำดับการทำงานของทรานส์เฟอร์สวิทช์	44
	วงจรตรวจจับและประมวลผล	55
	วงจรจุดเกทและวงจรกำลัง	56
บทที่ 6	เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่	58
	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่	58
	พารามิเตอร์ในการอัดประจุ	60
	วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ หน้า

การประยุกต์การใช้งาน 62

การเลือกใช้แบตเตอรี่ในโครงงานนี้ 63

หลักการอัดประจุแบตเตอรี่ 64

วงจรกำลังของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ 64

การทำงานของวงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ 65

บทที่ 8 ผลการทดลองและตารางผลการทดลอง 68

บทที่ 9 บทวิจารณ์และสรุป 71

กิตติกรรมประกาศ 73

เอกสารอ้างอิง 74

ภาคผนวก 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
I	แสดงวงจรกำลังของแหล่งจ่ายไฟสำรอง	4
1	แสดงรูปคลื่น PWM	5
2	ตัวอย่างการสร้างรูปคลื่น PWM โดยการใช้วงจรเปรียบเทียบ	7
3	การสร้างรูปคลื่นแบบเนเทอรอลแซมพลิงชนิด 2 ระดับ	8
4	การสร้างรูปคลื่นแบบเนเทอรอลแซมพลิงชนิด 3 ระดับ	9
5	การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แซมพลิงชนิด 2 ระดับ	10
6	การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แซมพลิงชนิด 3 ระดับ	10
7	วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์	12
8	บล็อกไดอะแกรมแสดงการสร้างสัญญาณ PWM	13
9	แสดงการสร้างสัญญาณ PWM แบบ 2 ระดับ	15
10	แสดงการสร้างสัญญาณ PWM แบบ 3 ระดับ	16
11	แสดงการเปรียบเทียบแบบ 3 ระดับโดยวิธีใหม่ (ที่ใช้ในโครงงานนี้)	17
12	แสดงวงจรสร้างสัญญาณ PWM ส่วนที่ 1	21
13	แสดงวงจรสร้างสัญญาณ PWM ส่วนที่ 2	22
14	แสดงวงจรสร้างสัญญาณ PWM ส่วนที่ 3	23
15	แสดงวงจรขับเบสที่ต่ออยู่กับ Power Transistor	25
16	แสดงวงจรขับเบสทรานซิสเตอร์	27
17	แสดงวงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์	29
18	แสดงรูปกราฟพื้นที่ปลอดภัยของทรานซิสเตอร์	30
19	แสดงรูปวงจรสนับเบอร์	30
20	แสดงวงจร Low pass Filter	32
21	แสดงการควบคุมโดยการควบคุมภายในอินเวอร์เตอร์	33
22	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนฮาร์โมนิค	34
23	แสดงการควบคุมแบบ PI	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่		หน้า
24	แสดงวงจรและรูปคลื่นที่ใช้ในโครงงานนี้	37
25	แสดงแผนผังการทำงานของภาคเรคติฟาย	38
26	แสดงบล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟสำรอง	40
27	แสดงสัญญาณที่โหลดได้รับขณะที่ไฟไลน์มีความผิดปกติ	41
28	แสดงแรงดันของอินเวอร์เตอร์และไลน์ในกรณีที่มีเฟสตรงกัน แต่แรงดันไม่เท่ากัน	43
29	แสดงลำดับการทำงานของทรานส์เฟอร์สวิทช์ซึ่งมีการสับเปลี่ยน เมื่ออินเวอร์เตอร์มีแรงดัน ตก-เกิน	46
30	แสดงลำดับการทำงานของทรานส์เฟอร์สวิทช์ซึ่งมีการสับเปลี่ยน เมื่ออินเวอร์เตอร์เกิดภาวะลัดวงจร	47
31	แสดงลำดับการทำงานของทรานส์เฟอร์สวิทช์ซึ่งมีการสับเปลี่ยน เมื่ออินเวอร์เตอร์เกิดภาวะกระแสเกิน	48
32	แสดงลำดับการทำงานของทรานส์เฟอร์สวิทช์ซึ่งมีการสับเปลี่ยน เมื่ออินเวอร์เตอร์เกิดภาวะกระแสเกินอย่างละเอียด	50
33	แสดงวงจรของส่วนตรวจจับแรงดันของทรานส์เฟอร์สวิทช์	52
34	แสดงวงจรของส่วนตรวจจับกระแสของทรานส์เฟอร์สวิทช์	53
35	แสดงวงจรของส่วนประมวลผลของทรานส์เฟอร์สวิทช์	54
36	แสดงค่า logic ของอุปกรณ์สับเปลี่ยน	55
37	แสดงวงจรส่วน ตรวจจับแรงดันศูนย์ ขับเกท และกำลัง	57
38	วงจรกำลังของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่	65
39	แสดงการทำงานของ TCA 785	66
40	วงจรควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่	67
41	รูปแสดงสัญญานคลื่นซายน์ที่ถูกแปลงเป็นสัญญานคลื่นสี่เหลี่ยม	68
42	รูปแสดงสัญญานที่ได้จากการเปรียบเทียบ ของทรานซิสเตอร์ ตัวที่อยู่ในกิ่งเดียวกัน	69
43	รูปแสดงสัญญาน PMW ที่ได้จากการวัดระหว่างสัญญานขับเบส ของทรานซิสเตอร์ตัวที่อยู่ตรงกันข้ามกัน	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>จุดประสงค์และขอบเขตของโครงงาน</u>

โครงงานนี้เป็นโครงงานต่อเนื่องจากปีที่แล้ว มีจุดประสงค์คือพัฒนา "แหล่งจ่ายไฟต่อเนื่อง" หรือ "Uninterruptible Power Supply" แบบ 1 เฟส ขนาด 3 kVA ให้เป็น ขนาด 1 เฟส 1 kVA ซึ่งใช้ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สวิทช์ซึ่ง โดยนำชิ้นงานเดิมมาปรับปรุง ให้สามารถใช้งานได้จริง งานหลักคือ

1.) การปรับปรุงส่วน Inverter ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักคือ ส่วน PWM และวงจรกำลังซึ่งใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ตัดต่อ

2.) ทดลองและปรับปรุง ชุด Transfer Switch และชุด Charger ซึ่งยังไม่สมบูรณ์ ให้สามารถใช้งานได้ แล้วนำส่วนประกอบต่าง ๆ มาทำงานร่วมกันเป็น UPS ที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ในปัจจุบันนี้การแก้ไขปัญหาผิดปกติที่เกิดจากระบบจ่ายไฟฟ้า อันเนื่องจากไฟดับ, ไฟตก , ไฟเกิน หรือการขัดข้องของระบบไฟฟ้า สามารถแก้ไขได้โดยแหล่งจ่ายไฟสำรอง ซึ่งเป็นระบบที่เป็นที่ยอมรับว่าสามารถแก้ปัญหาในกรณีไฟที่จ่ายมาเกิดการผิดปกติซึ่งโหลดไม่สามารถยอมรับได้ โดยเฉพาะโหลดที่มีความไวต่อการ เปลี่ยนแปลงของไฟฟ้ามาก และโหลดที่ต้องการใช้ไฟอย่างต่อเนื่องเช่น โหลดฉุกเฉิน เป็นต้น

ในการทำโครงงานนี้ได้ทำการวิเคราะห์ถึงหลักการทำงาน ของซายน์เวฟอินเวอร์เตอร์ (Sine wave inverter) และส่วนที่เป็นภาคเรคติฟาย (Rectifier) ซึ่งทั้ง 4 ส่วนนี้ ใช้เป็นส่วนประกอบในระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง (UPS) ซึ่งการทำงานของทั้ง 4 ส่วนนี้ สามารถอธิบายการทำงานอย่างกว้างๆ ได้ดังนี้

1) ส่วนซายน์เวฟอินเวอร์เตอร์ ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สวิชชิ่ง และอาศัยหลักการมอดูเลตความกว้างพัลส์ ระหว่างสัญญาณคลื่นซายน์กับสัญญาณคลื่นสามเหลี่ยมด้วยความถี่ 3 กิโลเฮิร์ต ซึ่งเมื่อกล่าวถึงวงจรเปลี่ยนกำลังไฟตรงเห็นกำลังไฟสลับ ในทางปฏิบัติแล้วรูปคลื่นที่ได้จากวงจรไม่มีโอกาสจะเป็นคลื่น sine ได้เลย ถ้าไม่มีการกรองความถี่บางค่าออก ซึ่งรูปคลื่นที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์ จะมีลักษณะที่ประกอบไปด้วย รวมระหว่างคลื่นความถี่หลักมูล กับองค์ประกอบของส่วนฮาร์โมนิคส์ ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล ดังนั้นเพื่อกำจัดฮาร์โมนิคอันดับต่ำ และให้เอาท์พุทที่ได้มีลักษณะรูปเป็นคลื่น sine มากที่สุด ทำได้โดยการใช้วงจรกรองความถี่ขนาดเล็กในการกรองฮาร์โมนิคออก ซึ่งการประยุกต์การใช้งานของวงจรอินเวอร์เตอร์ มีลักษณะการใช้งานในหลาย ๆ ด้าน เช่น ใช้ในงานยานพาหนะต่าง ๆ ที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟสลับ ใช้เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์จากโซลาร์เซลให้เป็นไฟสลับ และใช้ควบคุมมอเตอร์กระแสสลับโดยวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ซึ่งมักจะใช้ไฟ 3 เฟส จากไลน์ที่มีแรงดันและความถี่คงที่มาแปลงเป็นไปตรงป้อนให้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบ 3 เฟส ที่สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ได้เพื่อใช้ประโยชน์ในการควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส

2) ส่วนเรคติฟาย จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรง และยังทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงที่ และจำกัดกระแสไม่ให้เกินค่าที่ต้องการ เพื่อจ่ายให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับส่วนชายน์เวฟอินเวอร์เตอร์ ซึ่งในโครงงานนี้เราได้ใช้การควบคุมเป็นแบบ Half-controlled ซึ่งในวงจรประกอบไปด้วยไดโอด 2 ตัว และไทริสเตอร์ 2 ตัวมาต่อกันเป็นลักษณะบริดจ์ แต่เพื่อความสะดวกเราใช้ชุดสำเร็จรูปซึ่งเป็นโมดุลซึ่ง 1 ชุดจะประกอบด้วยไดโอดต่ออยู่กับไทริสเตอร์อย่างละ 1 ตัว

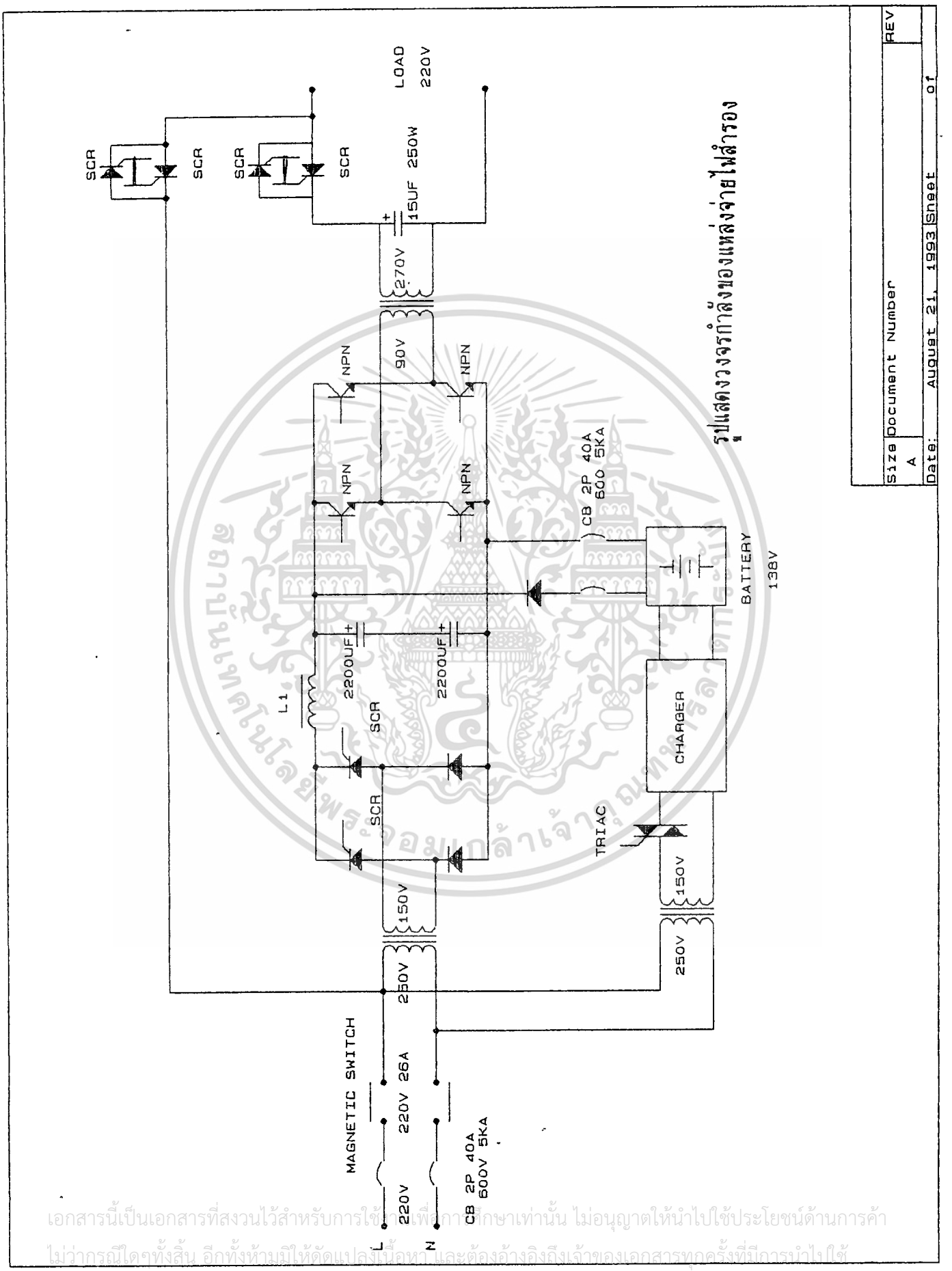
ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้จะนำมาประกอบเป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองที่ทำในโครงงานนี้ ซึ่งมีพิกัดกำลัง 1 กิโลโวลท์แอมป์ 1 เฟส ระดับแรงดัน 220 โวลท์ ความถี่ 50 เฮิร์ต

3) ส่วนทรานส์เฟอร์สวิทช์ (Transfer switch) เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟปกติที่นำเสนอในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ในส่วนของอินเวอร์เตอร์มีการทำงานตลอดเวลาดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในสภาวะปกติแรงดันไฟตรงที่เข้าสู่ส่วนอินเวอร์เตอร์ มาจากภาคเรคติฟาย แต่ในสภาวะปกติได้มาจากแบตเตอรี่ จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ทรานส์เฟอร์สวิทช์ลดบทบาทในการเปลี่ยนพลังงาน ระหว่างแหล่งจ่ายไฟปกติกับอินเวอร์เตอร์ แต่จะทำหน้าที่หลักในการป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่ได้รับแรงดันไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ในสภาวะผิดปกติและยังทำหน้าที่ป้องกันส่วนอินเวอร์เตอร์ ไม่ให้ได้รับความเสียหายที่เกิดจากการลัดวงจรหรือการโอเวอร์โหลด

4) ส่วนอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ (Charger) โดยใช้หลักการอัดประจุแบบแรงดันคงที่ ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้งานเป็นแหล่งพลังงานสำรองสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นแบบปิดผนึก ตะกั่ว-กรด ชนิด dry type-free maintenance แรงดัน 12 โวลท์ ขนาด 38 แอมป์-ชั่วโมง ต่ออนุกรมกันจำนวน 10 ลูก โดยใช้เครื่องอัดประจุแรงดันคงที่ที่ 138 โวลท์ ทั้งนี้เพื่อชดเชยแรงดันตกคร่อมเนื่องจากความต้านทานภายในแบตเตอรี่

แหล่งจ่ายไฟสำรอง ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีพิกัดกำลัง 1 กิโลโวลท์แอมป์ 1 เฟส แรงดัน 220 โวลท์ ความถี่ 50 เฮิร์ต ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ จะกล่าวถึงในบทต่าง ๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับพัลส์วิดมอดูเลชั่น (PWM)</u>

การมอดูเลตความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation,PWM) เป็นเทคนิคการแบ่งรูปคลื่นใน 1 คาบ ออกเป็นพัลส์ย่อยๆ หลายๆ พัลส์ โดยที่แต่ละพัลส์อาจมีความกว้างพัลส์ไม่เท่ากัน ในที่นี้จะกล่าวถึงรูปคลื่น PWM ชนิดต่างๆ รวมทั้งเทคนิคในการสร้างรูปคลื่น PWM ชนิดต่างๆ

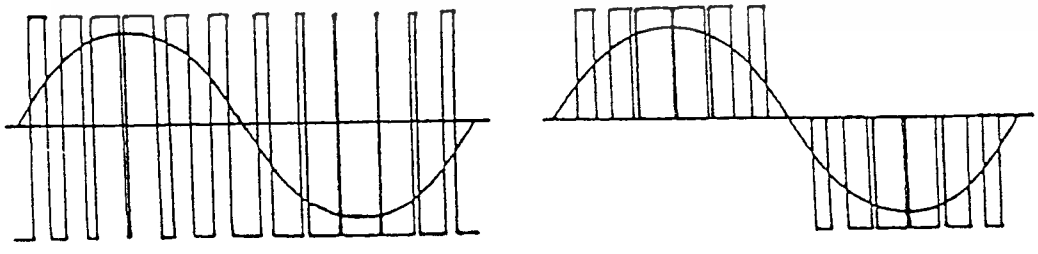
<u>รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มแบบ 2 ระดับและแบบ 3 ระดับ</u>

รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ชนิดที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุดและเป็นชนิดพื้นฐานที่สุด ได้แก่ แบบ 2 ระดับ และแบบ 3 ระดับ

1) รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มแบบ 2 ระดับ เป็นรูปคลื่นที่มีการสวิทช์ระหว่างระดับอ้างอิง 2 ระดับ คือ +E และ -E

2) รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มแบบ 3 ระดับ เป็นรูปคลื่นที่มีการสวิทช์ระหว่างระดับอ้างอิง 3 ระดับ คือ +E,0 และ -E

รูปคลื่นทั้ง 2 แบบ มีลักษณะดังรูปที่ 1 โดยแสดงรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มเปรียบเทียบกับคลื่นความถี่หลักมูล(fundamental)ของรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มนั้น



(ก) (ข)

รูปที่ 1 แสดงรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม (ก) แบบ 2 ระดับ (ข) แบบ 3 ระดับ

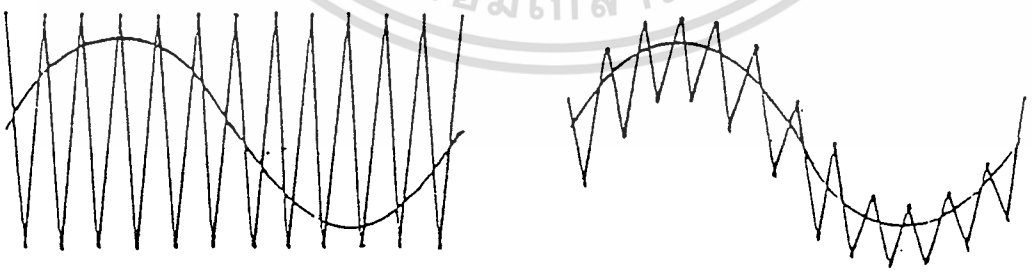
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม

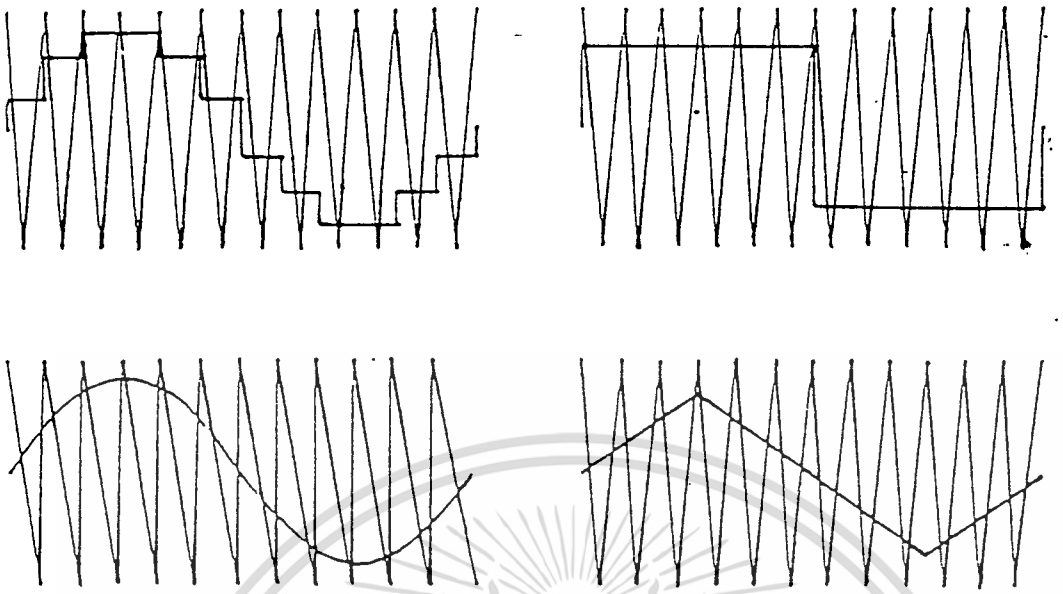
รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มสามารถสร้างขึ้นมาโดยวิธีต่างๆ ได้แก่

1) โดยการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งสามารถทำได้โดยการโปรแกรมให้ไมโครโปรเซสเซอร์ส่งสัญญาณซึ่งสอดคล้องกับมุมสวิทช์ ผ่านทางพอร์ทเอาท์พุทซึ่งวิธีนี้จะต้องมีการคำนวณหรือกำหนดค่ามุมสวิทช์ต่างๆ ออกมาเสียก่อนแล้วจึงเก็บไว้ในหน่วยความจำ ไมโครโปรเซสเซอร์จะอาศัยข้อมูลจากหน่วยความจำนั้นเพื่อสร้างรูปแบบ สัญญาณพีดับบลิวเอ็มขึ้นมาแล้วจึงส่งผ่านพอร์ทเอาท์พุทออกมา

2) โดยการใช้วงจรอิเลคทรอนิคส์ วิธีที่สะดวกที่สุด คือการใช้วงจรเปรียบเทียบ เช่น ไอซีเบอร์ LM339,LM311 เป็นต้น ซึ่งสามารถกระทำได้โดยป้อนสัญญาณอินพุท 2 สัญญาณเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบ คือสัญญาณอ้างอิง (reference signal) ซึ่งจะมีความถี่เท่ากับรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มที่ต้องการกับสัญญาณแคเรียร์(carrier signal) ที่มีความถี่สูงกว่า มุมสวิทช์ของรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มก็คือจุดตัดของสัญญาณทั้งสองการสร้างโดยอาศัยสัญญาณเปรียบเทียบนี้สามารถเลือกสัญญาณที่ใช้เปรียบเทียบได้หลายลักษณะดังตัวอย่างในรูปที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 ตัวอย่างการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มโดยการใช้วงจรเปรียบเทียบ

การสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มแบบเนเทอรอลและแบบเรกูลาร์

การสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม โดยการใช้วงจรเปรียบเทียบจะมีองค์ประกอบ 2 ประการที่จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มได้แก่

1) อัตราส่วนความถี่ของสัญญาณแคเรียร์ต่อสัญญาณอ้างอิง(Frequency Ratio,N)

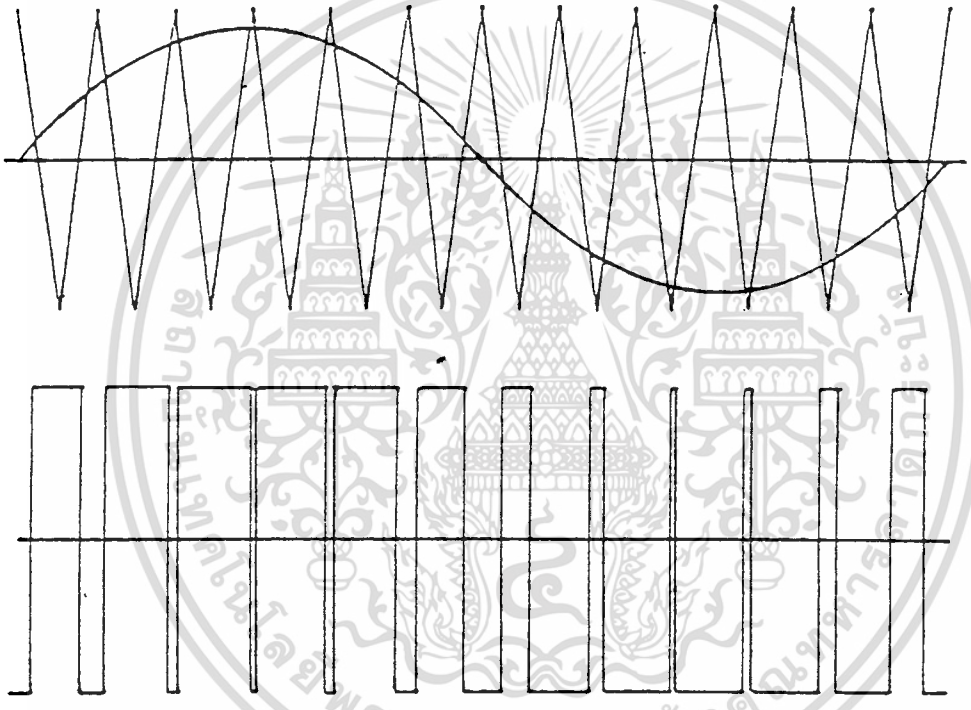
2) อัตราส่วนแอมปลิจูดของสัญญาณอ้างอิงต่อสัญญาณแคเรียร์หรืออัตราส่วนการมอดูเลชั่น (Modulation Ratio,K)

โดยปกติค่าอัตราส่วนการมอดูเลชั่นจะใช้ค่าที่อยู่ในช่วงไม่เกิน 1 ค่านี้จะเป็นตัวกำหนดความกว้างของพัลส์แต่ละพัลส์โดยความกว้างของพัลส์จะยิ่งมากขึ้นเมื่อค่า K มีค่ามากขึ้น ส่วนอัตราส่วนความถี่จะเป็นตัวกำหนดจำนวนพัลส์ให้มีจำนวนเท่ากับค่า N และจำนวนมุมสวิทช์จะมีจำนวน 2N มุม ทั้งนี้ต้องอยู่ในกรณีที่ค่า K ไม่เกิน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างรูปคลื่นแบบเนเทอรอลแซมพลิง

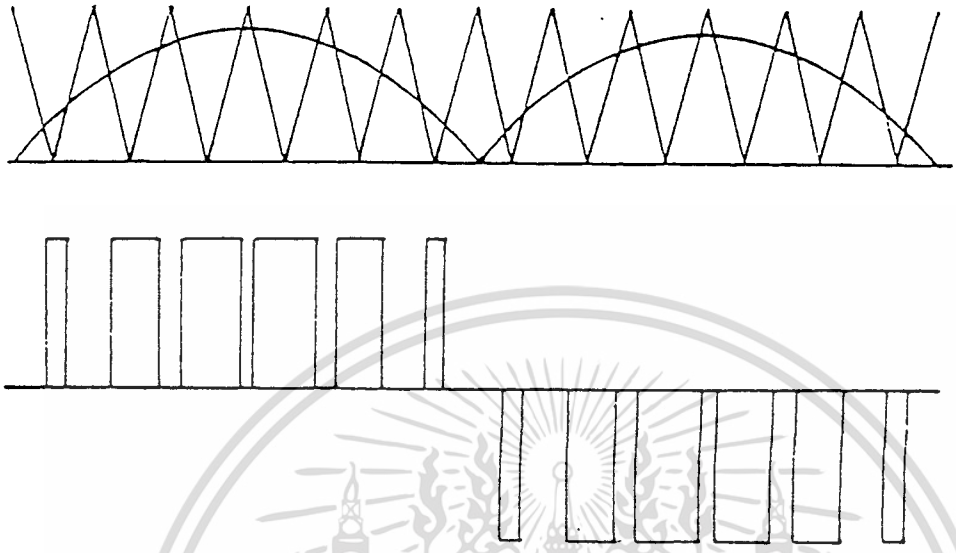
การสร้างรูปคลื่นแบบเนเทอรอลแซมพลิง(Natural Sampling) จะใช้คลื่นsineเป็นสัญญาณอ้างอิง และคลื่นสามเหลี่ยมเป็นสัญญาณแคเรียร์ โดยสามารถสร้างได้ทั้งแบบ 2 ระดับ และแบบ 3 ระดับ การสร้างแบบ 2 ระดับ จะใช้คลื่น sine และคลื่นสามเหลี่ยมแบบเต็มรูปคลื่นช่วงที่คลื่นsine มากกว่าคลื่นสามเหลี่ยมการสวิทช์จะเป็นบวก และช่วงที่คลื่น sine มีขนาดน้อยกว่าการสวิทช์จะเป็น ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การสร้างรูปคลื่นแบบเนเทอรอลแซมพลิงชนิด 2 ระดับ

สำหรับการเปรียบเทียบแบบ 3 ระดับ จะใช้คลื่น sine ที่เรคติฟายขึ้นไปเป็นคลื่นฟูลเวฟเปรียบเทียบกับคลื่นสามเหลี่ยมที่ถูกยกระดับขึ้นไปเหนือเส้นกราวน์ ช่วงที่คลื่นฟูลเวฟมีขนาดมากกว่าการสวิทช์จะมีค่าเป็นบวกในครึ่งคาบแรกและเป็นลบในครึ่งคาบหลัง ส่วนช่วงที่คลื่นฟูลเวฟมีขนาดน้อยกว่าการสวิทช์จะเป็นศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



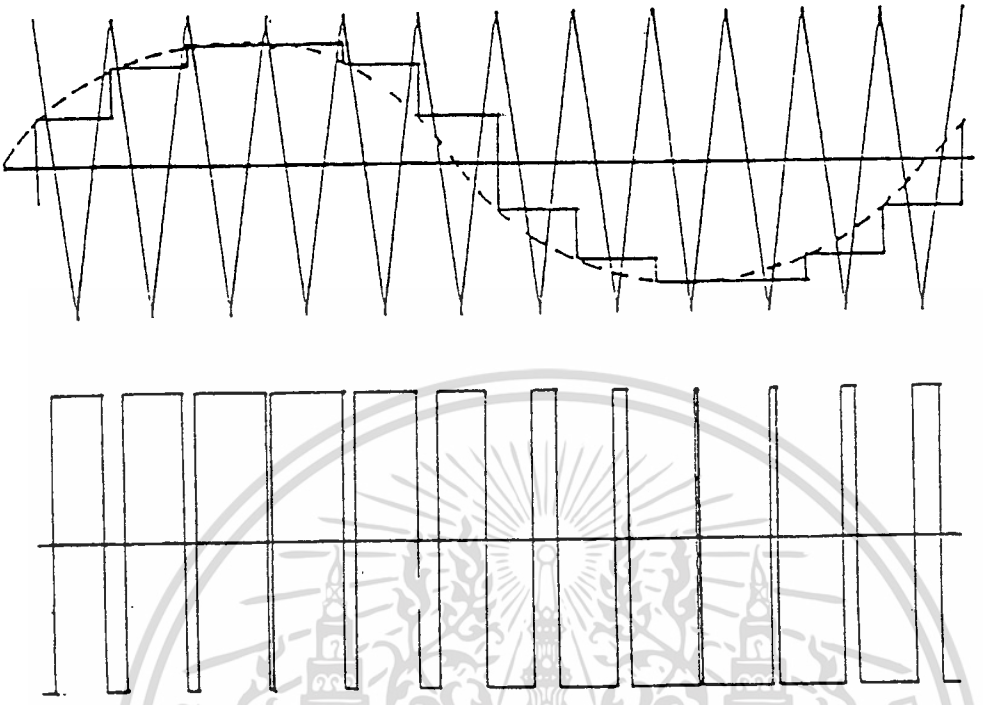
รูปที่ 4 การสร้างรูปคลื่นแบบเนเทอรอลแซมพลิงชนิด 3 ระดับ

การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แซมพลิง

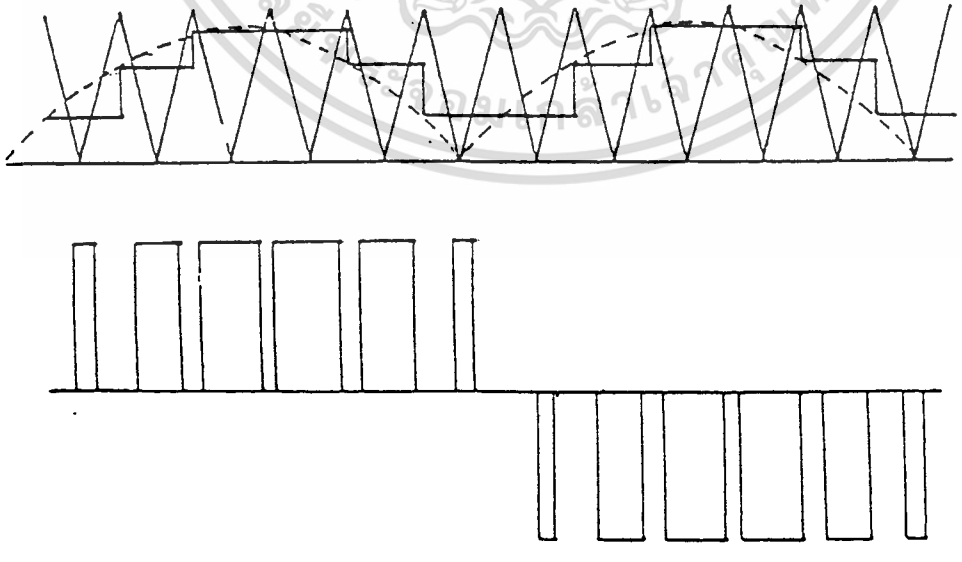
การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แซมพลิง (Regular Sampling) ใช้หลักการเช่นเดียวกับแบบเนเทอรอล โดยดัดแปลงมาจากแบบเนเทอรอลเนื่องจากการเปรียบเทียบแบบเนเทอรอลนั้นระหว่างการเปรียบเทียบแต่ละครั้ง ส่วนของคลื่น sine จะไม่เป็นเชิงเส้น การเปรียบเทียบแบบเรกูลาร์จะนำคลื่น sine ผ่านวงจรแซมพลิงและโฮลด์ (Sampling and Hold) ที่มีความถี่การแซมเพิล (sample) เท่ากับความถี่ของคลื่นสามเหลี่ยมได้เอาท์พุทออกมาเป็นรูปคลื่นขั้นบันได(step) แล้วจึงนำไปเข้าวงจรเปรียบเทียบเพื่อเปรียบเทียบกับคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งจะเห็นได้ว่าระหว่างการเปรียบเทียบแต่ละช่วงจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น การเปรียบเทียบแบบเรกูลาร์สามารถทำได้ทั้งแบบ 2 ระดับ และ 3 ระดับ เช่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033128



รูปที่ 5 การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แซมพลิงชนิด 2 ระดับ



รูปที่ 6 การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แซมพลิงชนิด 3 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรซายน์เวฟอินเวอร์เตอร์

วงจร PWM Sine Wave Inverter

วงจรซายน์เวฟอินเวอร์เตอร์ เป็นอินเวอร์เตอร์ชนิดหนึ่งที่สร้างสัญญาณซายน์โดยวิธีการใช้เทคนิคพีดับบลิวเอ็มซายน์เวฟ โดยการป้อนสัญญาณพีดับบลิวเอ็มซายน์เวฟที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอ้างอิงคือสัญญาณซายน์กับสัญญาณพาหะคือสัญญาณรูปสามเหลี่ยมความถี่สูง นำไปทริกสวิทช์อิเลคทรอนิคส์ ซึ่งอาจจะเป็น ทรานซิสเตอร์ ไทริสเตอร์ หรือ มอสเฟต เป็นต้น

หลักเกณฑ์การสร้างรูปคลื่น PWM

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ในโครงงานนี้เราเลือกวิธีการเปรียบเทียบแบบ เนเทอรอลแซมพลิง โดยการเปรียบเทียบสัญญาณซายน์กับ สัญญาณรูปสามเหลี่ยม ผลลัพท์ที่ได้คือ รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม แบบความกว้างพัลส์ไม่คงที่ ซึ่งนำไปควบคุมการเปิดปิด สวิทช์อิเลคทรอนิคส์ ในลักษณะที่ทำให้เกิดแรงดันที่ภาระเป็น รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม

เงื่อนไขการทำงานของสวิทช์อิเลคทรอนิคส์

สวิทช์อิเลคทรอนิคส์ที่กล่าวถึงนี้ได้แก่ เอสซีอาร์ ทรานซิสเตอร์แบบ ไบโพลาร์ ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า เป็นต้น สำหรับโครงงานนี้เราเลือกใช้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์เป็นสวิทช์ อิเลคทรอนิค ซึ่งมีข้อดีดังนี้

ก. ควบคุมง่ายกว่าเอสซีอาร์ เนื่องจากทรานซิสเตอร์ที่นำกระแสเมื่อมีกระแสเบสเท่านั้นจึงไม่ต้องมีวงจรหยุดนำกระแสเหมือนอย่างใน เอสซีอาร์

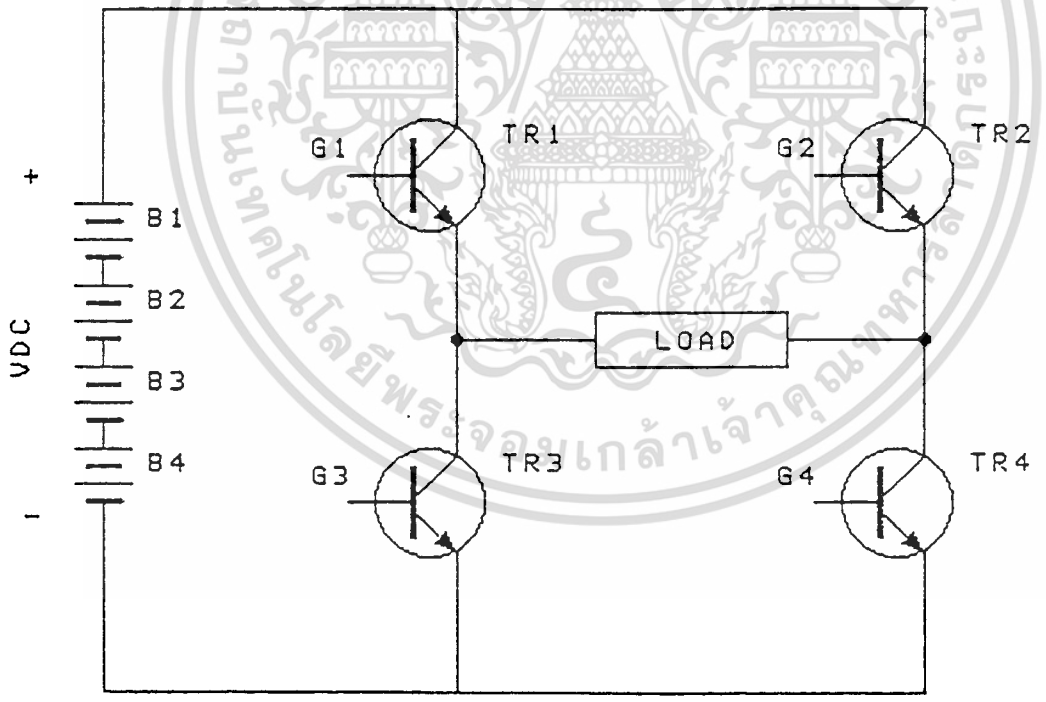
ข. พิกัดกำลังสูงกว่า ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า เพราะในโครงงานนี้ต้องรับภาระได้ถึง 3 KvA

ค. อุปกรณ์มีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย

การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการที่สร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มนั้น เราต้องให้ทรานซิสเตอร์ทำงานตามเงื่อนไขต่อไปนี้ โดยดูวงจรประกอบ จากรูปที่ 7 TR1,TR2,TR3,TR4 คือสวิทช์อิเลคทรอนิคส์ G1,G2,G3,G4 คือสัญญาณควบคุม

1. ช่วงแรงดันที่ภาระเป็นบวก ให้ TR1 และ TR4 นำกระแส
2. ช่วงแรงดันที่ภาระเป็นลบ ให้ TR2 และ TR3 นำกระแส
3. ช่วงแรงดันที่ภาระเป็นศูนย์ ให้ TR1 และ TR2 หรือ TR3 และ TR4 นำกระแส
4. TR1 และ TR3 หรือ TR2 และ TR3 คู่ใดก็ตามนำกระแสพร้อมกันไม่ได้ เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรแหล่งจ่ายไฟตรง การออกแบบต้องสร้างเงื่อนไขให้สวิทช์ทั้งสองของทั้งสองคู่ ทำงานสลับกันตลอดเวลา

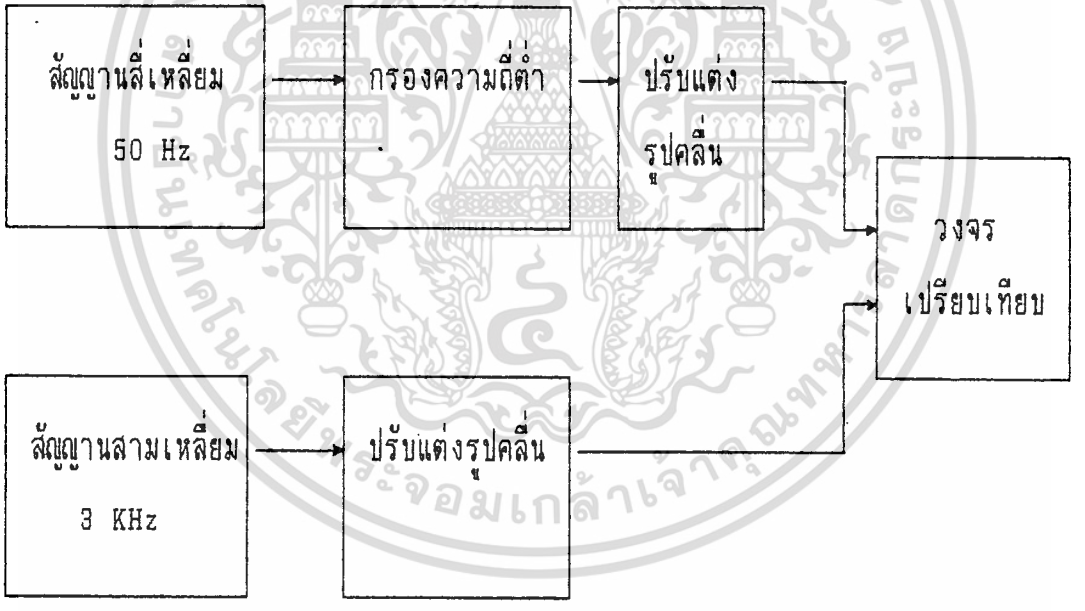


รูปที่ 7 วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการออกแบบสัญญาณควบคุม PWM

จากที่กล่าวมาแล้วว่า รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มเราสร้างจากสัญญาณชายน์ เปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมความถี่สูง ฉะนั้น การออกแบบจะเริ่มต้นจากการสร้างสัญญาณชายน์ และ สัญญาณรูปสามเหลี่ยม



รูปที่ 8 บล็อกไดอะแกรมแสดงการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม

จากรูปที่ 8 บล็อกไดอะแกรม แสดงการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม จะเห็นว่าสัญญาณชายน์ความถี่ 50 Hz เราได้จากการกรองความถี่สูงออกจากสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz ส่วนสัญญาณรูปสามเหลี่ยมความถี่สูง แบบเดิมเราใช้วิธีนำสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz มาแปลงเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมความถี่สูงที่ต้องการ แล้วกรองความถี่ต่ำออกบางส่วน หรือ ใช้วงจรอินทิเกรตจนได้

สัญญาณรูปสามเหลี่ยมออกมา แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำก้าวหน้าไปอย่างมาก ได้มีการผลิตวงจรรวมสำเร็จรูปหรือไอซีที่สามารถสร้างสัญญาณรูปสามเหลี่ยมความถี่สูง ตามที่ต้องการได้ ฉะนั้นในโครงงานนี้เราจึงใช้ ไอซีเบอร์ 566 ซึ่งเป็นไอซีกำเหนิดสัญญาณรูปสามเหลี่ยม โดยความถี่ที่เราต้องการก็คือ 3 กิโลเฮิร์ตก่อนที่เราจะนำสัญญาณซายน์มาเปรียบเทียบกับสัญญาณรูปสามเหลี่ยมจะต้องมีการปรับแต่งสัญญาณทั้งสองก่อน เนื่องจากการเปรียบเทียบหรือการนำสัญญาณทั้งสองมา มอดูเลตกันโดยมีเงื่อนไขว่าอัตราส่วนการมอดูเลชั่น (K) ต้องมีค่าไม่เกิน 1 มิฉะนั้นจะเกิดโอเวอร์มอดูเลชั่นอันไม่เป็นผลดีต่อระบบไฟฟ้า ที่เกี่ยวข้องและที่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ภาระด้วย เนื่องจากเกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิคอันดับต่ำขึ้นโดยเฉพาะองค์ประกอบฮาร์โมนิคอันดับ 3 ดังนั้น เงื่อนไขนี้จึงสำคัญอย่างมากในการนำมาพิจารณาออกแบบวงจรสร้าง สัญญาณควบคุมพีดับบลิวเอ็ม

สรุปหลักการสร้างรูปคลื่น PWM

1. สร้างสัญญาณซายน์ความถี่ 50 Hz
   1.1 สร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม 50 Hz
   1.2 ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ
   1.3 ปรับแต่งรูปสัญญาณ
2. สร้างสัญญาณรูปสามเหลี่ยมความถี่ 3 KHz
   2.1 <u>แบบเดิม</u>
   2.1.1 สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม 50 Hz
   2.1.2 ผ่านวงจรคูณความถี่
   2.1.3 ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ หรือ วงจรอินทิเกรท
   2.1.4 ปรับแต่งรูปสัญญาณ
   2.2 <u>แบบใหม่</u>
   2.2.1 สัญญาณรูปสามเหลี่ยมจากไอซีสำเร็จรูป เช่น ไอซีเบอร์ 566
   2.2.2 ปรับความถี่ตามต้องการ
   2.2.3 ปรับแต่งรูปสัญญาณ
3. นำสัญญาณซายน์ ความถี่ 50 Hz มาเปรียบเทียบกับสัญญาณรูปสามเหลี่ยมความถี่สูง

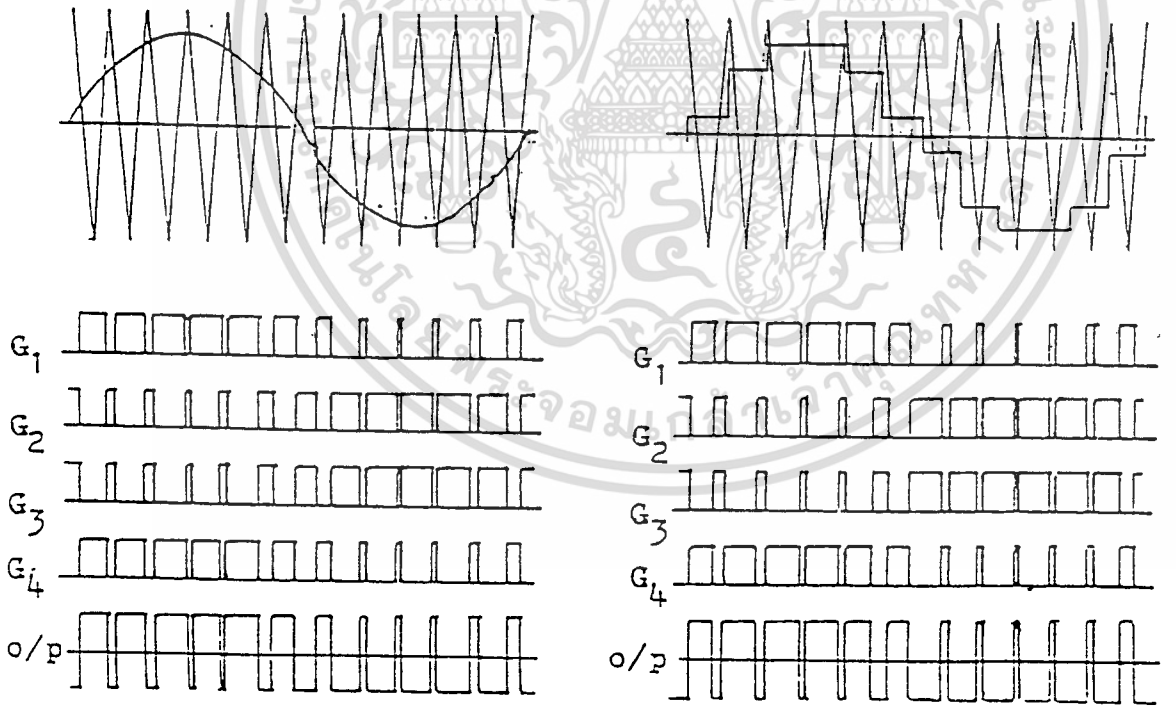
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างรูปแบบสัญญาณ PWM แบบต่างๆ

การสร้างรูปคลื่นพัลซ์วิดโมดูเลชั่นโดยวิธีการเปรียบเทียบมีหลายแบบได้แก่

1. การเปรียบเทียบแบบเนเทอรอลแซมพลิง ชนิด 2 ระดับ
2. การเปรียบเทียบแบบเรกูลาร์แซมพลิง ชนิด 2 ระดับ
3. การเปรียบเทียบแบบเนเทอรอลแซมพลิง ชนิด 3 ระดับ
4. การเปรียบเทียบแบบเรกูลาร์แซมพลิง ชนิด 3 ระดับ

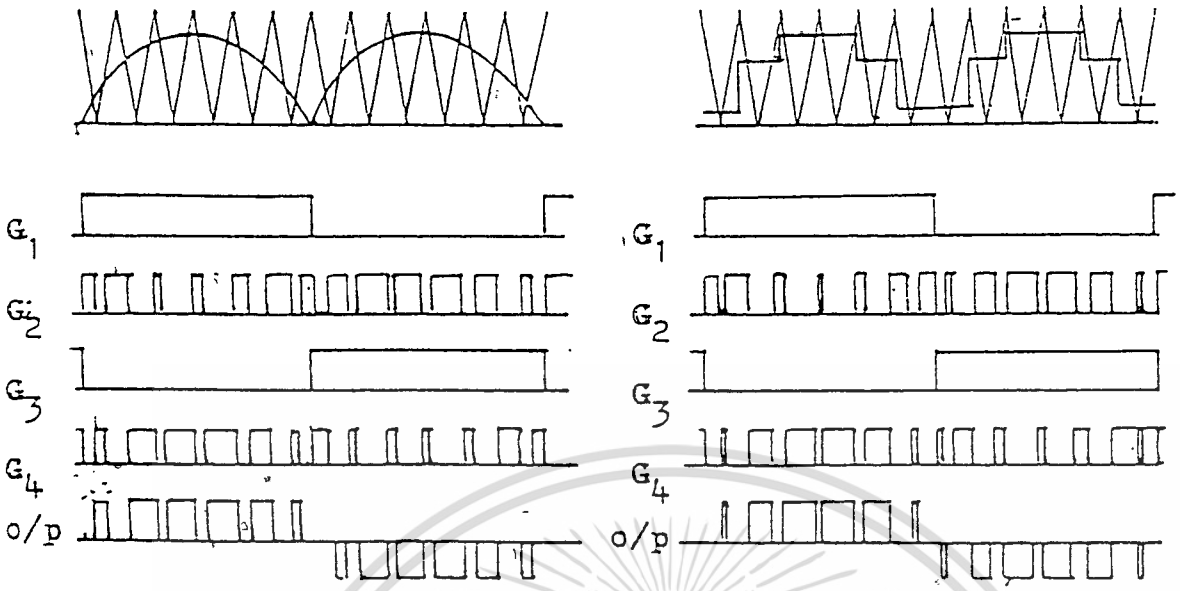
จากรูปที่ 9 และรูปที่ 10 การเปรียบเทียบแบบเนเทอรอลแซมพลิงนั้นเป็นวิธีการเปรียบเทียบอย่างต่อเนื่อง และเป็นเชิงเส้น ส่วนการเปรียบเทียบแบบเรกูลาร์แซมพลิง เป็นวิธีการเปรียบเทียบอย่างไม่ต่อเนื่องและไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งจะได้เอาท์พุทออกมาเป็นรูปคลื่นขั้นบันได



1) แบบเนเทอรอล 2) แบบเรกูลาร์

รูปที่ 9 แสดงการสร้างสัญญาณพัลซ์วิดโมดูเลชั่นแบบ 2 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1) แบบเนเทอรอล 2) แบบเรกูลาร์

รูปที่ 10 แสดงการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบ 3 ระดับ

การสร้างรูปแบบสัญญาณ PWM ในโครงงานนี้

จากการวิเคราะห์ทางด้านองค์ประกอบฮาร์โมนิคสำหรับรูปคลื่นแบบ 3 ระดับ จะมีข้อดีมากกว่าแบบ 2 ระดับ ตรงที่เกิดเฉพาะฮาร์โมนิคอันดับคี่และฮาร์โมนิคที่มีขนาดสูงสุด มีขนาดต่ำกว่าการเปรียบเทียบแบบเนเทอรอลจะดีกว่าแบบเรกูลาร์เล็กน้อยเนื่องจาก ขนาดขององค์ประกอบฮาร์โมนิคต่ำกว่า รวมทั้งวิธีการสร้างวงจรจะง่ายกว่าแต่การจะลดผลของฮาร์โมนิค ให้น้อยลงทำได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนความถี่ของสัญญาณพาหะต่อสัญญาณอ้างอิง หรือเพิ่มความถี่ของสัญญาณรูปสามเหลี่ยมให้มากขึ้นนั่นเองแต่มีผลเสียในทางปฏิบัติคือเกิดการสูญเสียในการสวิทช์ชิ่ง (Switching loss)มาก สำหรับค่าอัตราส่วนความถี่ที่ได้เลือกไว้นั้นเป็นค่าที่เหมาะสมเนื่องจากสามารถกำจัดฮาร์โมนิคอันดับต่ำออกไปได้มาก แต่เรามีวิธีแก้ไขการสูญเสียในการสวิทช์ โดยใช้วิธีสร้างแบบเดิมนั้นเราสร้างโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยกระดับสัญญานรูปสามเหลี่ยมเป็นบวก และเรคติฟายสัญญานชายน์ให้เป็นคลื่นฟูลเวฟ ส่วนวิธีใหม่นั้นกระทำได้โดย การใช้สัญญานชายน์ทั้งแบบกลับเฟส และไม่กลับเฟสมาเปรียบเทียบกับ สัญญานรูปสามเหลี่ยม ฉะนั้นวิธีการสร้างพีดับบลิวเอ็มแบบใหม่มีข้อดี ดังต่อไปนี้

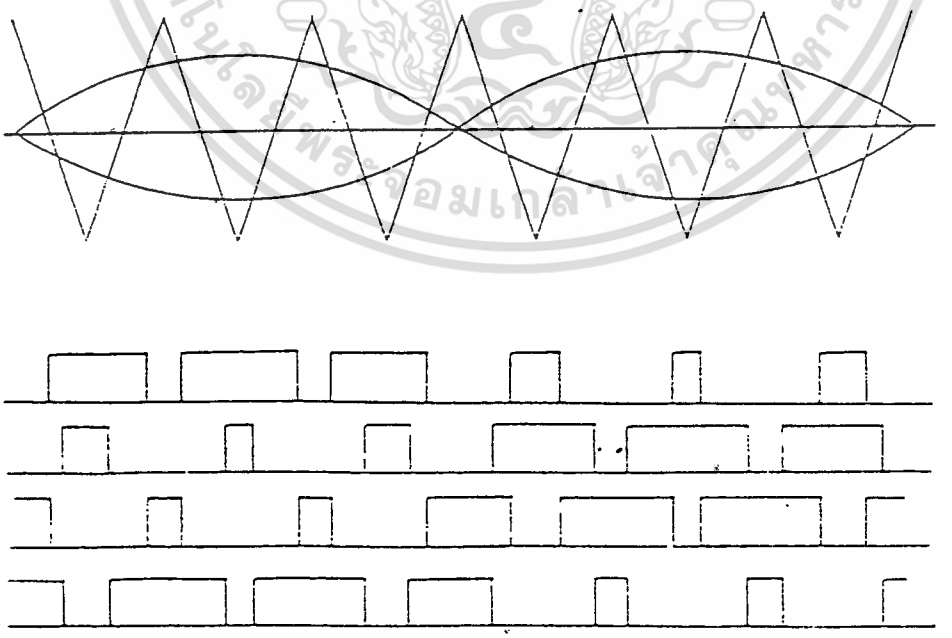
1. สัญญานทริกแต่ละสัญญานมีความถี่เท่ากันทุกสัญญานทำให้ ทรานซิสเตอร์แต่ละชุดทำงานได้เท่าเทียมกัน

2. สามารถลดจำนวนครั้ง ของการสวิทช์ลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของแบบ 2 ระดับที่ค่าอัตราส่วนความถี่เดียวกัน

3. ไม่ต้องมีส่วนกระทำทางลอจิก

4. ให้ผลลัพธ์รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มที่ภาระเหมือนกับแบบเดิมทุกอย่าง

สรุปได้ว่าสำหรับโครงงานนี้ เราสร้างสัญญานพีดับบลิวเอ็ม โดยวิธีการเปรียบเทียบแบบเนเทอรอลแซมพลิงชนิด 3 ระดับ ระหว่างสัญญานชายน์ความถี่ 50 Hz กับสัญญานรูปสามเหลี่ยมความถี่ 3 KHz โดยมีค่าอัตราส่วนความถี่ของสัญญานพาหะ ต่อสัญญานอ้างอิง (frequency ratio,N) เท่ากับ 60 ในที่นี้สัญญานพาหะ คือ สัญญานรูปสามเหลี่ยมและสัญญานอ้างอิง คือ สัญญานชายน์



รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบแบบ 3 ระดับโดยวิธีใหม่(ที่ใช้ในโครงงานนี้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสร้างสัญญาณควบคุม PWM

ในแหล่งจ่ายไฟสำรอง การสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มนั้นไม่ได้มีเฉพาะวงจรสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มเท่านั้น แต่มีวงจรอื่นๆ อีกที่ช่วยในการป้องกันและช่วยให้แหล่งจ่ายไฟสำรองทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น เช่น วงจรตรวจจับแรงดันไฟไลน์ วงจรควบคุมระดับแรงดันเอาท์พุทเป็นต้น

ในโครงงานนี้เราแบ่งวงจรสร้างสัญญาณควบคุมพีดับบลิวเอ็มออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. ส่วนตรวจสอบแรงดัน
2. ส่วนล็อคเฟส
3. ส่วนสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม

วงจรทั้งสามส่วนนี้ได้ทำงานร่วมกัน และทำงานนอกเหนือไปจากวงจรสร้างสัญญาณควบคุมพีดับบลิวเอ็มในอินเวอร์เตอร์ทั่วไป โดยฟังก์ชั่นการทำงานของส่วนต่างๆ จะมีดังนี้

ส่วนตรวจสอบแรงดัน

- เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบว่า เกิดสภาวะผิดปกติหรือไฟดับเกิดขึ้นกับไลน์หรือไม่โดยใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดัน
- ในขณะไฟดับส่วนนี้จะส่งสัญญาณไปสั่งให้อินเวอร์เตอร์ทำงานในสภาวะสร้างสัญญาณซายน์ความถี่ 50 Hz อิสระโดยไม่ซิงค์โคไนซ์กับไฟไลน์
- ส่วนนี้จะส่งสัญญาณเพื่อบอกไปยังส่วนล็อคเฟสในช่วงที่ไฟไลน์กลับมาอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้อินเวอร์เตอร์ทำงานซิงค์โคไนซ์กับไฟไลน์ ซึ่งเป็นผลดีต่อระบบไฟฟ้าในแง่ของการมีเสถียรภาพที่ดี
- ในขณะที่ไฟไลน์เข้ามาไม่ว่ากรณีของการเริ่มเปิดเครื่องหรือกรณีไฟไลน์กลับมาใหม่หลังจากดับไปส่วนนี้จะทำหน้าที่หน่วงเวลาเพื่อตรวจดูว่าไฟไลน์กลับมาแน่นอนหรือไม่ เพราะมิฉะนั้นในช่วงไฟดับมากๆ จะทำให้อินเวอร์เตอร์ทำงานกลับไปกลับมา อย่างไม่มีเสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนล็อคเฟสกับไลน์

- ส่วนนี้ทำหน้าที่คอยจัดการให้ สัญญาณจากอินเวอร์เตอร์ซิงค์โคไนซ์กับไฟไลน์ตลอดเวลา ซึ่งเรียกว่า ช่วงล็อคความถี่

- ส่วนนี้จะคอยส่งสัญญาณไปที่ส่วนของทรานเฟอร์สวิทช์ เพื่อที่จะทำให้การทรานเฟอร์เป็นไปอย่างมีประสิทธภาพ พร้อมทั้งไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันอย่างฉับพลัน ไม่เช่นนั้นจะเกิดการกระชากของแรงดันขึ้นที่ภาระ เนื่องจากแรงดันที่อินเวอร์เตอร์และแรงดันที่ไลน์กลับทิศกัน ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในเรื่องของทรานเฟอร์สวิทช์

- ส่วนล็อคเฟสนี้จะส่งสัญญาณให้อินเวอร์เตอร์ทำงาน ในสภาวะซิงค์โคไนซ์กับไฟไลน์ ก็ต่อเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้ คือ

1) ไฟไลน์อยู่สภาวะปกติอยู่หรือไฟไม่ดับ โดยส่วนนี้ส่วนตรวจสอบแรงดันจะส่งสัญญาณมาให้

2) ไฟไลน์ล็อคเฟสกับไฟจากอินเวอร์เตอร์พอดี

วงจรส่วนนี้ได้เพิ่มเข้าไปในแหล่งจ่ายไฟสำรองเพื่อประสิทธภาพในการทำงานของอินเวอร์เตอร์

ส่วนสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม

เป็นส่วนที่สำคัญที่สุด เนื่องจากเป็นทั้งตัวสร้างสัญญาณรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม และ ตัวควบคุมแรงดันเอาท์พุท แบ่งเป็นสามส่วนตามหลักการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มได้แก่

1. ส่วนสร้างสัญญาณพาหนะหรือสัญญาณรูปสามเหลี่ยม

สำหรับในโครงงานนี้ เราได้สร้างวงจรให้เล็กลงกว่าวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมแบบเดิม โดยใช้ ไอซีสำเร็จรูปที่ปรับความถี่ได้

2. ส่วนสร้างสัญญาณซายน์

สัญญาณซายน์ที่ต้องการ ต้องการให้ซิงค์กับไฟไลน์ โดยสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ ซิงค์กับไฟไลน์ (โดยไอซีเฟสล็อคลูป) ก่อนแล้วจึงนำมากรองความถี่สูงออกไปให้เหลือแต่สัญญาณซายน์ ซึ่งการทำงานของเฟสล็อคลูปแบ่งเป็น 2 สภาวะคือ

1) สร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมโดยการซิงค์กับไฟไลน์

2) สร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมโดยไม่มีการซิงค์โคไนซ์กับไฟไลน์ในช่วงไฟไลน์ผิดปรกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

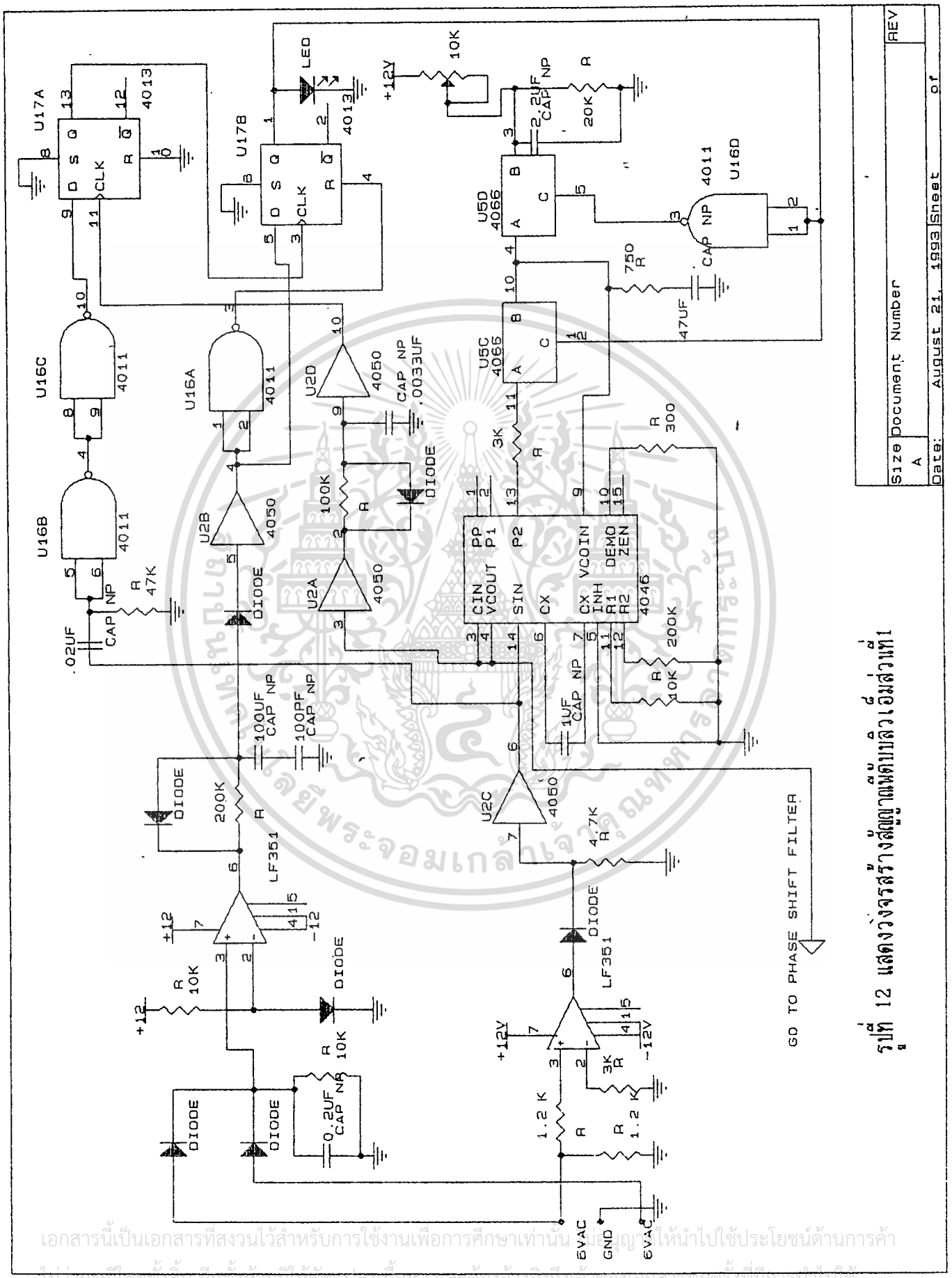
ไอซีเฟสล็อกลูปจะทำงานในสภาวะแรกจนกระทั่งเกิดความผิดปรกติเช่น ไฟดับ หรือเฟสไม่ตรงกับไลน์ วงจรส่วนล็อคเฟสจะสั่งงานให้ไอซีเฟสล็อคลูปทำงานในสภาวะที่ 2 โดยผลิตสัญญานรูปสี่เหลี่ยมออกมาเองโดยไม่มีการซิงค์โคไนซ์กับไฟไลน์ หลังจากได้สัญญานรูปสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz ออกมาก็นำมาผ่านวงจรกรองความถี่ และเลื่อนเฟสเพื่อให้สัญญานซายน์ที่ได้ซิงค์โคไนซ์กับไฟไลน์พอดี สัญญานที่ได้นี้จะถูกป้อนกลับเข้าสู่ส่วนควบคุมแบบ พี-ไอ เพื่อรักษาระดับแรงดันเอาท์พุทให้คงที่ และราบรื่นรวม นอกจากนั้นยังมีวงจรป้องกันการเกิดโอเวอร์มอดูเลชั่น (ขนาดของ ซายน์ มากกว่าขนาดสามเหลี่ยม) ซึ่งทำให้เกิดฮาร์โมนิคอันดับต่ำขึ้นมากมาย สัญญานซายน์ที่สร้างมี 2 สัญญาน คือ แบบกลับเฟส กับ แบบไม่กลับเฟส เมื่อเทียบกับไฟไลน์

3) ส่วนวงจรเปรียบเทียบ ส่วนนี้จะนำสัญญานซายน์ความถี่ 50 Hz ที่กลับเฟสกับไลน์และไม่กลับเฟสกับไลน์ มาเปรียบเทียบกับสัญญานคลื่นพาหะหรือ สัญญานรูปสามเหลี่ยม ความถี่ 3 KHz โดยวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ในส่วนนี้จะมีวงจรปรับค่าเดทไทม์ของสัญญานเพื่อให้เหมาะสมกับค่า turn off time ของทรานซิสเตอร์เพื่อป้องกันทรานซิสเตอร์ ตัวที่ 1 กับ 3 ทำงานพร้อมกัน มิฉะนั้นจะเกิดการลัดวงจรของแหล่งจ่ายไฟตรง อีกทั้งอาจทำให้รูปสัญญานพีดับบลิวเอ็มเพี้ยนไป เป็นผลให้สัญญานซายน์ที่ภาระเพี้ยนไปด้วย เอาท์พุทจากวงจรส่วนนี้ มี 4 ชุดเพื่อนำไปทริกให้ทรานซิสเตอร์ในวงจรกำลังโดยผ่านทางส่วนของวงจรขับเบสต่อไป

<u>อธิบายการทำงานของวงจรสร้าง PWM</u>

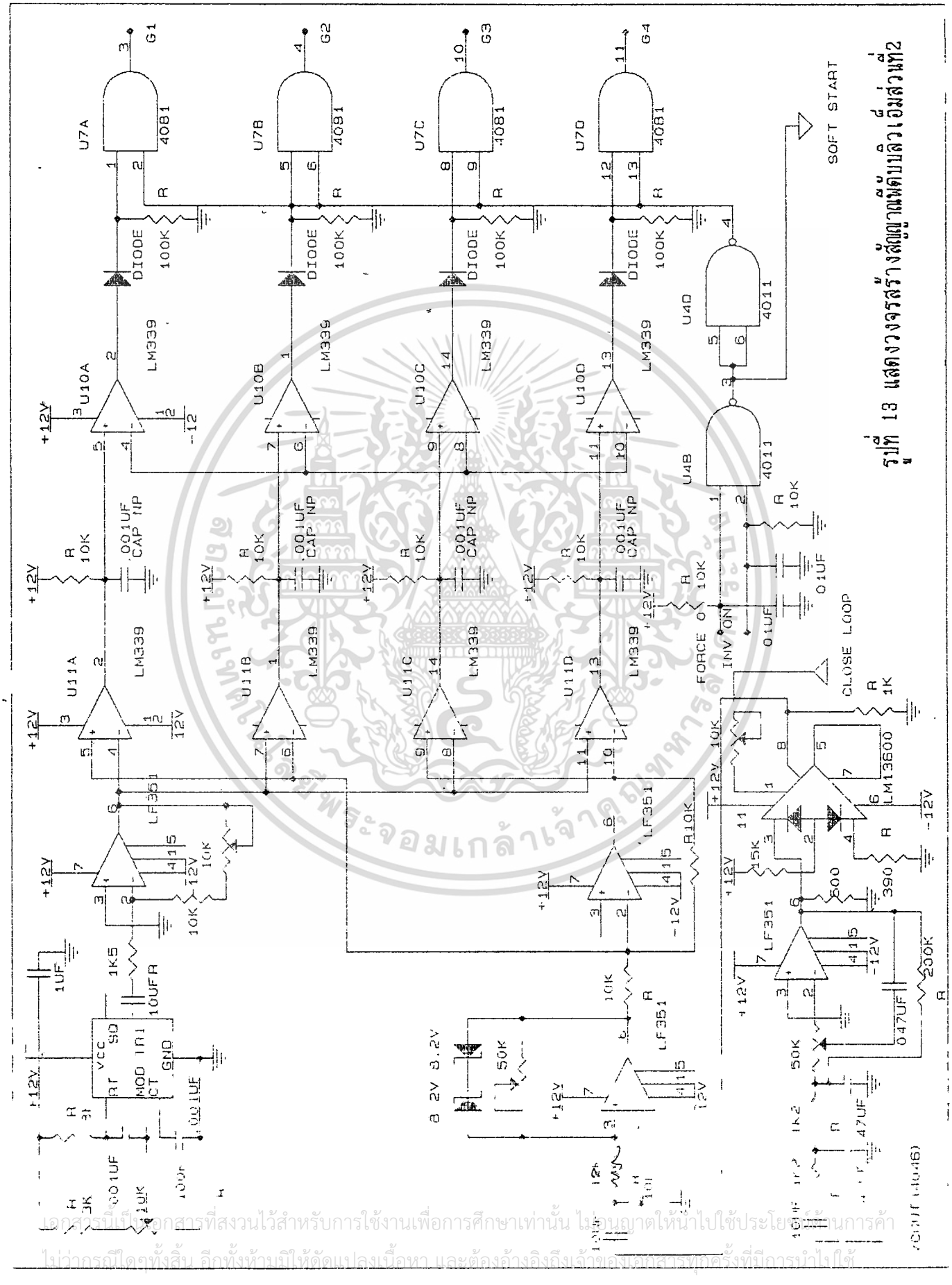
จากรูปวงจร 12 ไฟไลน์จากการไฟฟ้าแรงดัน 220 โวลต์ผ่านหม้อแปลงแรงดันลงมาเหลือแรงดัน 6 โวลต์ ผ่านไดโอดเรียงกระแสและตัวเก็บประจุเพื่อกรองเป็นไฟตรงที่เรียบขึ้น ไอซี U3 เป็นออปแอมป์เบอร์ LF351 ต่อกันเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันให้เอาท์พุทออกมาเป็นลอจิก ซึ่งไปยังไอซีเบอร์ U2B โดยทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ วงจรยืดความกว้างพัลส์เพื่อหน่วงเวลาในการตรวจสอบไฟไลน์และส่งสัญญานไปยังส่วนล็อคเฟส ส่วนล็อคเฟสนี้เริ่มจากไฟไลน์แรงดัน 6 โวลต์ป้อนเข้าสู่ไอซีเบอร์ U1 ทำหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะได้สัญญานไฟสลับความถี่ 50 Hz ไอซีเบอร์ U2C ทำหน้าที่กรองให้เหลือแต่พัลส์ไฟตรงเท่านั้น ส่วนไอซี U16B และ U16D ต่อเป็นวงจรหดความกว้างพลัส เพื่อส่งเป็นสัญญานบอกว่าช่วงไหนเฟสของอินเวอร์เตอร์ล็อคกับไลน์ เพื่อให้อินเวอร์เตอร์ทำงานซิงค์โคไนซ์กับไฟไลน์ ไอซี U6 ทำหน้าที่สร้างสัญญานรูปสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz-ซึ่งทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



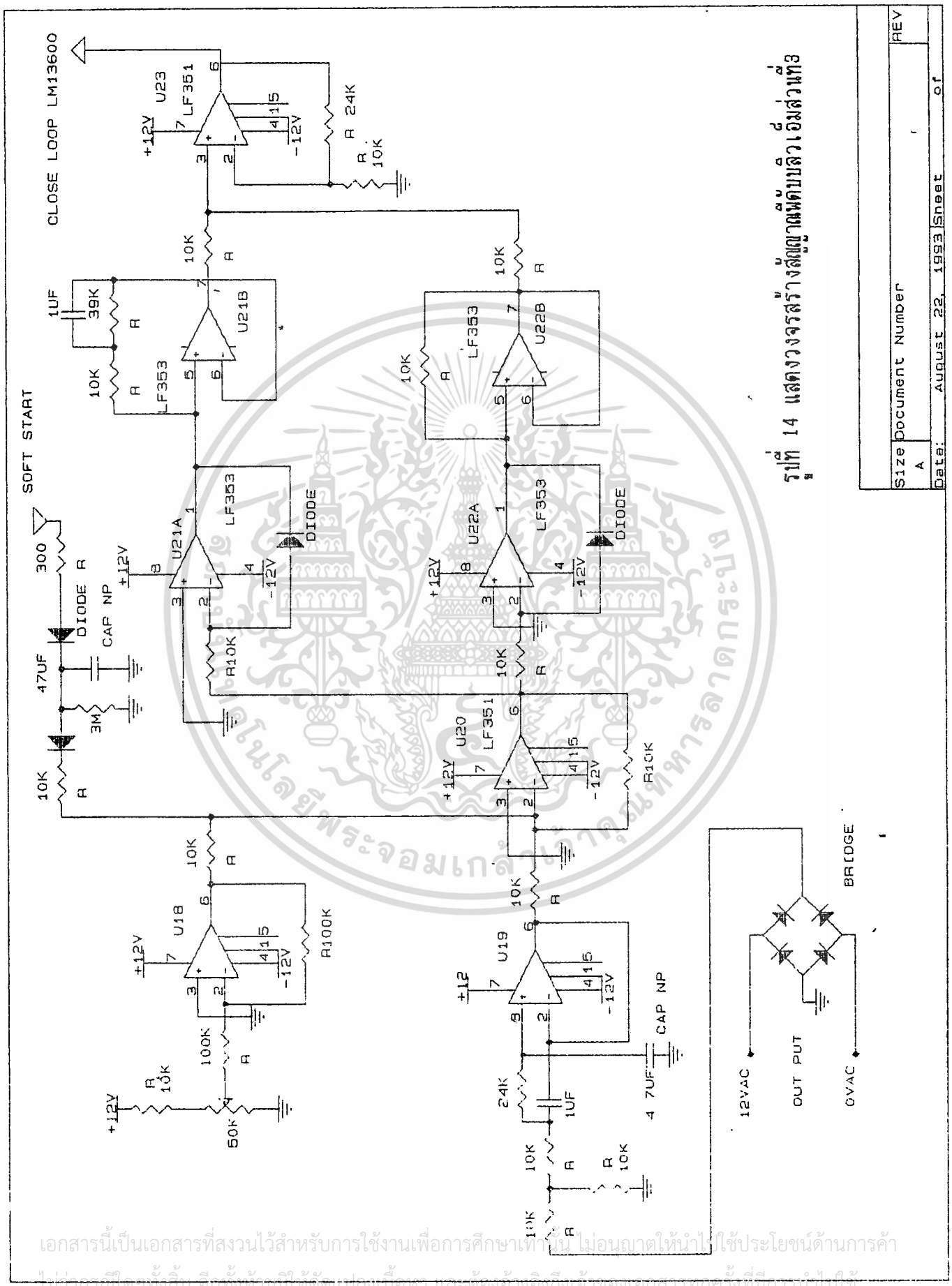
รูปที่ 12 แสดงวงจรสร้างสัญญาณพัลส์เวลาเอมสวาท1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 แสดงวงจรสร้างสัญญาณพัลส์เอสพีดับเบิลยูเอ็ม2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 แสดงวงจรสร้างสัญญาณพัลส์แบบเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 สภาวะคือ

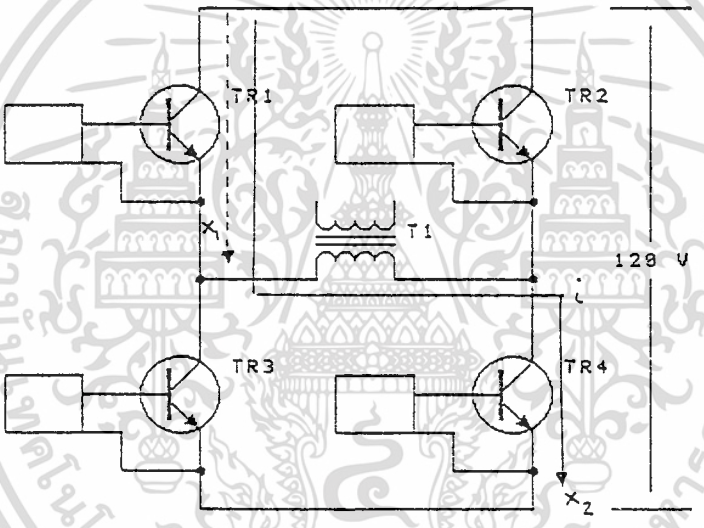
1)สร้างสัญญานรูปสี่เหลี่ยมที่ซิงค์โคไนซ์กับไฟไลน์ เมื่อเอาท์พุทจากไอซี U17B เป็น "1" สั่งให้ไอซี U5D อนาลอกสวิทช์ทำงาน ในกรณีไฟไลน์ปกติโดยขา VCOIN ของไอซีเฟสล็อคลูปเชื่อมกับขา PHASE COMPARE

2)สร้างสัญญานรูปสี่เหลี่ยมอิสระ เมื่อลอจิกจากไอซี U17B เป็น "0" สั่งให้ไอซี U5C อนาลอกสวิทช์ทำงาน แรงดันที่ตั้งเอาไว้ป้อนเข้าขา VCOIN ของไอซีเฟสล็อกลูป สัญญานรูปสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz ที่ได้นี้จะเป็นสัญญานที่นำไปสร้างสัญญานซายน์อีกทีหนึ่ง จากรูปที่ 13 โดยไอซี U12 ทำหน้าที่เป็นวงจรเฟสชิฟฟิลเตอร์ (phase shift filter) เพื่อกรองความถี่ต่ำและเลื่อนเฟส หลังจากนั้นจะควบคุมขนาดของสัญญานซายน์โดยใช้ไอซีเบอร์ U24 เป็น operating trancondu-ctance amplifier หรือ OTA ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการรักษาระดับแรงดันเอาท์พุทให้คงที่ ไอซี U11 เป็นวงจรจำกัดขนาดของสัญญานซายน์ เพื่อไม่ให้มีขนาดเกินคลื่นพาหะ อันเป็นผลทำให้เกิดโอเวอร์มอดูเลชั่น สัญญานจะกลับเฟสโดยไอซี U10 ต่อเป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส ไอซี LM339 ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบระหว่างสัญญานซายน์กลับเฟส และไม่กลับเฟสกับสัญญานรูปสามเหลี่ยมความถี่ 3 KHz ไอซี LM339 อีกตัวทำหน้าที่สร้างเดทไทม์ให้กับสัญญานพีดับบลิวเอ็มที่ไปทริกทรานซิสเตอร์ สัญญานรูปสามเหลี่ยมสร้างจากไอซี U14 เบอร์ 566 และ U15 สำหรับไอซี U7 เป็นตัวที่ปล่อยสัญญานพีดับบลิวเอ็มออกจากส่วนสร้างคลื่นรูปพีดับบลิวเอ็มไปยัง วงจรขับเบสเพื่อใช้ขับทรานซิสเตอร์ต่อไป ไอซี OTA เบอร์ LM13600 ควบคุมแรงดันเอาท์พุทให้คงที่ได้ โดยส่วนควบคุมแบบป้อนกลับนำคลื่นรูปซายน์ ที่เอาท์พุท มาตรวจสอบว่าได้ค่าแรงดันตามต้องการหรือไม่ ในโครงงานนี้คือแรงดัน 220 โวลต์ ซึ่งแปลงลงมาเหลือแรงดัน 12 โวลต์ ผ่านทางวงจรเรคติฟาย และผ่านไอซี 19 เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ และ ไอซี U20 เป็นออปแอมป์ทำหน้าที่ลบแรงดันแล้วไอซี U21 และ U22 เป็นวงจรควบคุมแบบ พี-ไอ ไอซี OTA มีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีอัตราขยายเปลี่ยนแปลงตามกระแสที่เข้ามาไบแอส โดยในสภาวะที่มีการเพิ่มภาระ แรงดันเอาท์พุทจะตกลงเราจึงต้องเพิ่มอินพุทเข้าไปเพื่อรักษาระดับแรงดันเอาท์พุทให้คงที่ ทำได้โดยการเพิ่มขนาดของคลื่นซายน์ ทำให้อัตราการมอดูเลชั่นสูงขึ้น แต่ต้องไม่เกินหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เกิด โอเวอร์มอดูเลชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขับเบส (BASE DRIVE)

หลังจากที่ได้สัญญาณ PWM ที่จะไบแอสทรานซิสเตอร์แต่ละตัวแล้วสัญญาณ PWM จะต้องถูกนำมาขยายจนสามารถจ่ายกระแสได้เพียงพอ ค่าของกระแสเบสนี้จะต้องมากพอ ที่จะให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านอิ่มตัว (saturated) จากการศึกษาพบว่ากระแสอยู่ในช่วง 500-700 mA ในชุดวงจรขับเบสนั้นจะต้องทำการแยกไฟเลี้ยงของแต่ละชุดออกจากกัน และจะต้องแยกกราวด์ออกจากชุดกำเนิดสัญญาณ PWM ด้วย สาเหตุที่แยกไฟเลี้ยงและกราวด์ ดูรูปที่ 15 ประกอบคำอธิบาย



รูปที่ 15 แสดงวงจรขับเบสที่ต่ออยู่กับ Power Transistor

จากรูปทรานซิสเตอร์ชนิด NPN จำนวน 4 ตัวถูกนำมาต่อเป็นบริดจ์เพื่อขับโหลดซึ่งในที่นี้คือหม้อแปลงการทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้ในช่วงไซเคิลบวก Tr1 และ Tr4 จะทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับโหลดและในช่วงไซเคิลลบ Tr2 และ Tr3 จะทำงานสลับกันไปทำให้ได้สัญญาณไฟสลับผ่านหม้อแปลง แต่เนื่องจากการกำเนิดสัญญาณ PWM ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นแบบ 3 ระดับ ทรานซิสเตอร์ทุกตัวจะมีการปิดเปิดตลอดเวลา แต่จังหวะการปิดเปิดจะไม่ตรงกันดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ถ้าพิจารณาที่ขณะใดขณะหนึ่งซึ่งทรานซิสเตอร์จะต้องจ่ายกระแสให้กับโหลด ตามรูปที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

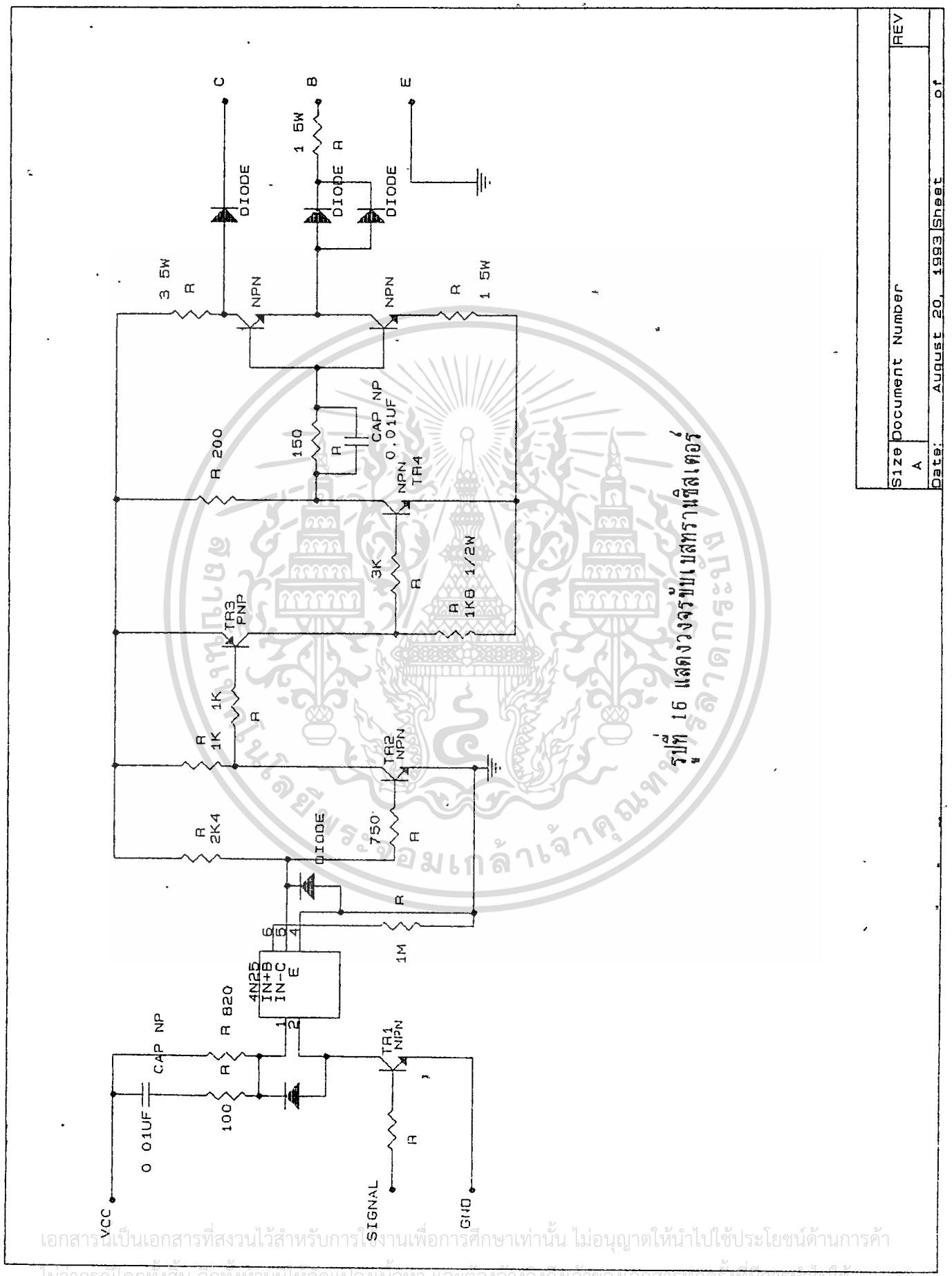
ถ้าชุดวงจรขับเบสแต่ละชุดไม่ได้ทำการแยกกราวด์จะพบว่า ขาอิมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะเป็นจุดเดียวกัน เช่น ตามรูป จุด x1 และ x2 จะเป็นจุดเดียวกัน(คือ กราวด์)ทางเดินของกระแสจะไม่ไหลผ่านโหลดและ Tr4 แต่จะลัดผ่าน Tr1 ลงกราวด์ โดยทางผ่านกราวด์ของชุดวงจรขับเบส

หลักการทำงานของวงจรขับเบส

จากรูปที่ 16 แสดงการทำงานของวงจรขับเบส ใช้ IC 4N25 ซึ่งเป็น IC opto couple ทำการแยกกราวด์ของวงจรชุดขับเบส ออกจากวงจรกำเนิดสัญญาณ PWM ส่วนไฟเลี้ยงของวงจรขับเบสนั้นแหล่งจ่ายไฟ DC จะทำการแยกกราวด์โดยใช้หม้อแปลง 4 ตัว เอาท์พุทที่ได้จากหม้อแปลงจะเป็นไฟตรง 3 ระดับ ได้แก่ +6,0,-6 V สามารถอธิบายการทำงานของวงจรได้ดังนี้

สัญญาณ PWM ที่เข้ามา Tr1 โดยมี R1 เป็นตัวจำกัดกระแสเบสและกระแสคอลเลคเตอร์ของ Tr1 จะไปไบแอสให้ LED ที่อยู่ภายใน IC1 ติดดับตามสัญญาณ PWM โดยมี R3 เป็นตัวจำกัดกระแสให้ LED ส่วน R2 และ C1 จะช่วยให้ Tr1 ON/OFF ได้เร็วขึ้น ไดโอดที่ต่ออยู่กับ IC1 มีหน้าที่ป้องกันกระแสรีเวอร์สไบแอส ซึ่งอาจทำอันตรายให้กับอุปกรณ์ในไอซีได้ เมื่อ LED ติด photo transistor ที่อยู่ภายใน IC1 จะได้การไบแอสให้นำกระแส เอาท์พุทที่ได้จากตำแหน่ง R5 จะเป็นสัญญาณ PWM ที่ทำการแยกกราวด์แล้ว แต่สัญญาณที่ได้ไม่คมจึงต้องมีการขยายสัญญาณ โดยใช้ Tr2 และสัญญาณที่ได้จากภาคขยายนี้จะเป็นสัญญาณ PWM แบบ 2 ระดับ คือ บวกและกราวด์ ในการขับทรานซิสเตอร์โมดูลนั้นจะต้องใช้สัญญาณแบบ 3 ระดับ ทั้งนี้เพื่อให้แรงดันซึกลบทำให้ทรานซิสเตอร์ OFF ได้เร็วขึ้น ซึ่งในวงจรจะใช้ Tr3 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ต่อกันดังรูป และเอาท์พุทที่ได้จากตำแหน่ง R9 จะถูกขยายด้วย Tr4 และจะถูกป้อนเข้า Tr6 และ Tr7 ซึ่งต่อกันแบบ complementary โดยใช้ RC Coupling ต่อกันดังรูป เพื่อให้ Tr6 และ Tr7 ON/OFF ได้เร็วขึ้น เนื่องจากภาคขยายนี้จะเป็นส่วนที่จะต้องขับเบสดังนั้น Tr6 และ Tr7 จะต้องจ่ายกระแสขับเบสได้ (มีค่าประมาณ 500-700 mA) ในวงจรจะใช้ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BD140 และ BD139 ซึ่งสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 1 A R13 และ R14 ใช้เพื่อจำกัดกระแส ที่ใช้ในการ ON/OFF ทรานซิสเตอร์ในซึกบวกและซึกลบตามลำดับ การต่อขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์โมดูลตามรูป จะสามารถลดค่า Storage Time ของทรานซิสเตอร์ได้ และ D1 ก็มีหน้าที่ป้องกันไฟ DC แรงสูงเข้ามาในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16 แสดงวงจรขับมอสทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

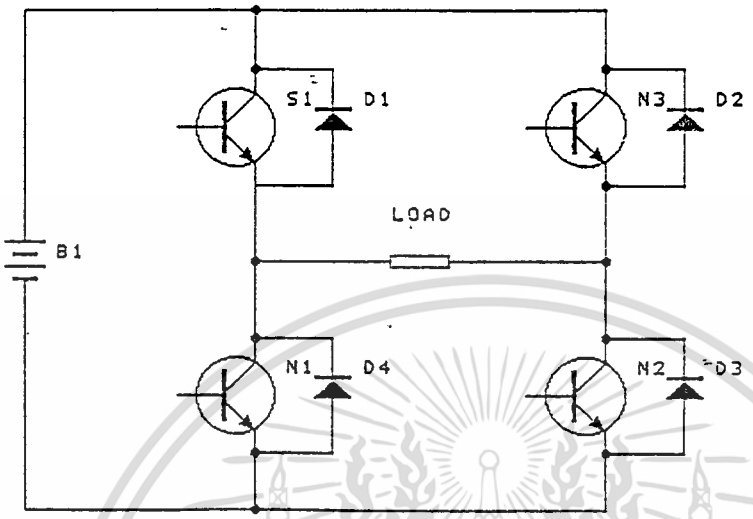
จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นเป็นการกล่าวถึงหลักการและการทำงานของวงจรขับเบสแม้ว่าในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณ PWM จะได้สร้างค่า Dead Time เพื่อชดเชยค่า Storage Time ของทรานซิสเตอร์แล้ว วงจรขับเบสควรจะมีค่าของ Storage Time น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อป้องกันการลัดวงจรในทางปฏิบัติเราไม่สามารถลดค่า Storage Time ให้มีค่าเป็นศูนย์ได้ ดังนั้นวงจรที่ทำการออกแบบนี้จะมีค่า Storage Time ประมาณมิลลิวินาที (mS) ซึ่งค่านี้ยังขึ้นอยู่กับขนาด และคุณสมบัติอื่น ๆ ของทรานซิสเตอร์โมดูลด้วย

วงจรกำลัง (POWER CIRCUIT)

วงจรซายน์เวฟอินเวอร์เตอร์ในโครงงานนี้ ใช้ทรานซิสเตอร์กำลัง 4 ตัวมาต่อกันเป็นวงจรแบบฟูลบริดจ์ โดยรับสัญญาณขับเบสหรือกระแส I_b มาจากวงจรขับเบสของทรานซิสเตอร์กำลังแต่ละตัว เอาท์พุทที่ได้ออกมาจะอยู่ในรูปของคลื่นซายน์เวฟ PWM แบบ 3 ระดับ ซึ่งมีสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรูปคลื่นซายน์ แต่จะมีค่าแรงดันต่ำอยู่ เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟตรงที่ป้อนให้กับวงจรกำลัง มีค่าประมาณ 100 โวลต์ จึงต้องมีการต่อหม้อแปลงแรงดัน ให้ได้ค่าประมาณ 220 โวลต์ หลังจากนั้นจึงนำเอา สัญญาณซายน์เวฟ PWM แบบ 3 ระดับ ที่ได้มาผ่านวงจรกรองความถี่ เพื่อกรองสัญญาณให้เอาท์พุทที่ออกมามีลักษณะเป็นคลื่นซายน์ ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง เช่นเดียวกับไฟไลน์

จากหลักการข้างต้นสรุปได้ว่า วงจรซายน์เวฟอินเวอร์สเตอร์จะแปลงสัญญาณไฟตรงให้กลายเป็นสัญญาณไฟสลับ (dc to ac) โดยใช้ทรานซิสเตอร์กำลัง 4 ตัวเป็นอุปกรณ์สวิชชิ่ง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 แสดงวงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์

สำหรับวงจรกำลังของวงจรชายน์เวฟอินเวอร์เตอร์ ที่แสดงในรูปที่ 17 จะแบ่งออกได้เป็นส่วนๆ ดังนี้ คือ

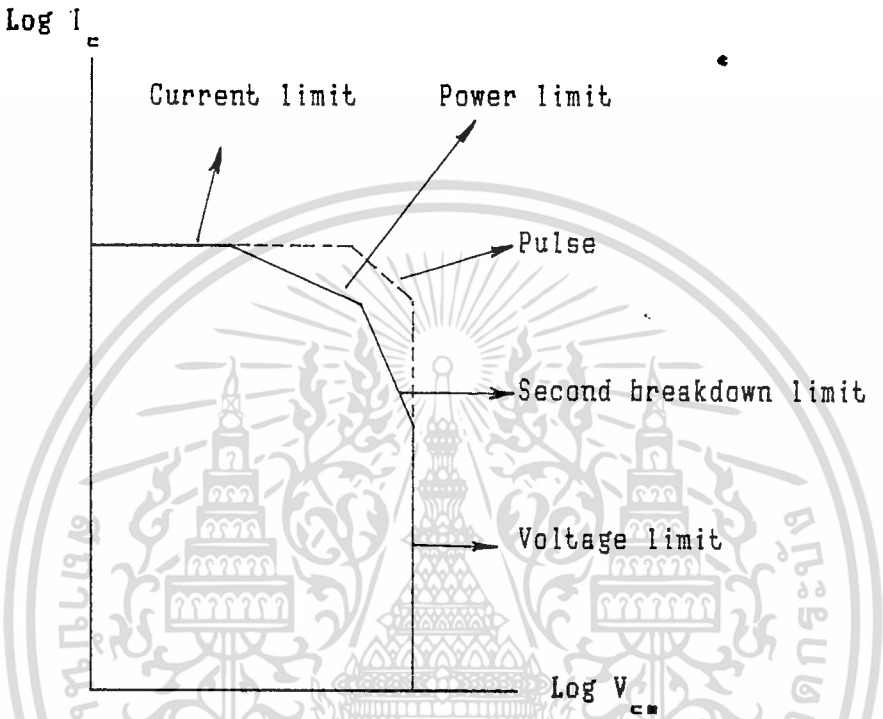
1) ส่วนวงจรฟูลบริดจ์และฟรีวิลลิ่งไดโอด
2) ส่วนวงจรสนับเบอร์
3) ส่วนหม้อแปลง
4) ส่วนวงจรกรองความถี่

ส่วนวงจรสนับเบอร์

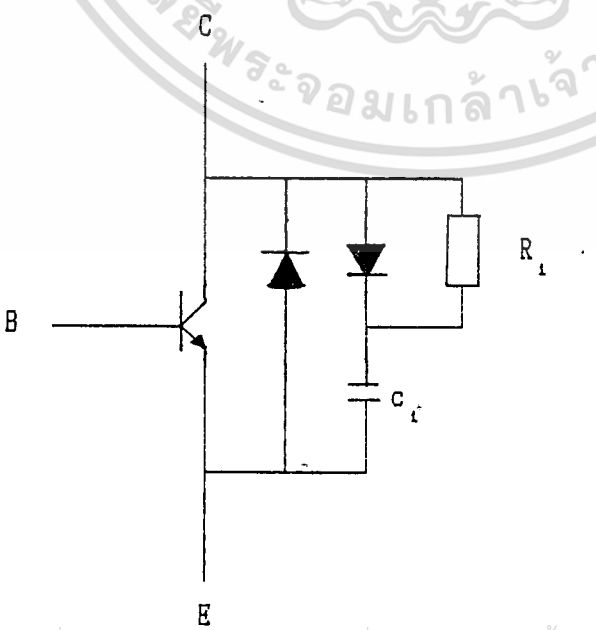
เป็นวงจรที่ช่วยในการสวิชชิ่งในความถี่สูงๆ ในช่วงแรงดันสูงจะเกิด spike voltage หรือ spike current ทำให้อัตราการเพิ่มของกระแสต่อเวลา (di/dt) เพิ่มสูงอย่างมาก อาจทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังเสียหายได้ จึงนำวงจรสนับเบอร์มาต่อเพื่อลดค่า di/dt และ dv/dt ให้มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยลง ทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังไม่เกิดความเสียหาย ซึ่งสามารถแสดงกราฟพื้นที่ปลอดภัยของทรานซิสเตอร์ (Safe Operating Area ; SOA) ได้ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 แสดงรูปกราฟพื้นที่ปลอดภัยของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 19 แสดงรูปวงจรสนับเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 19 วงจรสนับเบอร์ที่ต่อใช้งานประกอบด้วย 2 ส่วน

1) สนับเบอร์แบบขนาน สำหรับป้องกัน peak voltage ไม่ให้เกินขีดจำกัด dv/dt

2) สนับเบอร์แบนุกรม สำหรับป้องกัน peak currentไม่ให้เกินขีดจำกัด di/dt ของทรานซิสเตอร์กำลังตัวนั้นๆ

ส่วนหม้อแปลง

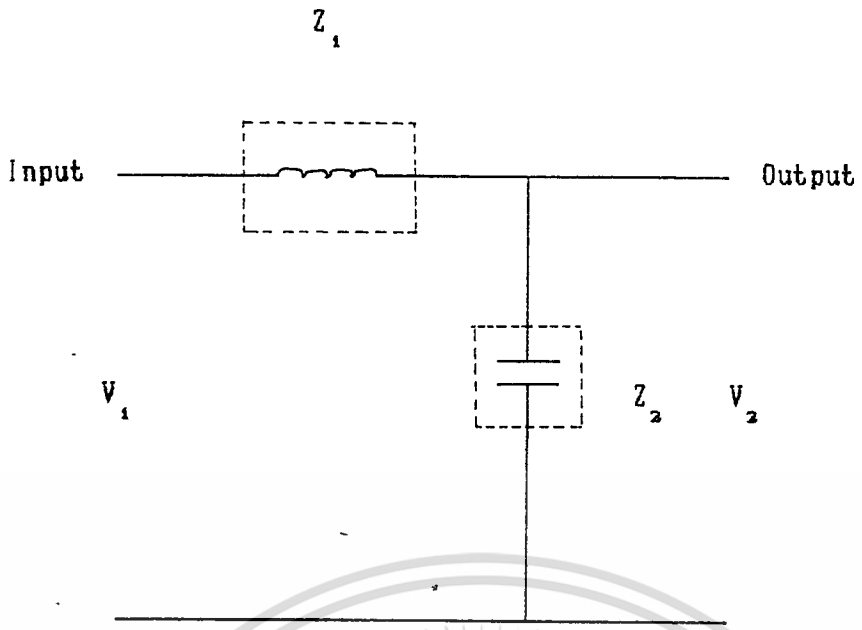
เนื่องจากขนาดแรงดันของเอาท์พุทที่ออกมาจากอินเวอร์เตอร์มีค่าต่ำ ซึ่งเป็นข้อเสียประการหนึ่งของเทคนิค SPWM ที่ให้ค่ายูติลิตี้แฟคเตอร์ต่ำ ทำให้จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงในการแปลงแรงดันที่ได้จากอินเวอร์เตอร์นั้น ให้ได้ตามพิกัดโวลท์เตจตามต้องการคือ 220 โวลท์เอาท์พุท

ส่วนวงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่ฮาร์โมนิคที่เอาท์พุทของวงจรซายน์เวฟอินเวอร์เตอร์ จะใช้วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) ซึ่งประกอบด้วย L และ C ตามรูปที่ 20 ทั้งนี้เทคนิค SPWM สามารถกำจัดฮาร์โมนิคต่ำๆให้หมดไป คงเหลือแต่ฮาร์โมนิคที่เด่นๆตั้งแต่อันดับที่ 80 ขึ้นไป ซึ่งมีค่าประมาณ 2N-1(N = อัตราส่วนการม็อด)โดยวงจรกรองความถี่ถูกจูนที่ความถี่cut off ที่ฮาร์โมนิคอันดับต่ำสุดนี้ทำให้ค่า L และ C ของวงจรกรองความถี่มีขนาดเล็กได้

โดยค่า L และ C ของวงจร Low Pass Filter มีผลต่อระบบซายน์เวฟอินเวอร์เตอร์ โดยค่า L ที่มาก C น้อยจะทำให้ Voltage regulation ของซายน์เวฟอินเวอร์เตอร์ไม่ดี แต่เป็นการลดโหลดของอินเวอร์เตอร์ ขณะที่ใช้ค่า C มากๆ ทำให้ Voltage regulation ดีแต่เป็นการเพิ่มโหลดของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



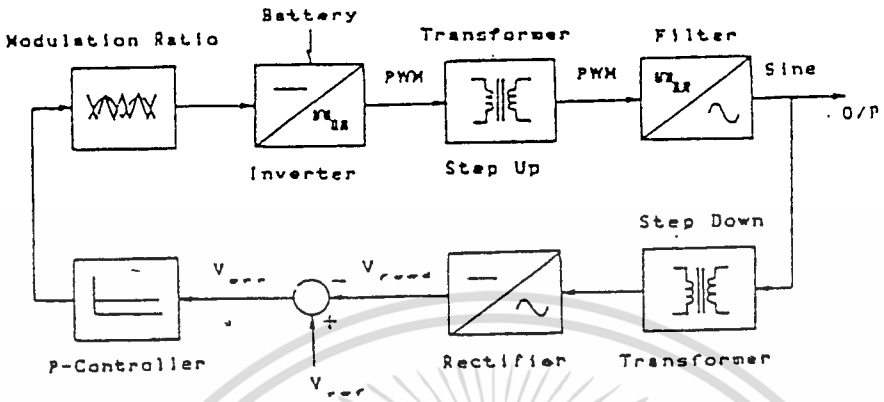
รูปที่ 20 แสดงวงจร Low pass Filter

วงจรควบคุม (CLOSE LOOP CONTROL)

วงจรควบคุม มีหน้าที่รักษาแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ให้คงที่ เมื่อระบบ UPS ถูกรบกวน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโหลด ซึ่งลำพังอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นไม่สามารถรักษาแรงดันไฟฟ้าขาออก (OUTPUT VOLTAGE) ให้คงที่ไว้ได้ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านโหลด อย่างไรก็ดี เราสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้โดยการเพิ่มวงจรควบคุมแบบลูปปิด (Close Loop Control Circuit) เพื่อให้ระบบ UPS สามารถรักษาแรงดันขาออกให้คงที่โดยอัตโนมัติ โดยระบบจะพยายามปรับแรงดันขาออกให้คงที่ เมื่อเกิดมีการเปลี่ยนแปลงทางด้าน Load

การควบคุมแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ชนิด พีดับบลิวเอ็ม มีวิธีทำได้สองวิธีคือ การควบคุมแรงดันขาเข้าของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นการควบคุมระดับแรงดันไฟตรงจากภาคเรคติฟาย ที่ป้อนให้แก่อินเวอร์เตอร์ โดยใช้วงจรชอปเปอร์ (Chopper) ปรับแรงดันไฟตรงขาเข้าของอินเวอร์เตอร์ ส่งผลให้แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์เพิ่มขึ้นหรือลดลง หรือ อีกวิธีคือ การควบคุมภายในอินเวอร์เตอร์ เป็นการควบคุมอัตราส่วนการมอดูเลท (Modulation Ratio) ของคลื่นซายน์กับคลื่นรูปสามเหลี่ยม โดยมีลักษณะการควบคุมดังในรูป 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



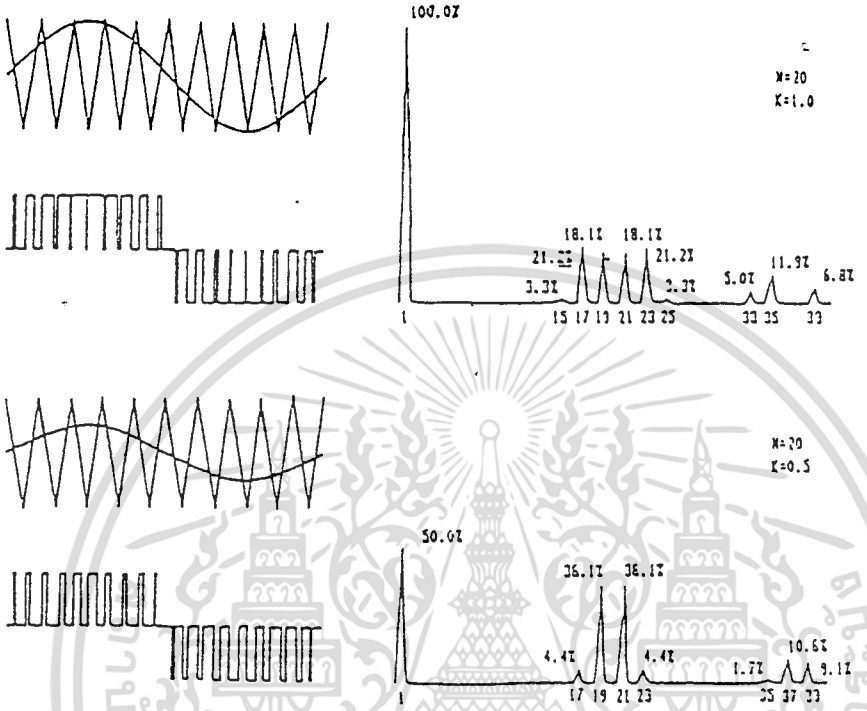
รูปที่ 21 แสดงการควบคุมโดยการควบคุมภายในของอินเวอร์เตอร์

ในโครงงานนี้ ใช้วิธีที่ 2 เนื่องจากวิธีแรกต้องสร้างวงจรชอปเปอร์เพื่อใช้ควบคุมแรงดันไฟตรง ส่วนวิธีที่สองสะดวกและประหยัดกว่าเพราะเราสามารถใช้ไอซีเพียงตัวเดียวในการปรับอัตราส่วนการมอดูเลท โดยการปรับแอมปลิจูดของคลื่นซายน์

<u>การควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกโดยการควบคุมวงจรภายในของอินเวอร์เตอร์</u>

การควบคุมวิธีนี้ใช้การควบคุมอัตราส่วนของการมอดูเลทของคลื่นซายน์กับคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งการปรับอัตราส่วนนี้ จะทำให้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน (Fundamental) ของแรงดันไฟฟ้าขาออกเปลี่ยนแปลงไป แสดงหลักการควบคุมวิธีนี้ได้ ดังรูป 22

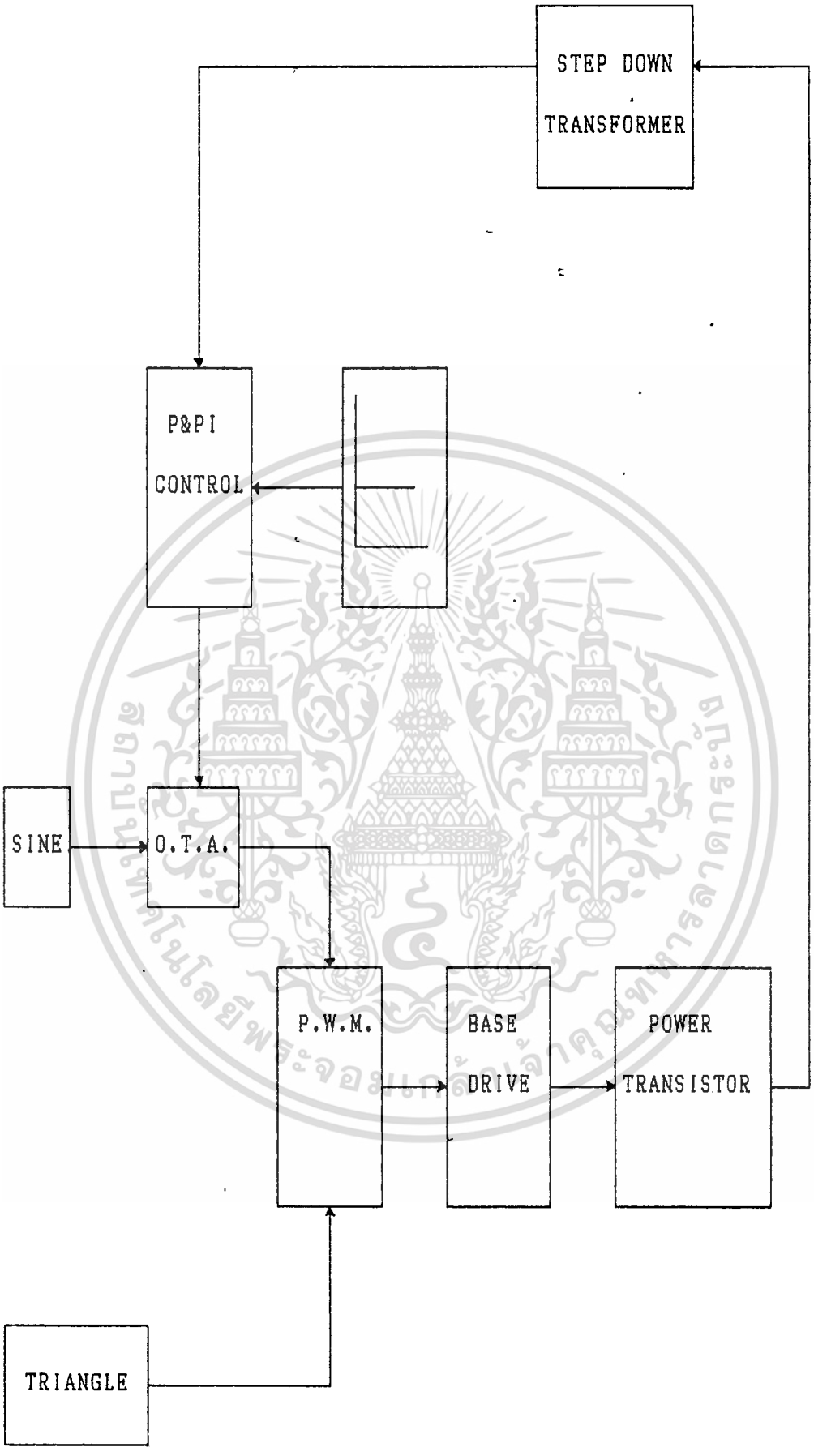
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนฮาร์โมนิค

แต่การควบคุมวิธีนี้มีข้อจำกัดคือ ค่าอัตราส่วนของการมอดูเลทจะต้องมีค่าไม่เกิน 1.0 เพราะจะทำให้เกิดฮาร์โมนิคอันดับต่ำขึ้น แต่ต้องไม่ต่ำเกินไป เพราะการลดค่าอัตราส่วนลง จะทำให้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่เป็นองค์ประกอบพื้นฐานมีค่าลดลง ในขณะที่ฮาร์โมนิคมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียกำลังที่วงจรกรองความถี่มากขึ้น ดังนั้นจึงนิยมที่จะควบคุมค่าอัตราส่วนให้อยู่ในช่วง 0.5-0.9 ซึ่งข้อจำกัดนี้จะเป็นตัวจำกัดขนาดของอินเวอร์เตอร์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 23 แสดงการควบคุมแบบ PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเรียงกระแส (RECTIFIER)

วงจรเรียงกระแส มีหน้าที่หลักคือ แปลงไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรงแล้วจ่ายให้กับ ส่วนอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะเปลี่ยนไฟกระแสดังกล่าวกลับไปเป็นไฟกระแสสลับดังเดิมแล้วจ่ายให้แก่โหลด ซึ่งทำงานโดยใช้ไทริสเตอร์และไดโอดตลอดจนมีวงจรกรอง(filter)ซึ่งสามารถควบคุมแรงดันทางด้านเอาท์พุทได้โดยการควบคุมมุมทริกหรือความกว้างของสัญญาณขับไทริสเตอร์ และยังสามารถควบคุมแรงดันทางด้านเอาท์พุทให้มีค่าคงที่ได้โดยการเพิ่มวงจรป้อนกลับ เพื่อควบคุมแรงดันเอาท์พุทให้คงที่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านอินพุท(ไฟไลน์)

การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟเป็นไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่โหลด แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จะไม่ราบเรียบเหมือนกับที่ได้จากแบตเตอรีแต่จะประกอบด้วย ripple

ประเภทของวงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแส แบ่งออกเป็นระบบ 1 เฟส และระบบ 3 เฟส ตามแหล่งจ่ายไฟที่ใช้ ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะชนิดระบบ 1 เฟส และสามารถแบ่งวงจรออกตามลักษณะการทำงานได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้

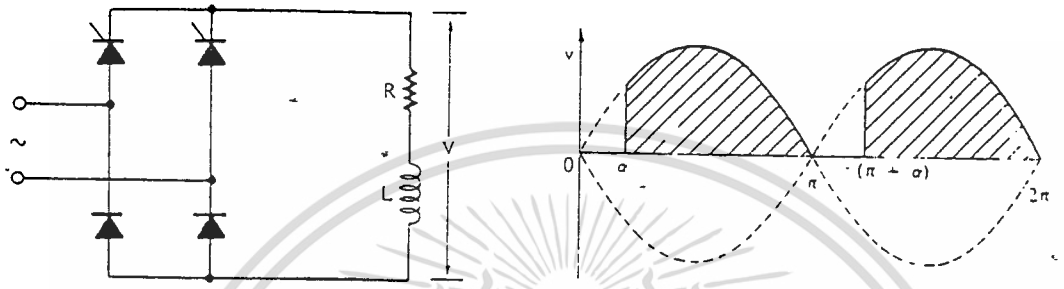
1) HALF-WAVE RECTIFIER

2) BIPOLAR RECTIFIER

3) FULL-WAVE RECTIFIER

ในแต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็นแบบที่ควบคุมได้และแบบที่ควบคุมไม่ได้ แบบที่ควบคุมได้คือแบบที่ใช้ไทริสเตอร์เป็นอุปกรณ์สวิทช์ซึ่งสามารถควบคุมแรงดันเอาท์พุทโดยการควบคุมมุมทริกไทริสเตอร์ ส่วนแบบที่ควบคุมไม่ได้ คือ แบบที่ใช้ไดโอดเป็นอุปกรณ์สวิทช์ ซึ่งจะได้แรงดันขาออกมีค่าไม่คงที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับส่วนอินพุทที่เข้ามา ในโครงงานนี้เราเลือกใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น เนื่องจากเป็นชนิดที่มีค่าแรงดันกระเพื่อม(ripple) ต่ำกว่าแบบอื่นๆ ซึ่งเป็นแบบ HALF CONTROLLED วงจรแบบนี้จะเป็นการผสมกันระหว่างวงจรควบคุมได้กับแบบที่ควบคุมไม่ได้โดยใช้ไดโอด 2 ตัวและไทริสเตอร์ 2 ตัว มาต่อกันดังรูปที่ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 24 แสดงวงจรและรูปคลื่นที่ใช้ในโครงงานนี้

จากรูป เราจะพบว่าไดโอดทั้งสองตัวจะทำหน้าที่เป็นคอมมิวเตทติงไดโอดในช่วงขณะที่แรงดันมีค่าเท่ากับ 0 แต่กระแสยังไม่เท่ากับ 0 หรือเราอาจจะใช้ไดโอดอีก 1 ตัวมาต่อคร่อมโหลดก็ได้ ด้วยเหตุนี้เองทำให้รูปคลื่นส่วนที่เป็นลบมีค่าเป็น 0 ดังนั้นวงจรแบบนี้จะเหมาะกับงานที่ต้องการแรงดันที่เป็นบวก และสามารถปรับค่าได้ง่ายโดยสามารถหาแรงดันเฉลี่ยได้จากสมการ

$$V_{mean} = 1/\pi[\int \sin\theta \, d\theta]$$

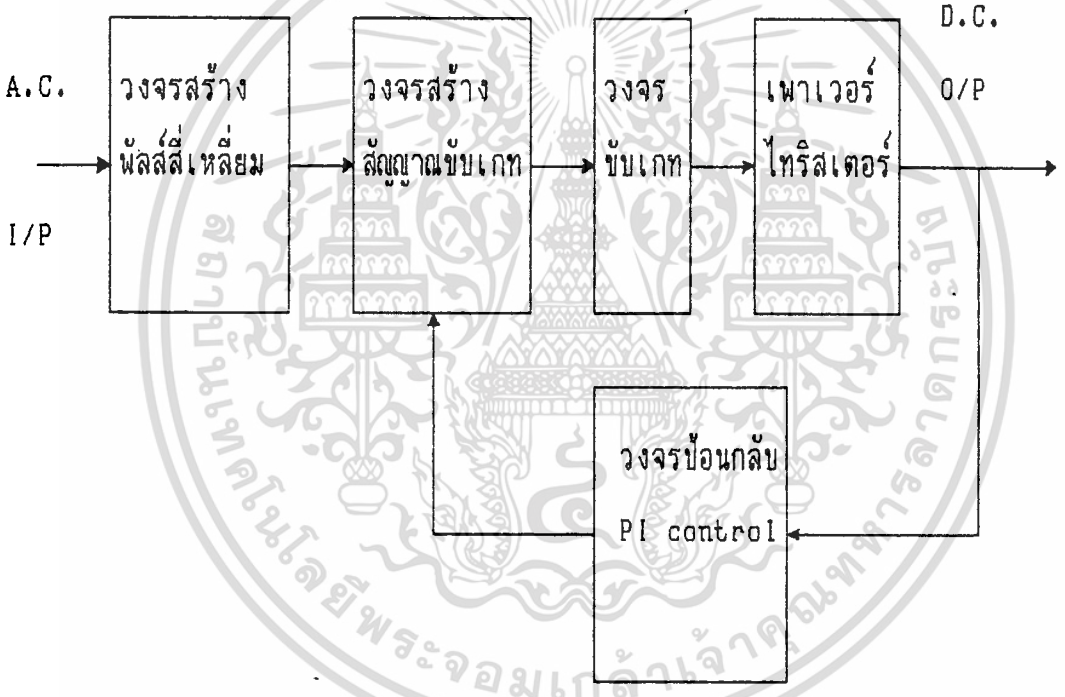
$$= V_m/\pi(1+\cos\alpha)$$

<u>การออกแบบวงจรควบคุม</u>

ในการออกแบบวงจรในโครงงานนี้ ต้องการแรงดันขาออกเป็นไฟกระแสตรงที่สามารถปรับค่าได้ เพื่อทำงานร่วมกับวงจรป้อนกลับ(CLOSE LOOP CONTROL) เพื่อที่ระดับแรงดันเอาท์พุทของภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรคติฟายจะได้มีค่าคงที่ เป็นการทำหน้าที่ร่วมกันกับภาคป้อนกลับของอินเวอร์เตอร์ในการรักษาระดับแรงดันเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ให้คงที่ และจากเหตุผลที่ไม่มีความจำเป็นต้องใช้แรงดันซีกลบจากภาคเรคติฟายเราจึงเลือกใช้วงจรเรคติฟายแบบเต็มคลื่นชนิดควบคุมครึ่งหนึ่ง(Full bridge-half control) ซึ่งต้องการสัญญาณควบคุมไทริสเตอร์เพียง 2 ตัวเท่านั้น ซึ่งเราสามารถเขียนแผนผังแสดงการทำงานของวงจรเรคติฟายได้ดังนี้



รูปที่ 25 แสดงแผนผังการทำงานของภาคเรคติฟาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขับเกท

เป็นวงจรที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยอาศัยหลักการทริกสัญญาณอุปกรณ์ในช่วง Forward Bias แรงดันไฟไลน์ ซึ่งการทำงานเป็นแบบ Half Controlled Rectifier

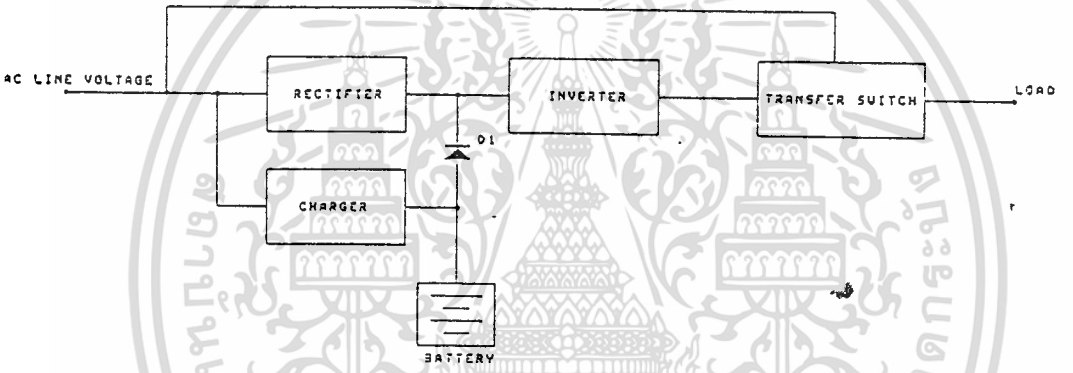
วงจรกรอง (Filter)

ในวงจรกรองนี้ จะไม่เหมือนกับวงจรกรองความถี่ที่ใช้กับอินเวอร์เตอร์ เพราะการออกแบบที่ใช้กับวงจรอินเวอร์เตอร์นั้น จะออกแบบ ที่จะยอมให้ความถี่เฉพาะค่านั้นผ่าน แต่ในส่วนที่ใช้กับ Rectifier จะกรองให้ได้กระแสตรง โดยใช้ L และ C เพื่อให้ได้ผลออกมามี Ripple น้อยที่สุด และ เป็นที่ยอมรับได้ ในโครงงานนี้ ต้องการแรงดันขาออก 150 โวลต์ Ripple ที่ยอมรับได้ 10-15 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานส์เฟอร์สวิทช์

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น ถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง นอกจากอินเวอร์เตอร์แล้ว ทรานเฟอร์สวิทช์นับได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญรองลงมา เพราะทรานเฟอร์สวิทช์จะเป็นส่วนที่ทำให้อินเวอร์เตอร์ ทำงานเป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองอัตโนมัติ

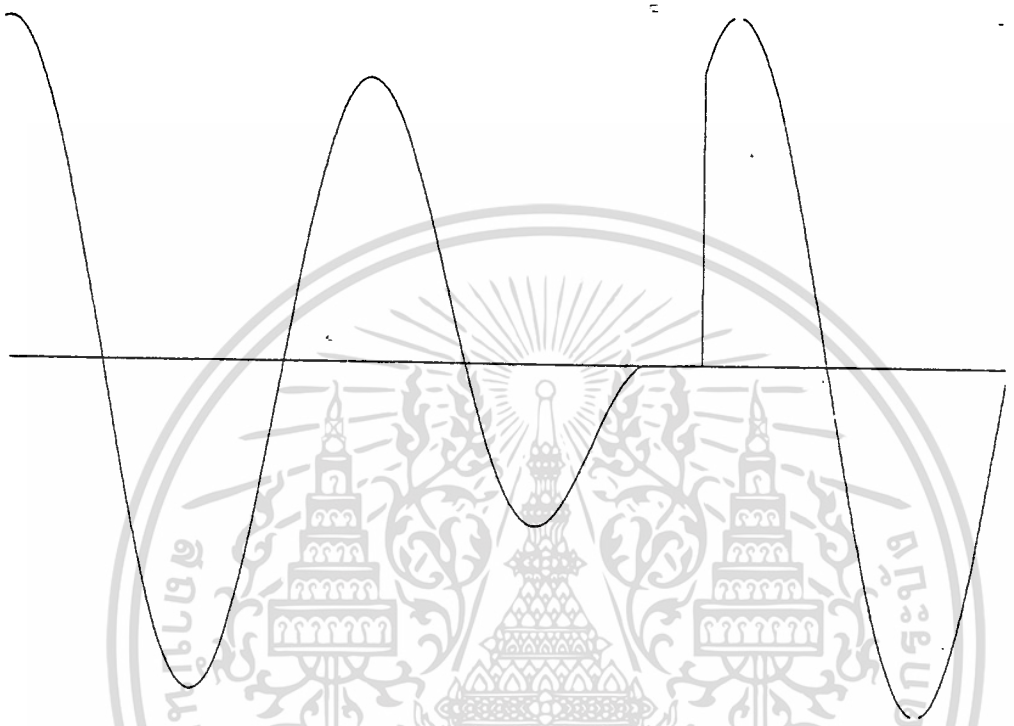


รูปที่ 26 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ แหล่งจ่ายไฟสำรอง

จากรูปที่ 26 ทรานเฟอร์สวิทช์จะทำหน้าเลือกแหล่งจ่ายพลังงาน (ไฟสลับ) ที่จะจ่ายให้กับโหลด โดยดูว่าควรเลือกจากไลน์หรืออินเวอร์เตอร์ในอุปกรณ์ประเภทแหล่งจ่ายไฟสำรอง (UNINTERRUPTABLE POWER SUPPLY:UPS) ทรานเฟอร์สวิทช์จะเลือกไฟสลับจากไลน์จ่ายให้กับโหลด ในสภาวะที่ไลน์ปกติ และเมื่อเกิดไฟดับหรือไลน์มีความผิดปกติบางอย่าง เช่น แรงดันตกเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ ทรานเฟอร์สวิทช์ก็จะทำการสับเปลี่ยน แหล่งจ่ายพลังงานโดยจะใช้ไฟสลับจากอินเวอร์เตอร์จ่ายให้กับโหลดแทน พลังงานที่อินเวอร์เตอร์ใช้ในการสร้างไฟสลับนั้นมาจากพลังงานที่ถูกสะสมในแบตเตอรี่ ในขณะที่ไลน์ยังปกติอยู่ โดยชุดชาร์จเจอร์ (Charger) จากหลักการทำงานที่กล่าวมาจะพบว่าส่วนที่เป็นเรคติฟาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ได้ถูกใช้ในการทำงานเลย เนื่องจากการทำงานของ UPS นั้นอินเวอร์เตอร์จะทำงานเฉพาะสภาวะที่ไลน์มีความผิดปกติเท่านั้น จึงไม่จำเป็นต้องมีแปลงจ่ายพลังงานที่เป็นไฟตรงให้ แต่การทำงานแบบนี้ยังมีข้อเสียบางประการ ในเรื่องความสมบูรณ์ของไฟสลับที่โหลดได้รับ



รูปที่ 27 แสดงรูปสัญญาณที่โหลดได้รับขณะที่ไฟไลน์มีความผิดปกติ

เมื่ออินเวอร์เตอร์เริ่มทำงาน จะพยายามปรับแรงดันไฟสลับที่จ่ายให้ได้ 220 โวลท์ ซึ่งต้องใช้เวลาค่าหนึ่งในการปรับตัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจรควบคุมแบบวงปิด (close-loop control) จากรูปที่ 27 เราจะพบว่าแรงดันในช่วงแรกที่มีการสับเปลี่ยนแรงดันที่โหลดได้รับจะมีค่าต่ำกว่า 220 โวลท์ ซึ่งอาจจะทำความเสียหายให้กับโหลดได้ อีกทั้งในการสับเปลี่ยนจะต้องคำนึงถึงเฟสของไฟสลับด้วยไม่เช่นนั้น โหลดอาจจะได้รับอันตรายจากค่าของ dv/dt ซึ่งมีค่าสูง หากสับเปลี่ยนที่มุมเข้าใกล้ มุม 90 หรือ 270 องศาไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องสับเปลี่ยนที่มุมศูนย์ทำให้สัญญาณที่โหลดได้รับ มีการขาดหายไปบางช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อเสียที่กล่าวมาข้างต้น จึงเป็นการดีกว่าในการการสับเปลี่ยนพลังงานที่จะจ่ายให้กับโหลดในตอนที่เป็นไฟตรง แทนการสับเปลี่ยนตอนเป็นไฟสลับ ซึ่งจะทำให้ลดปัญหาต่าง ๆ ลงไปได้ ในโครงงานนี้จะให้อินเวอร์เตอร์ทำงานตลอดเวลา ไม่ว่าสภาพของไลน์จะเป็นเช่นไรโดยในขณะที่ไลน์ปกติ อินเวอร์เตอร์จะใช้ไฟตรงจากชุดเรคติฟาย แปลงเป็นไฟสลับจ่ายให้กับโหลด และชุดชาร์จเจอร์ก็จะทำการสะสมพลังงานให้แบตเตอรี่ไปพร้อม ๆ กัน และเมื่อไลน์เกิดขาดหายไปก็จะทำการจ่ายไฟตรงจากแบตเตอรี่ ให้อินเวอร์เตอร์แทนโดยใช้ไดโอดเป็นตัวสับเปลี่ยน จากหลักการนี้จะทำให้ไฟสลับที่จ่ายให้กับโหลดไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือขาดหายไป

ข้อดีอีกประการของการสับเปลี่ยนพลังงาน ในตอนไฟตรงก็คือ สัญญาณไฟสลับที่โหลดได้รับจะมีสัญญาณรบกวนต่าง ๆ น้อยมาก เนื่องจากเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์จะมีการกำจัดสัญญาณระบกวนต่าง ๆ ออกแล้ว ในทางตรงข้ามไฟสลับจากไลน์ซึ่งมีผู้ใช้มากมายและในอุปกรณ์หลายประเภท เช่น มอเตอร์ ฯลฯ จะปล่อยสัญญาณรบกวนเข้ามาในไลน์ อันอาจจะทำอันตรายกับโหลดได้

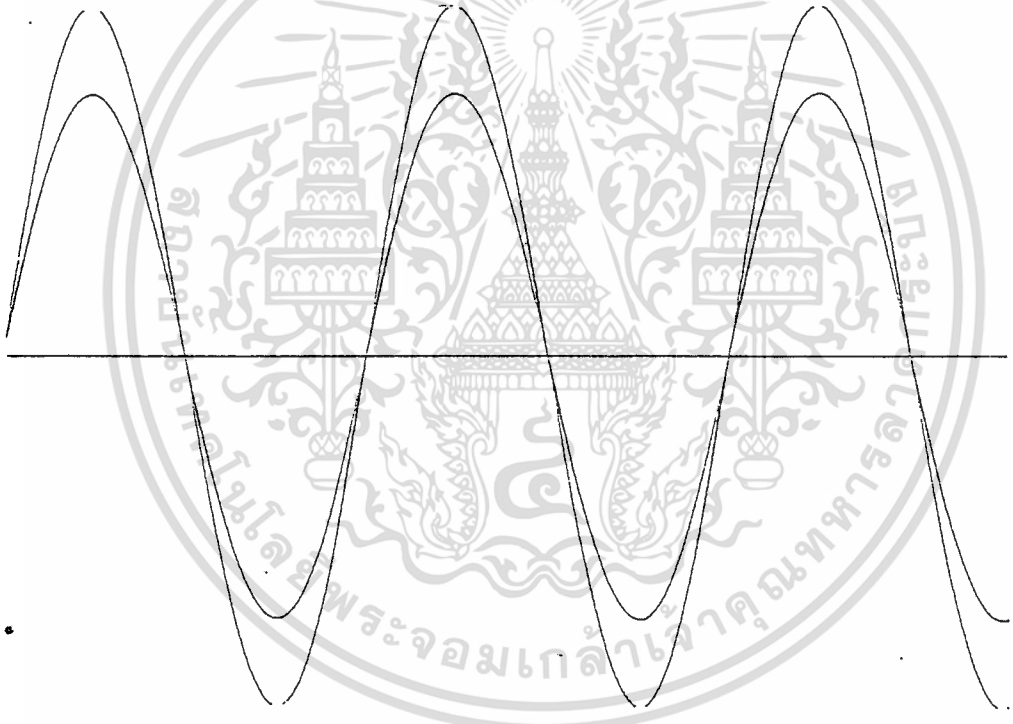
ทรานเฟอร์สวิทช์ที่ใช้ในโครงงานนี้จึงได้ลดบทบาทต่าง ๆ ลง จากแหล่งจ่ายไฟสำรองทั่วไป หน้าที่ของการสับเปลี่ยนพลังงานก็จะมีไดโอดในตอนของไฟตรงมาทำหน้าที่แทน ดังนั้นหน้าที่หลักของทรานเฟอร์สวิทช์ในโครงงานนี้ จึงเป็นการป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดกับอินเวอร์เตอร์หรือโหลด

เพื่อเป็นการง่ายแก่การเข้าใจ ก่อนที่จะกล่าวถึงหลักการทำงานทรานเฟอร์สวิทช์ที่ใช้ในโครงงาน จึงขออธิบายความหมายของคำบางคำ และการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในบางจุดอีกครั้งหนึ่ง โดยปกติแล้วอินเวอร์เตอร์จะสร้างไฟสลับที่มีเฟสตรงกับไลน์จ่ายให้กับโหลดโดยการทำงานดังกล่าวจะใช้ IC PPL (phase lock-loop) เป็นตัวจัดการ และเมื่อไลน์หายไป IC PPL ก็จะกำเนิดสัญญาณขึ้นาเองด้วยความถี่ 50 เฮิร์ต และเมื่อไลน์กลับมาเป็นปกติ IC PPL ก็จะปรับเอาท์พุท ให้มีความถี่และเฟสตรงกับไลน์อีกครั้ง ทั้งนี้ในการทำงานดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เวลาค่าหนึ่งเพื่อรอให้เฟสตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสับเปลี่ยนที่แรงดันศูนย์

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ จะมีค่าเกือบคงที่ ที่ 220 โวล์ท หากไม่มีการสับเปลี่ยนที่แรงดันศูนย์แล้ว อาจทำให้อินเวอร์เตอร์ ได้รับความเสียหายได้



รูปที่ 28 แสดงแรงดันของอินเวอร์เตอร์และไลน์
ในกรณีที่มีเฟสตรงกันแต่แรงดันไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 28 ถ้าแรงดันของไลน์ต่ำกว่าแรงดันของอินเวอร์เตอร์ ในช่วงที่มีการสับเปลี่ยน แม้ว่าจะหยุดการป้อนสัญญาณให้กับ SCR ซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์สับเปลี่ยนแล้ว ตัว SCR ก็จะยังนำกระแสอยู่ จนกว่าแรงดันคร่อมตัวเองจะตกเป็นศูนย์ และถ้าสั่งงานให้ทรานเฟอร์สวิทช์สับเปลี่ยนไปที่ไลน์ทันทีหรือป้อนสัญญาณให้กับเกทของ SCR จะเหมือนกับว่าแรงดันของอินเวอร์เตอร์สูงกว่าของไลน์ นั่นคืออินเวอร์เตอร์จะจ่ายกระแสให้กับไลน์ดังนั้นการสับเปลี่ยนจึงควรทำเมื่อ SCR หยุดนำกระแสแล้ว หรือที่แรงดันศูนย์นั่นเอง

ลำดับการทำงานของทรานเฟอร์สวิทช์

จากที่กล่าวมาแล้วในตอนแรก ถึงหน้าที่หลักของทรานเฟอร์สวิทช์ที่ใช้ในโครงงานนี้ จะพบว่าทรานเฟอร์สวิทช์มีหน้าที่เลือกแหล่งจ่ายไฟสลับที่ดีที่สุดให้กับโหลด ทั้งนี้อาจจะเป็นจากไลน์หรืออินเวอร์เตอร์ก็ได้ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับโหลดทั้งยังป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับอินเวอร์เตอร์ด้วย เราสามารถลำดับเงื่อนไขต่าง ๆ ในการสับเปลี่ยนของทรานเฟอร์สวิทช์ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้