แหล่งจ่ายไฟต่อเนื่อง

UNINTERUPTED POWER SUPPLY

จัดทำโดย

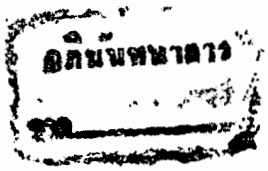
คงพันธุ์ มีระเกตุ
KONGPAN MERAKATE

วัชรินทร์ ตะพานวงค์
WATCHARIN TAPANWONG

อาจารย์ที่ปรึกษา
ADVISOR

ผ.ศ. ประภาษ ไพรสุวรรณา
ASSOC.PROF. PRAPART PRISUWANNA M.ENG. (KMIT)

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2531



30002 0.4
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
023109
-8 ส.ค. 2532

แหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง

คงพันธุ์ มีระเกศ
วัชรินทร์ ตะพานวงค์

ร.ศ.ประภาษ ไพรสุวรรณา

บทคัดย่อ

เทคนิคใหม่ที่จะใช้แก้ไขปัญหาผิดปกติที่เกิดจากระบบจ่ายไฟฟ้าจะใช้อุปกรณ์ที่ชื่อว่า U.P.S. ซึ่งย่อมาจาก UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY หรือ แหล่งจ่ายไฟแบบต่อเนื่อง ซึ่งลักษณะการใช้งานเป็นตัวปรับสภาพของไฟฟ้าที่รับมาจากระบบจำหน่าย และจะแก้ไขปัญหาส่วนใหญ่ให้หมดไป โดยจะแบ่งเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ เรคติฟายเออร์ แบตเตอร์รี่ และอินเวอร์ตเตอร์

ในปริญานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงการพัฒนาอินเวอร์ตเตอร์ เรคติฟายเออร์ หน้าที่หลัก ส่วนประกอบ และการออกแบบส่วนสำคัญ โดยการใช้ P.W.M. (PULSE WIDTH MOD.) กับอินเวอร์ตเตอร์ และการควบคุมการจุดชนวนแบบป้อนกลับกับเรคติฟายเออร์ซึ่งการใช้ P.W.M.นั้น จะให้ฮาร์โมนิคส์อันดับสูงออกมา ซึ่งง่ายต่อการกำจัด และการควบคุมการจุดชนวนแบบป้อนกลับ ซึ่งสามารถใช้ได้อย่างกว้างขวางสำหรับวงจรเรคติฟายเออร์

ในบทความนี้จะเป็นการรายงานถึงการออกแบบของ อินเวอร์ตเตอร์ และ เรคติฟายเออร์ โดยใช้อุปกรณ์พวกเพาว์เวอร์อิเล็คทรอนิคเป็นอุปกรณ์หลักในการสวิท และการควบคุมอุปกรณ์ทางเพาว์เวอร์อิเล็คอรอนิคด้วยลิเนียร์ไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY

KONGPAN MERAKATE

WATCHARIN TAPANWONG

ASSOCIATED PROFESSOR

PRAPARTH PRISUWANA

ABSTRACT

A modern technology to rectify a abnormal representation of Power Distribution is discribed by U.P.S,stand for uninterruptible power supply,that utilized as a Power line conditioner eventually solved the problem of the system , and practically have three portions that are rectifier, inverter and battery

This paper presents the functional principle, the system component and destination of inverter and rectifier used power transister and silicon controlled rectifier, SCR, respectively, as a switching device. However, the linear IC suitablely controlled power electronic divices. The functional principles are included that provide a P.W.M,pulse width modulation, for inverter and a close-loop firing delay control for rectifier. the P.W.M technique prefer to the high order of harmonics, simply exterminated, and the close-loop firing delay control flexibly utilizes for a rectifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		(1)
		(2)
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	UPS	2
	2.1 ชนิดของ UPS	2
	2.2 ส่วนประกอบของ UPS	5
บทที่ 3	อินเวอร์เตอร์	15
	3.1 วงจรควบคุม	18
	3.2 วงจรขับเบส	22
	3.3 วงจรกำลัง	24
	3.4 วงจรกรองความถี่	27
บทที่ 4	เรคติฟายเออร์	32
	ลักษณะของเรคติฟายเออร์	32
	การออกแบบ	40
	วงจรขับเกท	44
	วงจรกรอง	44
	การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ	45
บทที่ 5	ผลการทดลอง	48
บทที่ 6	สรุป	60
	กิตติกรรมประกาศ	62
	หนังสืออ้างอิง	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะอธิบายถึงหลักการทำงานและส่วนประกอบของ UPS ที่สร้างขึ้น โดยจะแบ่งออกเป็นบทต่างๆเพื่อให้สามารถทำความเข้าใจปริญญานิพนธ์นี้ได้ง่ายขึ้น ในบทนี้จะได้อธิบายถึงเนื้อหาในแต่ละบทของปริญญานิพนธ์นี้อย่างคร่าวๆก่อน ดังนี้

บทที่ 2 จะกล่าวถึงชนิดของ UPS และส่วนประกอบของ UPS

บทที่ 3 จะอธิบายถึงอินเวอร์ตเตอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้ซึ่งใช้แบบ PWM

บทที่ 4 จะอธิบายถึงเรคติฟายเออร์ที่ใช้ในโครงงานนี้

บทที่ 5 จะแสดงผลการทดลองที่ได้ออกมาจากโครงงานนี้

บทที่ 6 เป็นบทสรุปเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงโครงงานนี้ให้ดีขึ้น

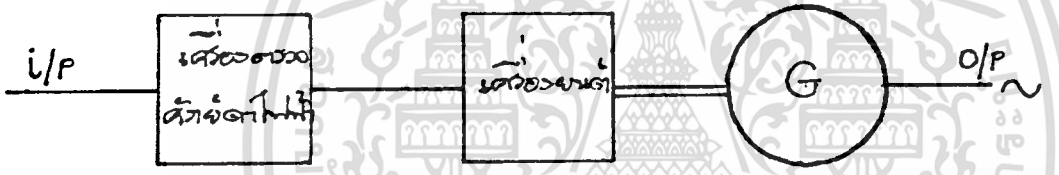
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

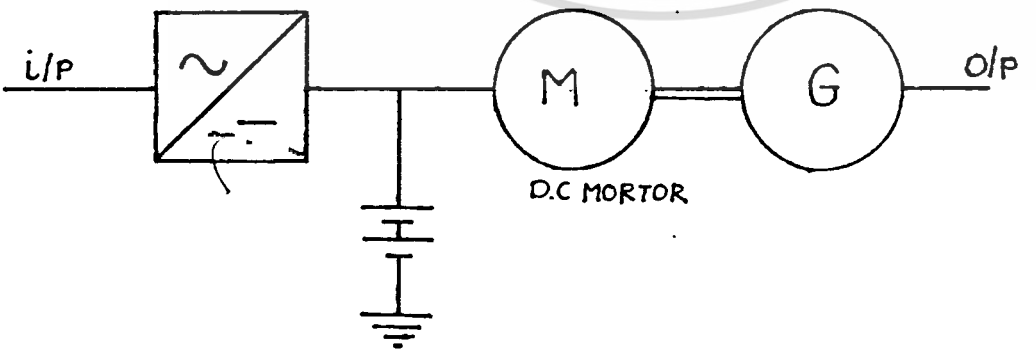
บทที่ 2

2.1 <u>ชนิดของ UPS</u> มีหน้าที่เหมือนแหล่งจ่ายไฟสำรอง คือ จะเริ่มจ่ายไฟเมื่อเกิดไฟ
บ แบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ

2.1.1 แหล่งกำเนิดกำลังหมุน (DYNAMIC UPS) ซึ่งเป็นระบบที่เริ่มแรกในการ
ร้างขึ้น โดยจะใช้ต้นกำลังต่อร่วมกับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งต้นกำลังก็มักจะเป็น เครื่องยนต์
รือ มอเตอร์ ขึ้นอยู่กับการ DESIGN ซึ่งระบบนี้จะทำงานเมื่อเกิดไฟดับ หรือ ใช้จ่ายโหลดใน
รณีที่ระบบไฟฟ้าเกิดการผิดปกติมาก เช่น การเกิดไฟตกกว่าโหลดจะยอมรับได้ ซึ่งจะสามารถ
สดงได้ดังรูป 2.1 โดย UPS แบบนี้จะจ่ายให้กับโหลดที่มีความสำคัญมากเท่านั้น เช่น ระบบจ่าย
ฟให้กับห้องผ่าตัด หรือ ลิฟท์ ซึ่งอาจเรียกว่า พวกโหลดวิกฤต (CRITICAL LOAD)



ก)



ข)

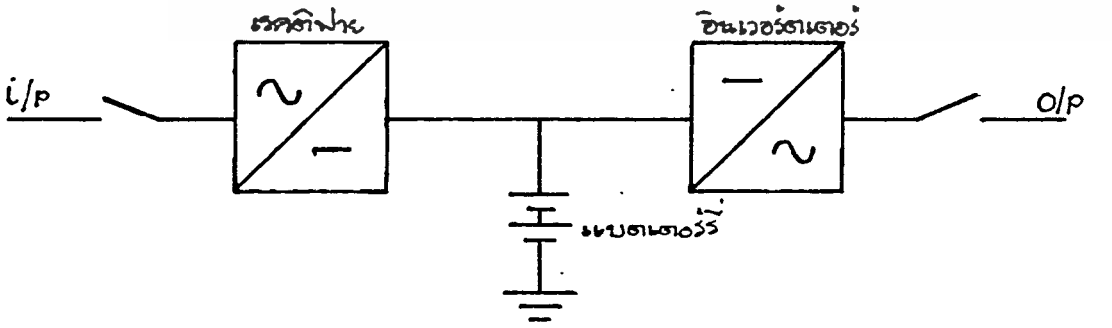
รูปที่ 2.1 ก) ระบบที่ใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลัง ข) ระบบที่ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในความจริงแล้วนั้น ระบบที่จ่ายออกมาจาก GEN. นั้น มีความเป็น SINE มาก และมีความเชื่อถือดีอีกด้วย แต่สภาพของระบบโครงข่ายจะเป็นตัวรบกวน ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบ หรือการเกิดผิดปกติ (FAULT) ซึ่งถ้าเป็นอุปกรณ์พวก อิเล็คทรอนิค หรือคอมพิวเตอร์ ต่อเข้ากับระบบที่ผิดปกตินั้น ก็จะทำให้เกิดปัญหาการใช้งานขึ้นมา ซึ่งอาจแก้ไขโดยใช้เครื่องปรับสภาวะในสาย (LINE CONDITIONER) แต่ก็จะแก้ไขได้ในพวกที่เกิด การรบกวน สไปค์ (SPIKE), ไฟตก, ไฟเกิน, (ปัญหาในระบบไฟฟ้าของไทยที่สำคัญคือ NOISE, SPIKE, SURGE, SAG, FAILURE) ซึ่งมีวิธีการแก้ไขในแต่ละตัวต่างกันออกไป แต่ถ้าเกิดปัญหาไฟดับขึ้นมา เครื่องปรับสภาวะในสายจะช่วยอะไรไม่ได้เลย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้อยู่นั้นเป็นพวก คอมพิวเตอร์ จะทำให้เกิดปัญหาต่างๆอย่างมากมาย ซึ่งถ้าเป็นระบบธุรกิจ หรือ เศรษฐกิจที่อาศัย คอมพิวเตอร์สื่อสารเป็นตัวหลักด้วยแล้ว จะเกิดปัญหาอย่างมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ หรือเกิดการหยุดชะงักของเศรษฐกิจขึ้นได้ ซึ่งธุรกิจเหล่านี้อาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นหลักใหญ่

ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาไฟดับ หรือเกิดกระพริบของไฟซึ่งมีผลต่อ คอมพิวเตอร์ จึงออกแบบให้เกิด UPS (UNINTERUPTIBLE POWER SUPPLY) เพื่อเข้ามาแก้ปัญหาต่างๆ

2.1.2 ระบบสเตติก UPS (STATIC UPS) จะมีลักษณะต่างจากแบบแรก คือแทนที่จะใช้พวกเครื่องจักรกลไฟฟ้า เป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้กับโหลดในกรณีที่ระบบไฟฟ้าเกิดมีปัญหาก็จะใช้พวก อิเล็คทรอนิค คอนเวอร์เตอร์ เข้ามาเป็นอุปกรณ์ประกอบหลักร่วมกับแบตเตอรี่ โดยจะไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่จะใช้อุปกรณ์ อิเล็คทรอนิค เข้ามาเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าแทน ดังนั้นระบบนี้จะไม่มีส่วนใดที่ต้องหมุนเคลื่อนที่เลย และจัดว่าเป็นระบบที่มีความเร็วและความเชื่อถือได้สูง จึงเป็นที่นิยมกันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งกลายเป็น UPS แบบใหม่ (MODERN UPS) ซึ่งระบบหลักๆนั้นจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



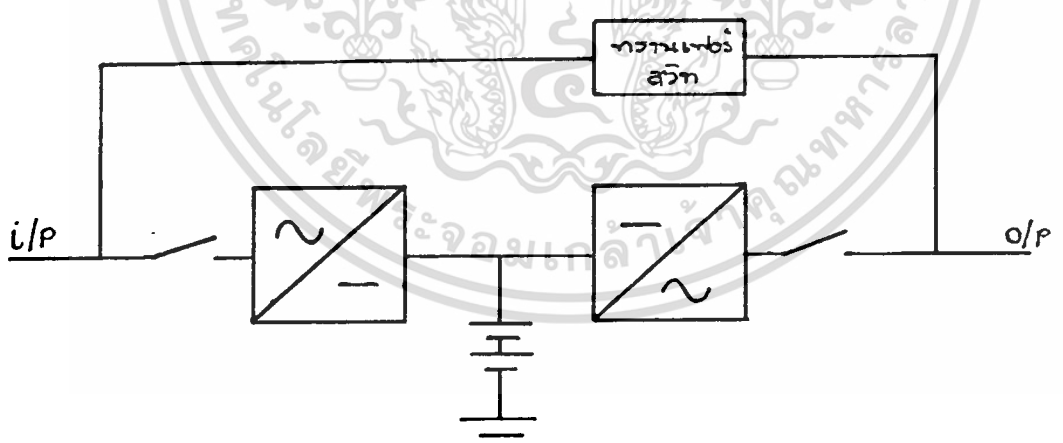
รูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง อินเวอร์ตเตอร์ จะจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ถูกปรับทั้งความถี่และแรงดันให้คงที่ แล้วออกไปให้โหลดโดยจะไม่มีผลของ NOISE ไปหาโหลดเลย และไฟตรงที่จะจ่ายให้กับอินเวอร์ตเตอร์นั้นจะต้องผ่านวงจรเรียงกระแสจากกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง ซึ่งส่วนหนึ่งจะต้องนำไปอัดไฟให้แบตเตอร์รี่ และอีกส่วนจ่ายให้อินเวอร์ตเตอร์เพื่อเปลี่ยนแรงดันกระแสตรงเป็นแรงดันกระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับโหลดต่อไป

ภายใต้สภาวะที่เกิดไฟดับ (FAILURE) ของระบบไฟฟ้าหลักของการไฟฟ้า หรือเกิดจากเรคติฟายผิดปกติ คือไม่สามารถจ่ายกระแสตรงออกมาได้นั้น แบตเตอร์รี่จะเป็นตัวจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ อินเวอร์ตเตอร์ อย่างอัตโนมัติ ซึ่งโหลดที่ใช้อยู่นั้นจะเป็นตัวกำหนดขนาดของแบตเตอร์รี่ ซึ่งจะพูดถึงกรณีของแบตเตอร์รี่ในภายหลัง ซึ่งโดยทั่วไปจะถูกออกแบบให้จ่ายได้นานประมาณ 10 - 30 นาที ที่พิกัดกำลัง คือ ยิ่งพิกัดกำลังมีค่ามากขึ้นเท่าไหร่ ขนาดของแบตเตอร์รี่ก็จะต้องใหญ่มากขึ้นเท่านั้น แต่ราคาของแบตเตอร์รี่สูงมาก ดังนั้น เพื่อการประหยัดบางทีก็ต้องใช้แหล่งกำเนิดกำลังหมุนเข้ามาใช้ร่วมกับระบบ STATIC UPS เช่น การจ่ายไฟให้กับระบบปรับอากาศที่ระบบคอมพิวเตอร์บางระบบจำเป็นต้องใช้

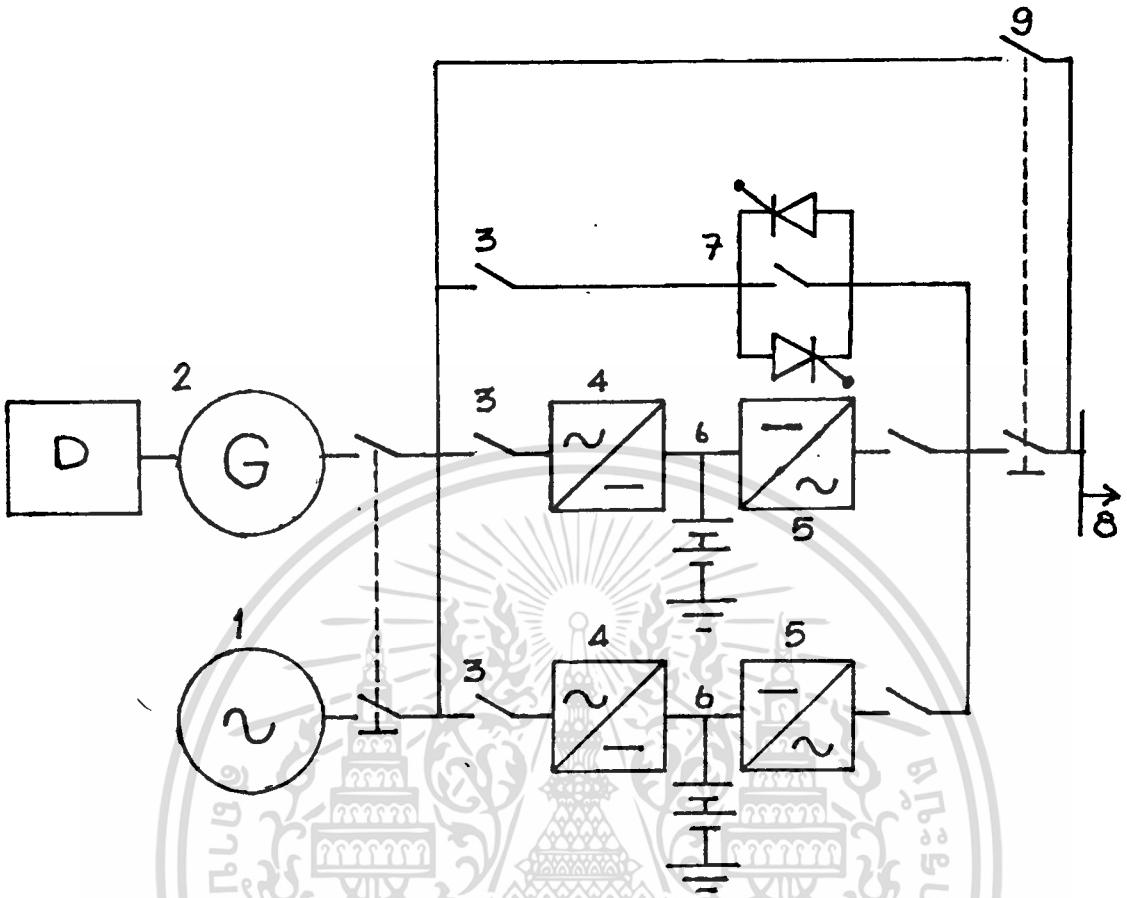
ถ้าต้องการเอา UPS ไปจ่ายไฟให้กับระบบที่ใช้ความถี่เดียวกันก็มักจะติดตั้ง ทรานเฟอร์สวิท เอาไว้ด้วย หรืออาจเรียกว่า บายพาสสวิท ก็ได้ ซึ่งอาจแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.3 ลักษณะของทรานเฟอร์สวิทจะกล่าวในเรื่องของส่วนประกอบของ UPS



รูปที่ 2.3

ลักษณะการนำไปใช้งานของ UPS นั้น จะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของพิกัดกำลัง และตัวแปรต่างๆที่ต้องการ เช่น ถ้าขนาดของพิกัดกำลังมากก็จะนำเอา UPS ย่อยมาขนานซึ่งเป็นการเพิ่มขนาดพิกัดกำลังที่จะไปจ่ายโหลด โดยแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



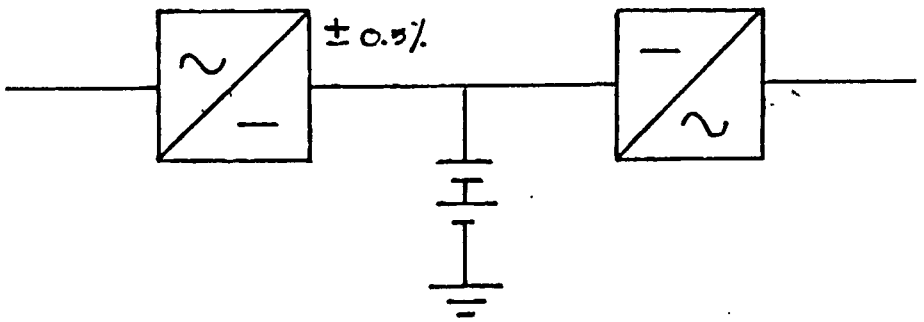
1) ระบบ (NETWORK)
2) ระบบแหล่งจ่ายไฟสำรอง
3) ตัวตัดวงจร (DISCONNECTOR)
4) เรคติฟาย
5) อินเวอร์เตอร์
6) แบตเตอร์รี่
7) อิเลคทรอนิค บายพาสสวิท
8) ระบบจำหน่าย (LOAD DISTRIBUTION)
9) ทรานเฟอร์สวิท สำหรับบำรุงรักษาระบบ UPS

รูปที่ 2.4 แสดงถึง UPS ที่นำมาขนานกัน

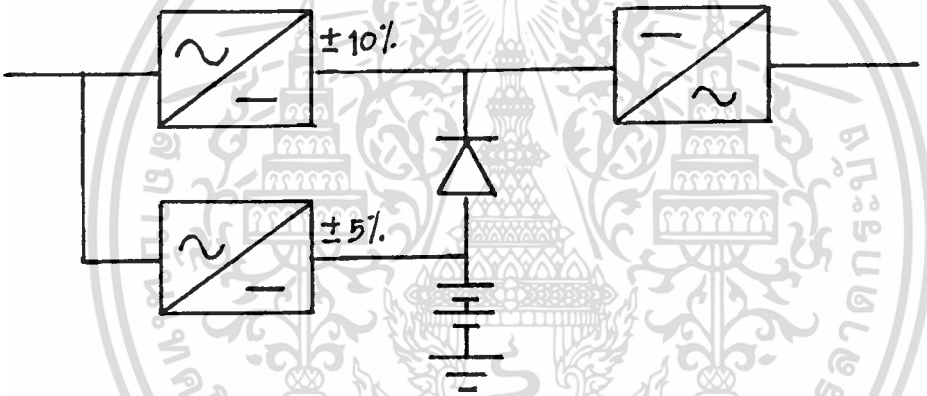
2.2 ส่วนประกอบของ UPS ส่วนประกอบของ UPS ที่จะกล่าวถึงจะเป็นแบบ สเตติก UPS เท่านั้น โดยสามารถแบ่งเป็นอุปกรณ์หลักๆได้ดังนี้

2.2.1 เรคติฟาย/เครื่องอัดไฟ ในการออกแบบเรคติฟายจะต้องทำให้จ่ายไฟกระแสตรงใกล้กับอินเวอร์เตอร์ และในขณะเดียวกันก็ต้องอัดไฟให้กับแบตเตอร์รี่ที่ระดับศักดาให้ถูกต้องด้วย ซึ่งจะเกิดปัญหาตามมา นั้นก็คือ ค่าเรคกูเรชั่น (REGULATION) ของอินเวอร์เตอร์ มีค่าเท่าไหร่ซึ่งเรคติฟายจะต้องช่วยปรับด้วยเพื่อให้ระดับแรงดันขาออกคงที่ แต่ค่าเรคกูเรชั่นไม่ดีทำให้แรงดันที่อัดไฟให้กับแบตเตอร์รี่มากเกินไปจนแบตเตอร์รี่พังได้ ดังนั้นจึงได้ขจัดปัญหาเรื่องนี้โดยใช้ชุดเรคติฟาย 2 ชุด ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)



ข)

รูปที่ 2.5 ก) ระบบที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์และแบตเตอร์รี่

ข) แสดงการแยกชุดเรกติฟายออกเป็น 2 ชุด ที่มี เรคกูเลชั่น ต่างกัน ทำให้เรคกูเรชันของระบบดีขึ้น

ในชุดที่ทำการอัดไฟให้กับแบตเตอร์รี่นั้น เราต้องการความถูกต้องของแรงดันไฟฟ้าจึงทำให้มีเรคกูเรชั่นที่ดี เพราะจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอร์รี่ยาวนาน และทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยที่ไดโอดตาม รูปที่ 2.5ข) จะทำหน้าที่เป็นสวิทปิดกั้นในสภาวะปกติซึ่งอาจจะใช้ไทรริสเตอร์แทนก็ได้ แต่ก็ต้องเพิ่มวงจรจุดชนวนอีก ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความยุ่งยากให้กับวงจร

สวิทจะทำงานในกรณีที่เกิดสภาวะวิกฤตเท่านั้น เช่น ในกรณีที่เกิดไฟดับ ก็จะมีการเปิดวงจรโดยไดโอดอย่างอัตโนมัติ นอกจากนี้ไดโอดยังมีหน้าที่กั้นการกระเพื่อมที่ป้อนกลับมาจากวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่เกิดจากการโหลดของแบตเตอร์รี่อีกด้วย ซึ่งส่วนประกอบของเรคติฟายจะประกอบด้วย

1) เซอร์กิตเบรคเกอร์ หรือ สวิทคอนแทคแม่เหล็ก

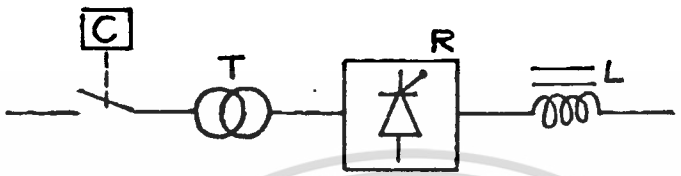
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) หม้อแปลงไฟฟ้า

3) บริดจ์เรคติฟาย

4) วงจรกรองกระแส (FILTER)

ซึ่งแสดงดัง รูปที่ 2.6



C: สวิทคอนแทคแม่เหล็ก

T: หม้อแปลงไฟฟ้า

R: บริดจ์เรคติฟาย

L: ตัวเหนี่ยวนำ

รูปที่ 2.6 แสดงถึงส่วนประกอบหลักของเรคติฟายและเครื่องอัดไฟ

หม้อแปลงแบบ 2 ขด สามารถแทนด้วย ออโตทรานฟอร์เมอร์ได้ ซึ่งหมายถึงว่าไม่มีการแยกออกจากด้านอินพุท แต่ในด้านดีของออโต้ทรานฟอร์เมอร์ก็คือ จะปรับค่าประสิทธิภาพของวงจรคอนเวอร์ตเตอร์ และยังลดเนื้อที่ น้ำหนัก ของ UPS ด้วย

การเกิดกระเพื่อม (RIPPLE) ขึ้นนั้น จะส่งผลกระทบต่อการใช้งานของแบตเตอร์รี่ให้สั้นลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใส่วงจรกรอง (FILTER) เพื่อลด RIPPLE ให้น้อยลง

วงจรบริดจ์เรคติฟาย มักจะต้องประกอบด้วย ไทรรีสเตอร์ ถ้าต้องการให้ค่า ฮาโมนิคส์ที่จะจ่ายกลับเข้าระบบ (ที่เกิดจากการสวิท) และให้กระแสดีออกมาเรียบ ก็จะทำได้โดยการเพิ่มจำนวนพัลส์ (PULSE) ซึ่งก็คือการเพิ่มจำนวนของอุปกรณ์อิเลคทรอนิคกำลัง (SCR) นั่นเอง โดยที่ฮาโมนิกส์และพัลส์มีความสัมพันธ์ คือ $n=kp\pm1$ โดยที่ n คือ อันดับของฮาโมนิคส์, k คือ เลขจำนวนเต็ม, p คือ จำนวนพัลส์ และขนาดแอมปริจูดของฮาโมนิคส์ จะมีความสัมพันธ์เป็นส่วนกลับของอันดับ คือ ยิ่งอันดับต่ำค่าแอมปริจูดก็จะมาก ซึ่งก็คือค่าฮาโมนิคส์ของเรคติฟายที่ใช้ 12 พัลส์จะน้อยกว่า 6 พัลส์

ลักษณะการทำงานของเรคติฟายนั้นจะทำตัวเป็นทั้งเครื่องอัดไฟ และตัวจ่ายไฟให้กับอินเวอร์เตอร์ ซึ่งลักษณะการอัดไฟมีการทำงานง่ายๆ คือ เรคกูเรชั่นของแรงดันที่ต้องการควบคุมที่ลักษณะการชาร์จแบบโฟทส์ (FLOAT) คือ 2.23V/เซล สำหรับแบตเตอร์รี่แบบกรด-ตะกั่ว หรือ 1.4 V/เซล ในแบตเตอร์รี่แบบนิเกิล-แคดเมี่ยม ซึ่งการชาร์จแบบนี้จะทำในสภาวะปกติทั่วไป

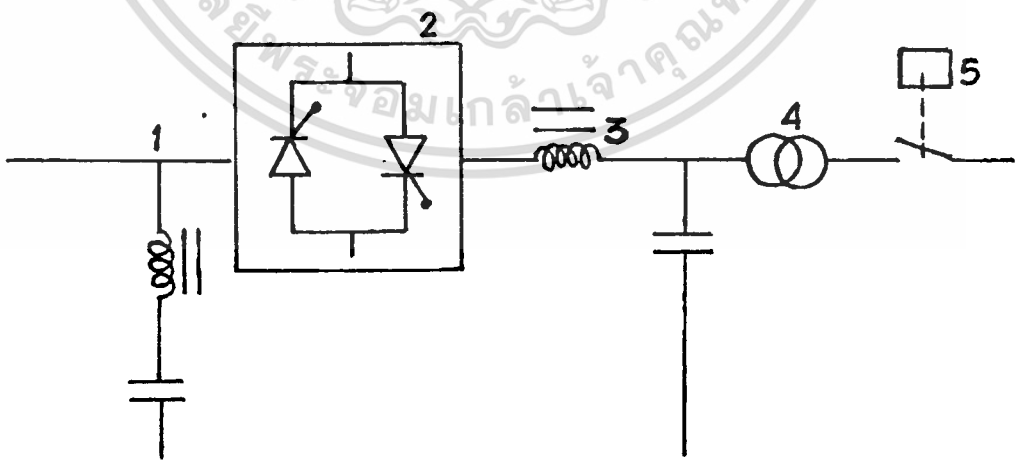
เอกสารนี้เป็นสาธารณะที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการชาร์จไฟภายหลังจากการจ่ายไฟไปแล้วนั้นก็จะต้องทำการชาร์จแบบอิควอไลซ์เพื่อลดระยะเวลาในการชาร์จให้น้อยลง โดยที่ระดับแรงดันที่ทำการชาร์จจะสูงกว่าแบบโฟลท์ชาร์จ

2.2.2 อินเวอร์ตเตอร์ จะเป็นตัวเปลี่ยนแรงดันไฟที่ได้รับจากแบตเตอร์รี่ หรือเรคติฟายให้เป็นแรงดันไฟสลับ ซึ่งแรงดันด้านออกจะต้องทำให้เป็นแรงดันรูปซายน์ซึ่งอาจเป็นแบบ 3 เฟส หรือ 1 เฟส ก็ได้โดยมีส่วนประกอบหลักๆ คือ

1) วงจรกรองด้านอินพุท
2) วงจรอินเวอร์ตเตอร์นบบบริดจ์
3) วงจรกรองด้านเอาท์พุท
4) หม้อแปลงทางเอาท์พุท
5) เซอร์กิตเบรคเกอร์ หรือ คอนแทคแม่เหล็ก

ซึ่งวงจรกรองทางด้านอินพุทจะเป็นตัวจำกัดการเกิดริปเปิล การเกิดริปเปิลที่ป้อนกลับไปยังแบตเตอร์รี่ หรือ วงจรทางด้านอินพุท และวงจรอินเวอร์ตเตอร์นบบบริดจ์นั้นจะเป็นตัวเปลี่ยนแรงดันไฟตรงเป็นแรงดันไฟสลับ โดยมักจะใช้พวก SCR เป็นอุปกรณ์สวิทในขนาดพิกัดใหญ่ๆ และ ใช้ทรานซิสเตอร์กำลัง เป็นอุปกรณ์สวิทในขนาดพิกัดเล็กลงมา ซึ่งเอาท์พุทที่ออกมาจะผ่านวงจรกรองทางด้านเอาท์พุท ซึ่งจะเป็นตัวลดฮาโมนิคส์ให้ได้เอาท์พุทออกมาเป็นคลื่นรูปซายน์จริงๆ โดยจะมีหม้อแปลงทางเอาท์พุทเป็นตัวแยกโหลดออกจากแบตเตอร์รี่และวงจรอินเวอร์ตเตอร์ พร้อมทั้งยังแปลงระดับแรงดันให้อยู่ในระดับที่ใช้งานอีกด้วย โดยแสดงดังรูปที่ 2.7

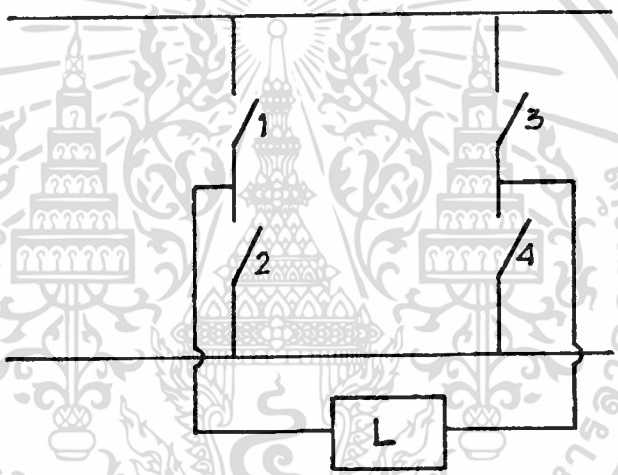


1) วงจรกรองทางอินพุท
2) วงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์
3) วงจรกรองทางเอาท์พุท
4) หม้อแปลง
5) สวิทคอนแทคแม่เหล็ก

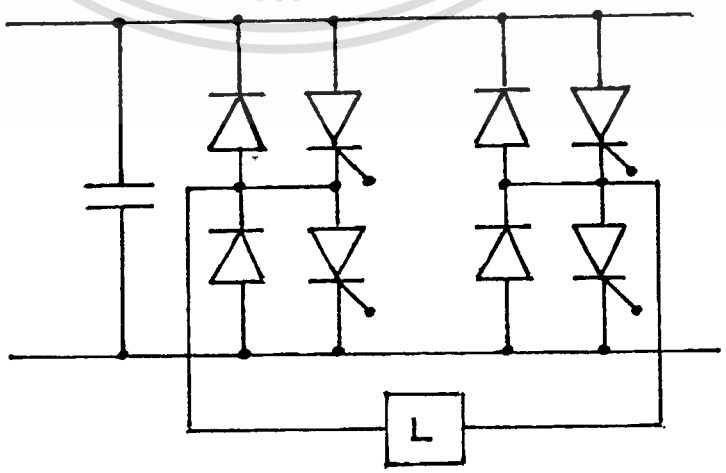
รูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแรงดันไฟสลับทางด้านเอาท์พุทจะเกิดการสวิงกลับไปมาของขั้วบวก และลบ ของแบตเตอร์รี่ ซึ่งตามรูปที่ 2.8 แสดงถึงวงจรอินเวอร์ตเตอร์แบบ 1 เฟส ที่ใช้สวิทแบบกล (พื้นฐาน) ซึ่งในความจริงแล้วเขาไม่ใช้กัน ซึ่งก็เพราะเกี่ยวกับความถี่และอายุการใช้งานของสวิท แต่จะใช้อุปกรณ์พวกเซมิคอนดัคเตอร์แทน ซึ่งได้แก่ พวกอิเล็คทรอนิคกำลังทั้งหลาย แสดงใน รูป 2.8 โพลาลิตี้ของแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์มินัลด้านเอาท์พุทเกิดจากการเลือกคู่สวิทโดยมีไดโอดคอยทำหน้าที่เป็นคอมมิวเตติ้งไดโอด (COMMUTATING DIDODE) เพื่อคอยนำกระแสให้กับโหลดที่เป็นพวกโหลดความเหนี่ยวนำ (INDUCTIVE LOAD) ซึ่งการใส่คาปาซิเตอร์เข้าไปดังรูปที่ 2.9 นั้นก็เพื่อทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายนั้นน้อยลง



รูปที่ 2.8



รูปที่ 2.9

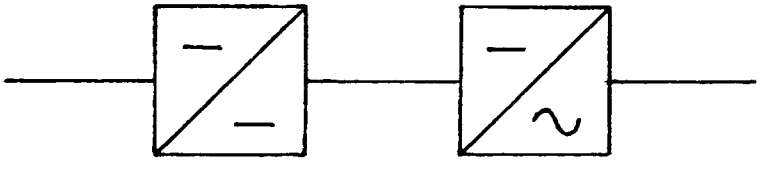
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
023109

ซึ่งถ้าเป็นกรณีที่เลือกใช้อุปกรณ์สวิทเป็นพวก SCR ก็จำเป็นต้องมีวงจรคอมมิวเตชั่น เพื่อทำให้ SCR หยุดนำกระแสโดยการสร้างแรงดันกลับขั้วไปตกคร่อม SCR หรืออาจใช้วิธี GTO (GATE TURN OFF THYRISTOR) โดยการให้กระแสเกทกลับทางซึ่งเป็นวิธีการหยุดนำกระแสอย่างหนึ่ง

เพื่อชดเชยแรงดันของแบตเตอร์รี่ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการจ่ายกระแสและค่าของแรงดันตก ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด เพื่อต้องการรักษาระดับแรงดันให้คงที่ จึงต้องมีอุปกรณ์ที่จะเข้ามาช่วยควบคุมให้ระดับแรงดันนั้นคงที่ ซึ่งก็มีอยู่หลายวิธี ดังนี้

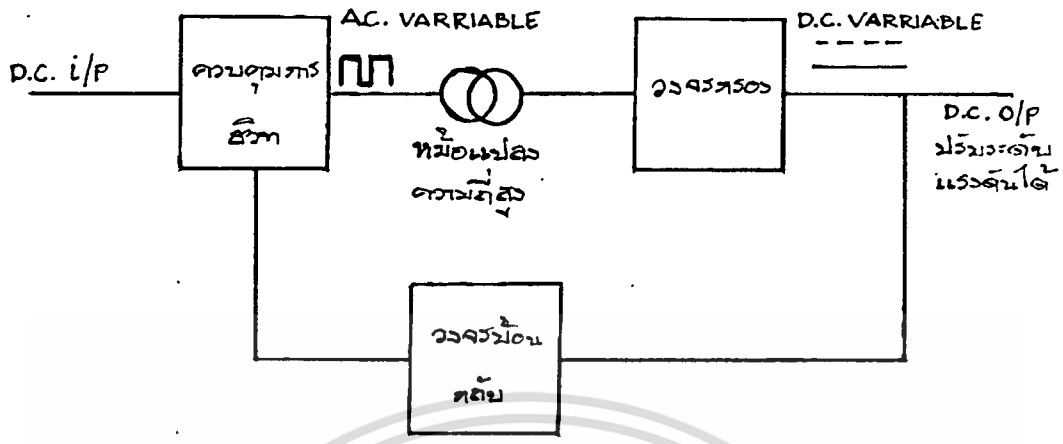
ก) การควบคุมระดับแรงดันไฟตรงที่จะเข้าอินเวอร์เตอร์ให้เปลี่ยนแปลงได้ โดยมักจะใช้วิธีการพวกชอปเปอร์ (CHOPPER) หรือไม่ก็ใช้วิธีสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (SWITCHING POWER SUPPLY) เข้ามาเปลี่ยนแรงดัน โดยการเปลี่ยนค่าแรงดันเฉลี่ย เพราะลักษณะการเกิดชอบเปอร์ หรือการใช้สวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะมีการตัดแรงดันไฟตรงเป็นลูกคลื่น แล้วแรงดันไฟตรงก็คือ ค่าเฉลี่ยของแรงดันที่เกิดจากการตัด ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.10 ในกรณีที่แรงดันไฟด้านเอาท์พุทของอินเวอร์ตเตอร์ตกลงซึ่งต้องการต้องการแรงดันด้านอินท์พุทสูงขึ้น วงจรชอปเปอร์หรือสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายก็จะเป็นตัวเปลี่ยนระดับแรงดันไฟตรงด้านอินพุทของอินเวอร์ตเตอร์ให้สูงขึ้น โดยการเปลี่ยนความกว้างของพัลซ์ ซึ่งก็จะทำให้แรงดันด้านเอาท์พุทของอินเวอร์ตเตอร์สูงขึ้น ซึ่งอาจแสดงได้ดังรูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.12

รูปที่ 2.10



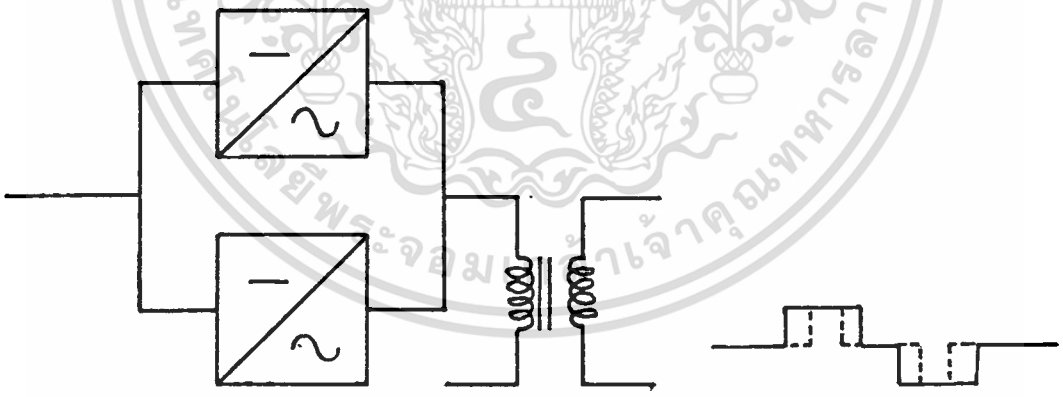
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมของ CHOPPER



รูปที่ 2.12 ไดอะแกรมของสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

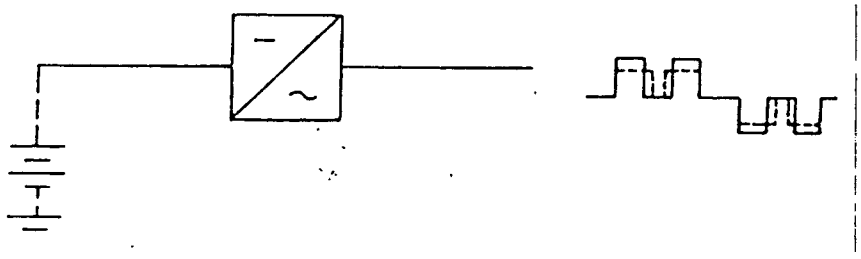
ข) การเปลี่ยนแปลงเฟส (PHASE DISPLACEMENT) ระหว่างอินเวอร์ตเตอร์ 2 ตัว โดยการควบคุมความกว้างพัลซ์ของแรงดันด้านเอาท์พุทที่แสดงดังรูปที่ 2.13 ซึ่งลักษณะการเพิ่มขึ้นของแรงดันทางด้านเอาท์พุทนั้น เกิดจากการรวมกันของแรงดันเอาท์พุทของแต่ละวงจร โดยที่แรงดันกระแสตรงที่จ่ายให้กับอินเวอร์ตเตอร์ยังคงที่อยู่ โดยค่าความถี่ของแรงดันไฟด้านเอาท์พุทยังคงที่อยู่



รูปที่ 2.13 การควบคุมแบบ PHASE DISPLACEMENT

ค) แบบ PWM (PULSE WIDTH MODULATION) ซึ่งค่าแรงดันจะเปลี่ยนแปลงไปโดยใช้การเปลี่ยนความกว้างของพัลซ์ที่เกิดขึ้นหลายพัลส์ใน 1 ไซเคิล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของการมอดูเลชั่น (MODULATION) หรือ Wr ซึ่งการควบคุมแบบนี้ไม่ใช่การเปลี่ยนอัตราส่วนของการมอดูเลชั่น แต่จะไปเพิ่มหรือลดความกว้างของพัลซ์ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.14

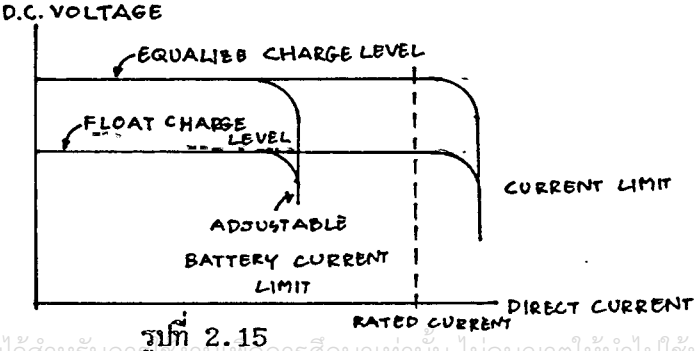
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การควบคุมแบบ PWM

ผลดีของการควบคุมแต่ละแบบก็มีอยู่ คือ แบบ ก) อันดับฮาโมนิคส์ที่ออกมานั้นไม่เปลี่ยนแปลง เพราะเป็นการเพิ่มของแรงดันไฟตรงโดยที่ความกว้างของพัลซ์ไม่เปลี่ยน ซึ่งก็คือแอมปลิจูดของฮาโมนิคส์ก็จะเปลี่ยนไป แต่อันดับที่ออกมาไม่เปลี่ยน ซึ่งก็ผิดกับวิธีที่ 2 และ 3 ซึ่งอันดับของฮาโมนิคส์ที่ปนออกมาจะเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับการควบคุม

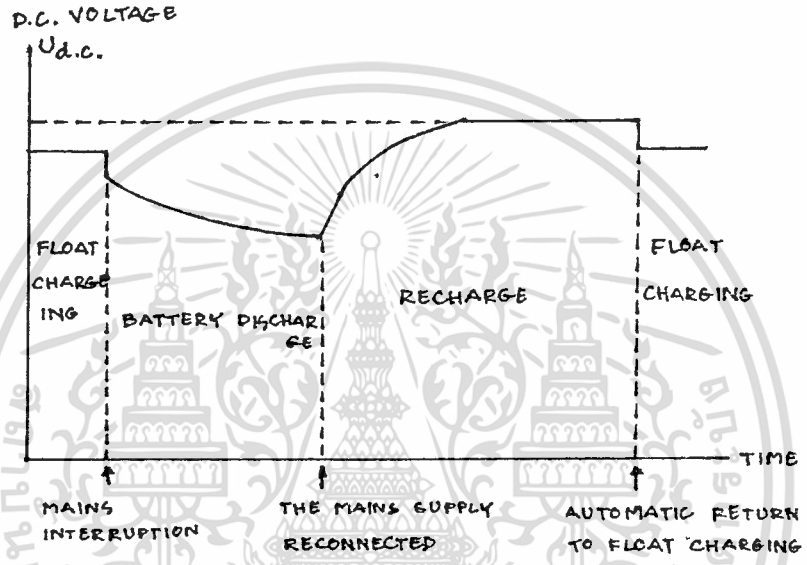
2.2.3 กลุ่มของแบตเตอร์รี่ จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่สะสมพลังงานในรูปของเคมี แล้วจะจ่ายออกมาในรูปของพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแบบที่นิยมใช้ก็คือ แบตเตอร์รี่แบบตะกั่ว-กรด (LEAD-ACID) ซึ่งมักจะพบเห็นทั่วไปในชีวิตประจำวันก็คือแบตเตอร์รี่ที่ใช้กับรถยนต์ทั่วไป อีกแบบก็คือ แบตเตอร์รี่แบบนิเกิล-แคดเมี่ยม (Ni-Cd) ซึ่งจะต่างกันอยู่ตรงแรงดันไฟฟ้าต่อเซล คือแบบ Pb-Acid จะให้แรงดันประมาณ 2.2 V/เซล แต่แบบ Ni-Cd จะให้แรงดันประมาณ1.4 V/เซล ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ ลักษณะการชาร์จแบตเตอร์รี่มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ โฟลท์ชาร์จ และอิควอไลซ์ชาร์จ ซึ่งระดับแรงดันก็จะต่างกัน โดยที่โฟลท์ชาร์จจะเป็นการชาร์จทั่วไปตามปกติ เช่น แบตเตอร์รี่แรงดัน 48 V ก็จะโฟลท์ชาร์จที่แรงดันประมาณ 51.6 V ส่วนการอิควอไลซ์ชาร์จนั้นจะใช้แรงดันที่สูงกว่า คือประมาณ 54 V ซึ่งลักษณะการชาร์จทั้งสองนั้นจะแตกต่างกัน คืออิควอไลซ์ชาร์จจะต้องการภายหลังจากการดิสชาร์จจ่ายไฟให้กับโหลดไปแล้ว ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดระยะเวลาในการชาร์จจึงต้องชาร์จที่ระดับแรงดันสูงกว่าปกติ ซึ่งลักษณะการชาร์จจะแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15

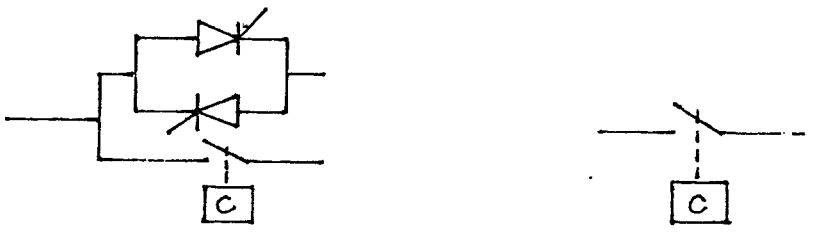
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่อันตรายที่จะเกิดกับแบตเตอร์รี่ก็เช่น การชาร์จเกิน (กระแสเกิน) ดังนั้นภายในตัวเรคติฟาย จึงต้องมีตัวจำกัดกระแสโดยจะไปลดระดับแรงดันไฟฟ้าถ้าเกิดกระแสเกิน แต่ในขณะที่เกิดไฟดับแล้ว แบตเตอร์รี่จ่ายกระแสให้กับโหลด ค่าศักย์ตาไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอร์รี่จะค่อยๆลดลง ซึ่งถ้าต้องการแรงดันเอาท์พุทที่คงที่ก็จะต้องอาศัยอุปกรณ์ควบคุมแรงดันเป็นตัวช่วย ซึ่งลักษณะวัฏจักรของการชาร์จและดีสชาร์จ จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งจะแสดงถึงค่าระดับแรงดันไปตรงกับเวลาที่ใช้ไปในสภาวะการต่างๆ



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะต่างๆของแบตเตอร์รี่

2.2.4 บายพาสสวิท หรือทรานเฟอร์สวิท ลักษณะของสวิทอาจเป็นคอนแทคแม่เหล็กหรือแบบอิเลคทรอนิคส์ (SCR) โดยที่พวก SCR จะเป็นตัวควบคุมการปิดเปิดทางเดินกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำงานได้ง่าย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า เนื่องจากมีความเร็วสูงดังนั้นเมื่อเกิดเหตุผิดปกติขึ้นมาแล้ว สวิทอิเลคทรอนิคส์จะไม่มีการขาดตอน โดยจะทำงานทันทีที่เกิดเหตุการผิดปกติขึ้นที่ส่วนต่างๆของ UPS ซึ่งลักษณะของวงจรก็จะเป็นตามรูปที่ 2.17 ก) โดยที่จะมีสวิทแบบกลต่อร่วมอยู่ด้วย



ก) ข)

รูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนอีกแบบนั้นจะใช้สวิทแบบกลอย่างเดียว เช่น พวกคอนแทคแม่เหล็กดังรูปที่ 2.17ข) ซึ่งสวิทประเภทนี้จะทำงานโดยอาศัยคุณสมบัติของแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวหน่วงเวลาจะเปิดวงจรเมื่อเกิดการผิดปกติของ UPS แต่การทำงานจะช้ากว่าแบบอิเลคทรอนิคส์มาก แต่ทว่ามีความทนทานสูงกว่าแบบอิเลคทรอนิคส์ คือ ทนโอเวอร์โหลดได้นานกว่า

ซึ่งการทำงานของบายพาสสวิทจะเกิดขึ้น เช่น ในสภาวะที่การทำงานของอินเวอร์เตอร์ไม่เข้ากับระบบไฟฟ้า (SYNCHRONIZED กับ SYSTEM) อุปกรณ์พวกเรคติฟาย อินเวอร์เตอร์เสียหรือเกิดความถี่ผิดเพี้ยน ซึ่งการที่บายพาสสวิทจะทำงานนั้นขึ้นอยู่กับค่าจำกัดที่ได้ตั้งไว้ในการตรวจจับ ซึ่งเมื่อเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้นั้น โหลดก็จะถูกย้ายจากการจ่ายด้วย UPS ไปต่อเข้าโดยตรงกับสายหลัก (MAIN LINE)

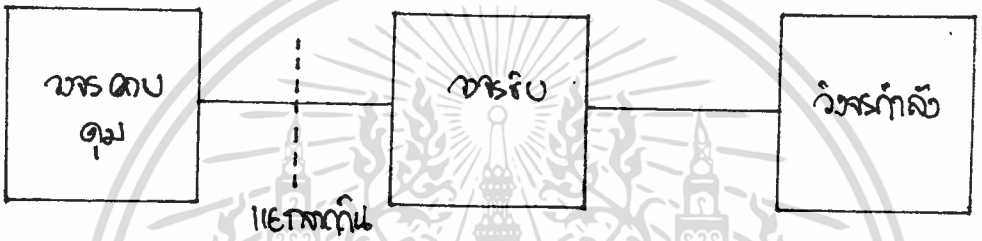
นอกจากนี้เมื่อการผิดปกติได้หายไปแล้ว ทรานเฟอร์สวิทก็จะต้องตัดวงจรกลับคืนให้ UPS เป็นตัวจ่ายไฟให้กับโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

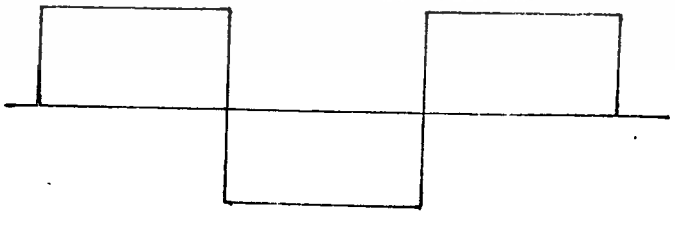
อินเวอร์เตอร์

ส่วนประกอบของวงจรอินเวอร์เตอร์แบ่งเป็น 3 วงจรใหญ่ๆ คือ วงจรควบคุม วงจรขับ และวงจรกำลัง โดยวงจรควบคุมจะมีหน้าที่กำเนิดสัญญาณควบคุมให้กับทรานซิสเตอร์กำลัง เพื่อให้นำกระแสหรือหยุดนำกระแสตามความเหมาะสม วงจรขับจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณควบคุมที่สร้างขึ้นให้มีกำลังสูงพอที่จะขับทรานซิสเตอร์กำลังให้ทำงานได้ และวงจรกำลังจะเป็นส่วนที่แปลงแรงดันไฟตรงให้เป็นแรงดันไฟสลับ ส่วนประกอบต่างๆแสดงตามรูปที่ 3.1

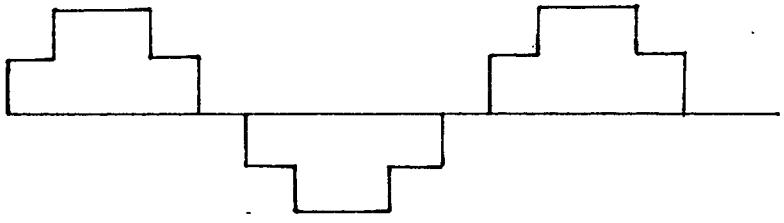


รูปที่ 3.1

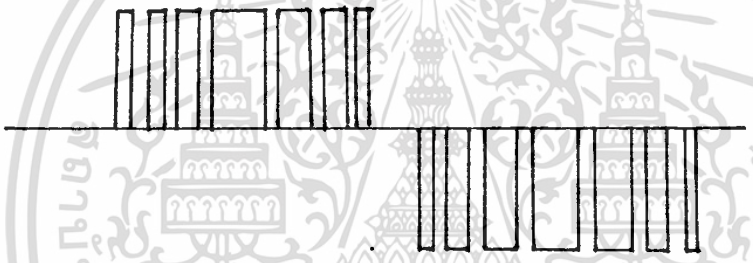
ซึ่งในโครงงานนี้ได้ทำการค้นคว้าออกแบบวงจรควบคุมโดยใช้ลิเนียร์ไอซี หรือ OP AMP ซึ่งจะกำหนดรูปแบบของแรงดันเอาท์พุทให้ได้ออกมาใกล้เคียงกับสัญญาณรูปคลื่นซายน์ โดยมีวิธีการที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ คือ แบบควอซี่ สแควร์ (QUASI SQUARE), แบบขั้น (STEP) เช่น 6 STEP, และแบบ PWM ตามรูปที่ 3.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข)



ค)

รูปที่ 3.2 ก) แบบ QUASI SQUARE

ข) แบบ STEP

ค) แบบ PWM

ซึ่งแต่ละแบบจะมีลักษณะความเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป คือ แบบควอซี่สแควร์ จะสามารถใช้ได้เฉพาะโหลดบางอย่าง เพราะว่าในเอาท์พุทแบบนี้จะมีความถี่ฮาโมนิกส์อยู่มาก โดยจะมีฮาโมนิคส์ที่ 3 และ 5 ออกมาด้วย ดังนั้นจึงสามารถใช้ได้กับโหลดพวกเครื่องจักรไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.2ก)

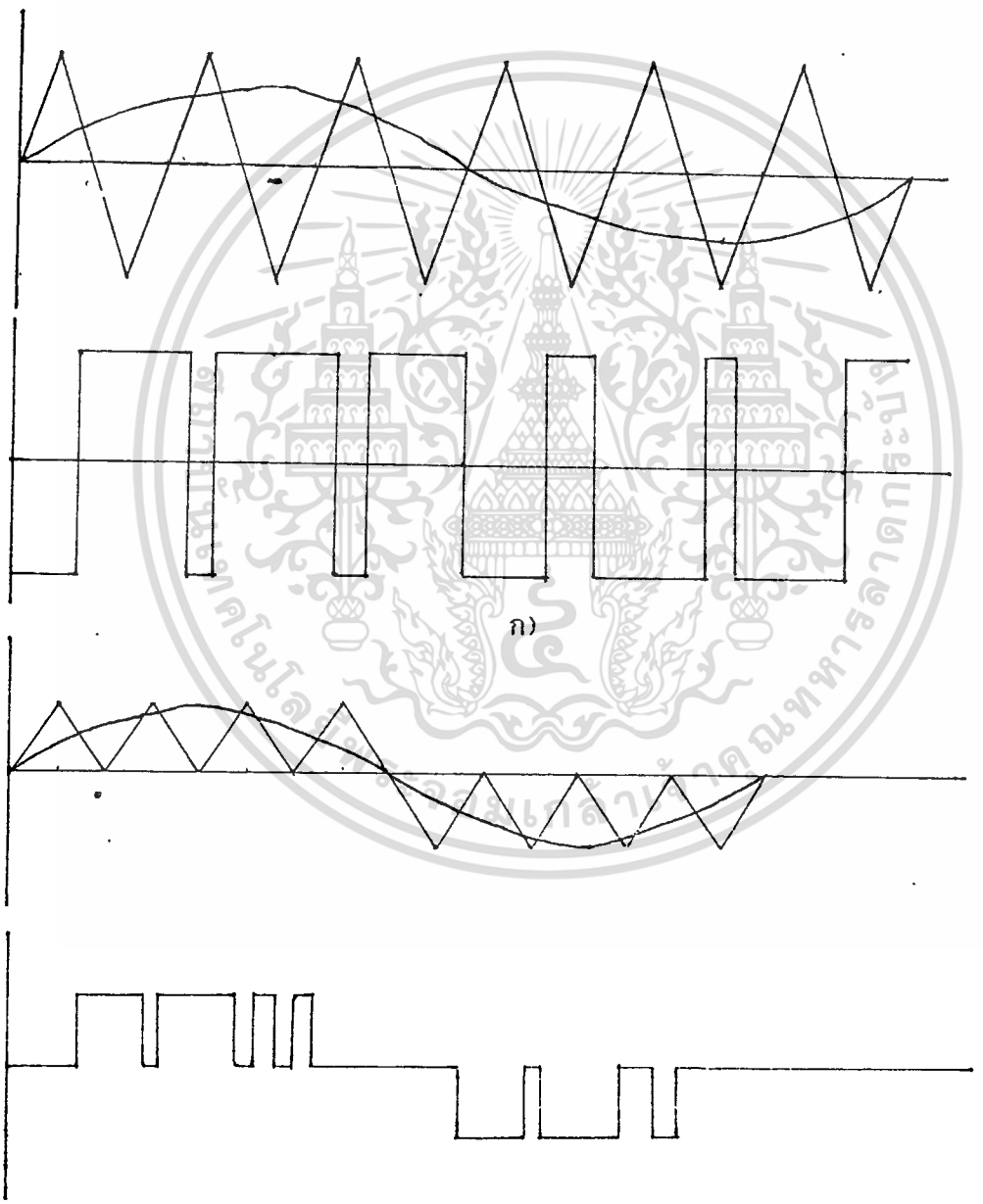
แบบขั้น (STEP) ซึ่งเป็นการทำให้สัญญาณเอาท์พุทคล้ายกับซายน์โดยใช้การสวิทอุปกรณ์ให้ได้สัญญาณเอาท์พุทออกมาเป็นขั้นๆ ซึ่งวิธีการนี้จะใช้กับอินเวอร์เตอร์ที่มีกำลังพิกัดสูง เช่นมากกว่า 5 KVA ดังรูปที่ 3.2ข) เป็นแบบ 6 STEP

แบบ PWM จะมีความเหมาะสมเฉพาะอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดพิกัดไม่ใหญ่นัก เช่น น้อยกว่า 5 KVA โดยจะอาศัยการ PULSE-WIDTH MODULATION (PWM) มาสร้างสัญญาณควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างสัญญาณรูปซายน์ และ สามเหลี่ยม ซึ่งจะได้สัญญาณควบคุมตามรูปที่ 3.2ค)

เนื่องจากในงานวิจัยนี้เลือกแบบ PWM มาเป็นวงจรควบคุม แต่ก็สามารถแบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ 2 ระดับ (2-LEVEL) และ 3 ระดับ (3-LEVEL) ซึ่งสัญญาณควบคุมทั้งสองอย่างนั้นจะต่างกันตรงที่อันดับของฮาโมนิคส์ที่ออกมาด้วย โดยที่ 2 ระดับจะให้ฮาโมนิคส์อันดับต่ำออกมา ในขณะที่ 3 ระดับ จะให้ฮาโมนิคส์ในอันดับที่สูงกว่า ซึ่งรูปของสัญญาณเอาท์พุทที่เกิดการสวิทจะมีลักษณะตามรูปที่ 3.3 ซึ่งตามรูปจะเป็นการมอดูเลชั่นระหว่างสัญญาณซายน์ กับ สามเหลี่ยมให้ได้สัญญาณออกมาเป็นแบบ 3 ระดับ และ 2 ระดับ ตามรูป 3.3ก) และ 3.3ข) ตามลำดับ



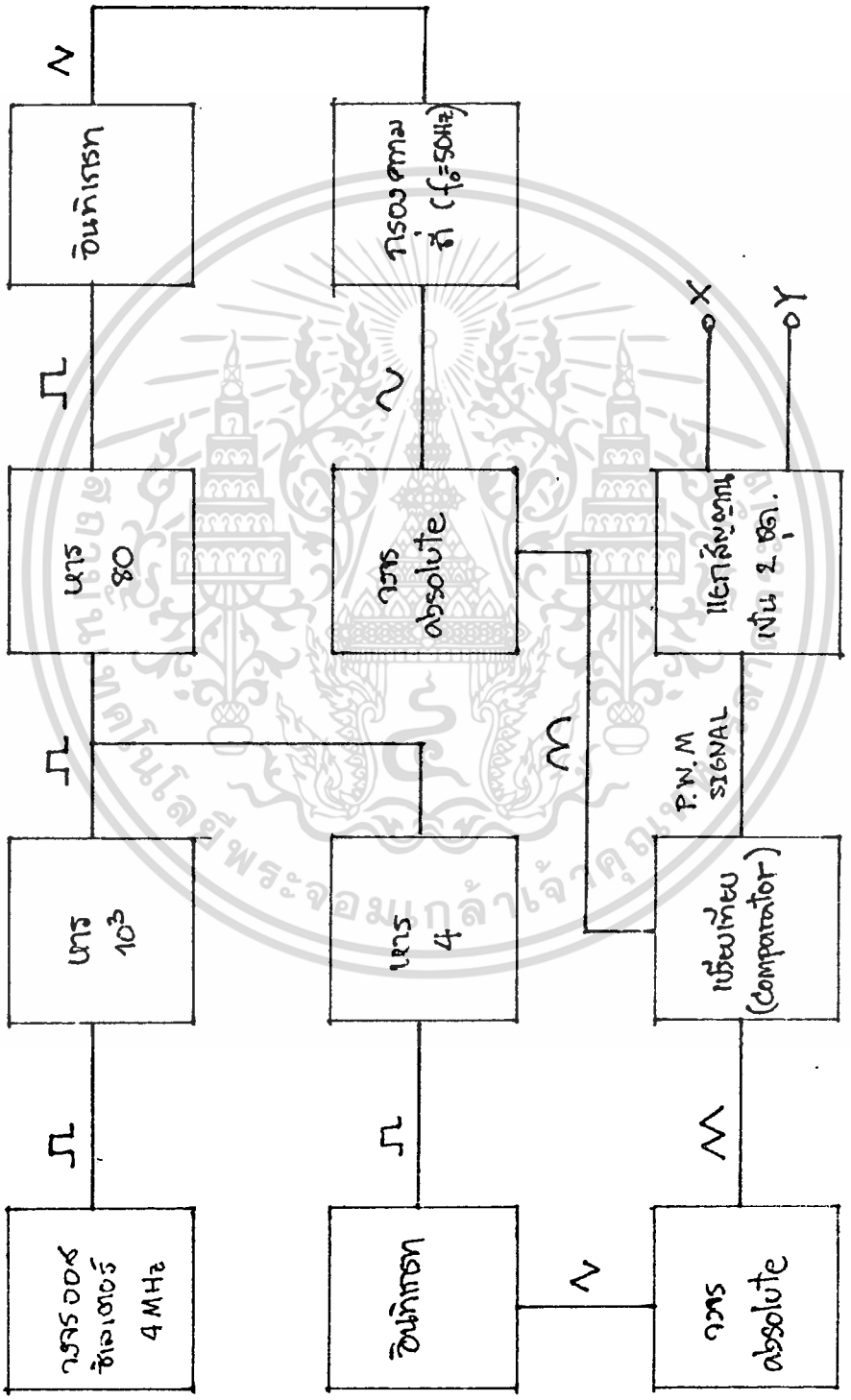
ก)

ข)

รูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

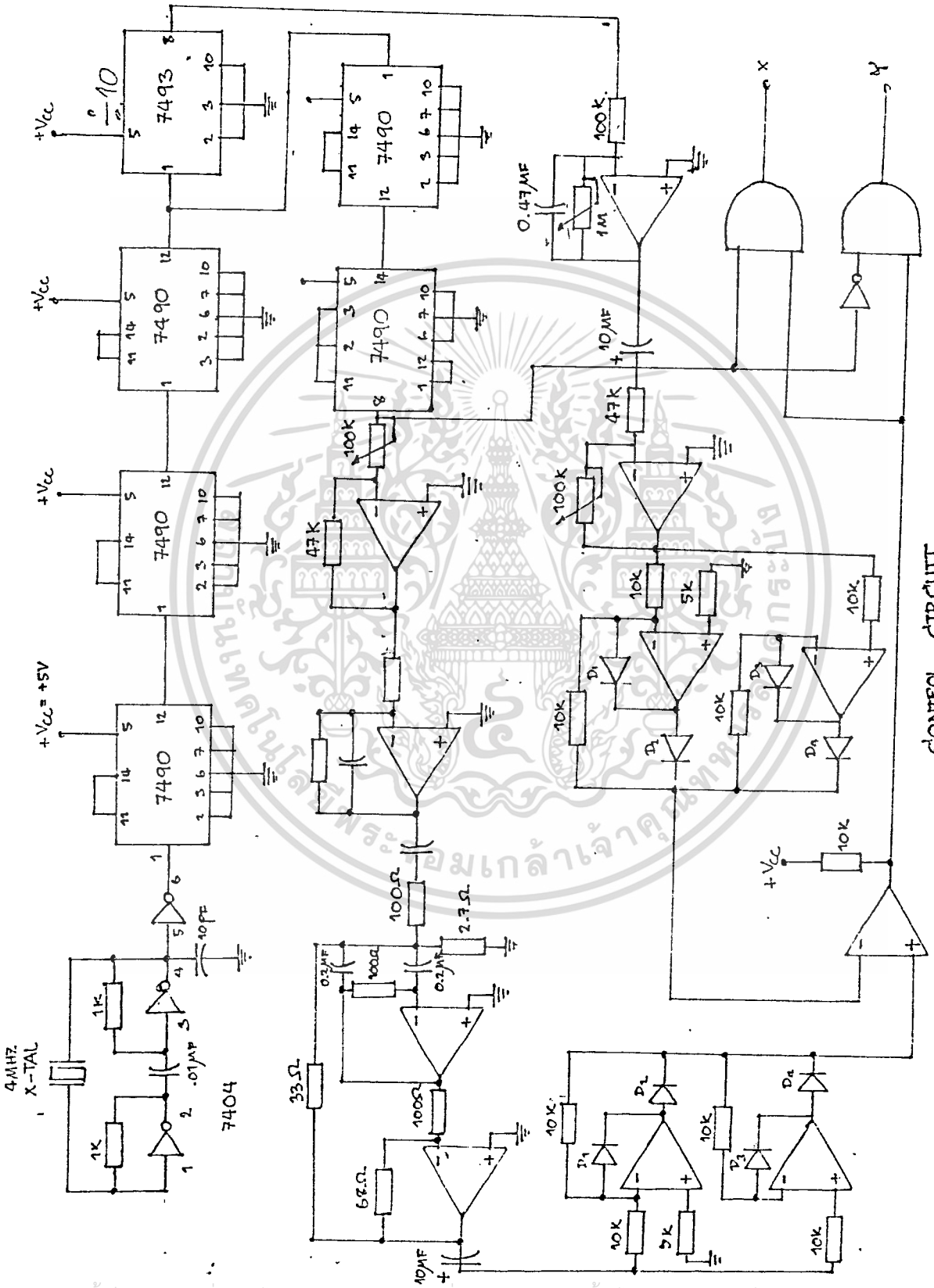
3.1 <u>วงจรควบคุม</u> ในการออกแบบในโครงงานนี้จะเลือกแบบ 3 ระดับ ซึ่งหลักในการออกแบบคือ สร้างสัญญาณซายน์และสามเหลี่ยมตามความถี่ที่ออกแบบจากอัตราส่วนของการมอดูเลชั่น (N) ในการออกแบบนี้ใช้ N=20 โดยความถี่ของคลื่นเปรียบเทียบ (SINE WAVE) มีค่า 50 เฮิทซ์ ความถี่ของคลื่นสามเหลี่ยม (CARRIER WAVE) มีค่า 1 กิโลเฮิทซ์ โดยลักษณะของการควบคุมสามารถเขียนออกมาเป็นบล็อคไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

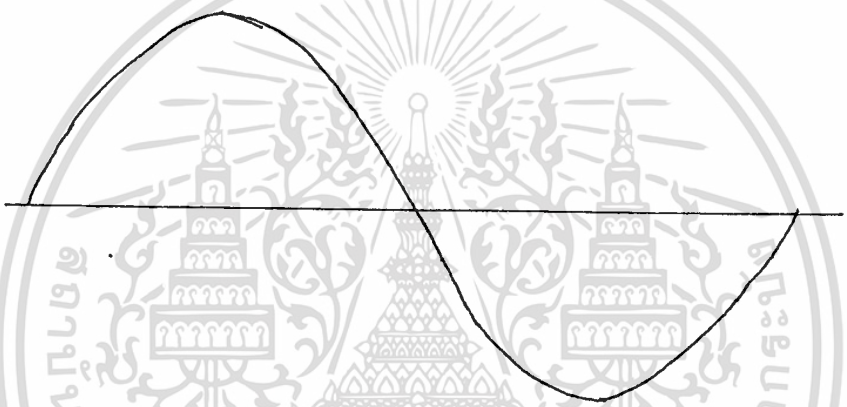
และวงจรในรูปที่ 3.5 เป็นวงจรควบคุม ซึ่งสามารถอธิบายหลักการทำงานได้ดังนี้



รูปที่ 3.5

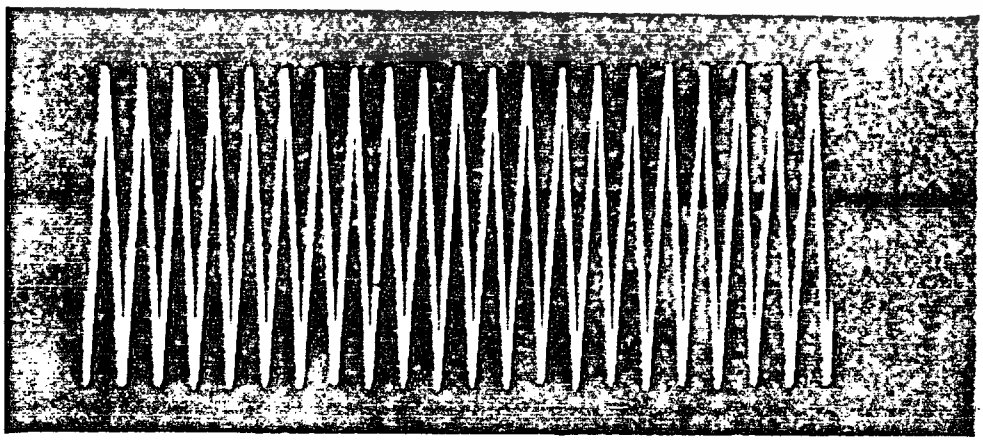
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรจะใช้ออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่ 4 เมกกะเฮิทซ์ โดยมีคริสตอลเป็นตัวควบคุมให้มีความถี่คงที่ จากสัญญาณนาฬิกาที่ความถี่ 4 เมกกะเฮิทซ์ จะผ่าน IC 7409 ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นวงจรหาร 10 และ 8 ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการดึงเอาท์พุท และ IC 7493 จะเป็นวงจรหาร 4 ก็จะได้สัญญาณความถี่ 50 เฮิทซ์ และ 1 กิโลเฮิทซ์ จากนั้นนำสัญญาณทั้งสองผ่านวงจรอินทิเกรทเพื่อให้ได้สัญญาณรูปสามเหลี่ยม สำหรับความถี่ 50 เฮิทซ์นั้น จะต้องผ่านวงจรกรองความถี่เพื่อเอาเฉพาะความถี่มูลฐาน (FUNDAMENTAL FREQUENCY) เท่านั้น ซึ่งก็คือจะได้สัญญาณรูปซายน์ออกมาดังรูปที่ 3.6



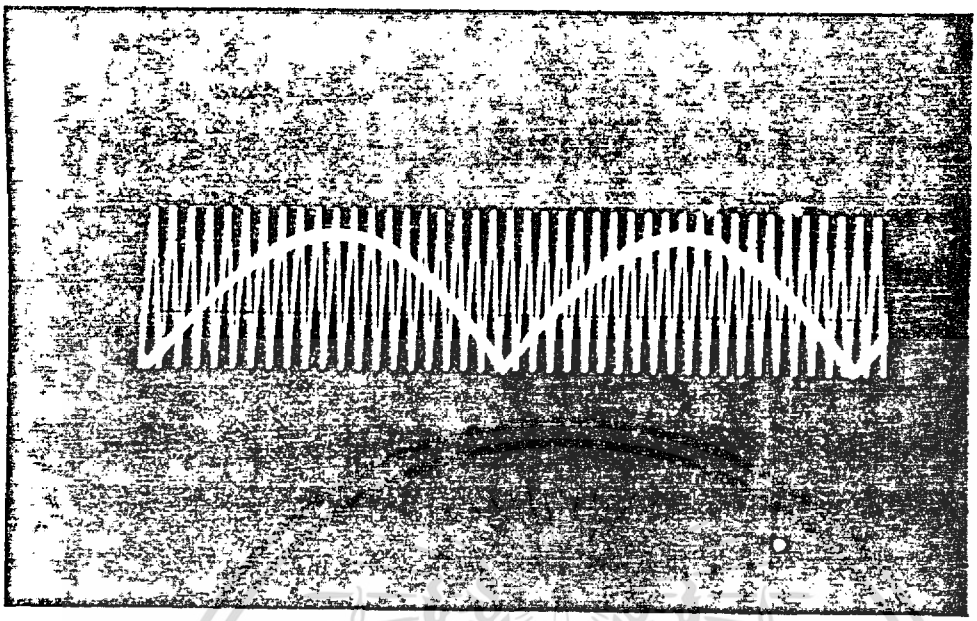
รูปที่ 3.6

ส่วนความถี่ 1 กิโลเฮิทซ์นั้นต้องการคลื่นรูปสามเหลี่ยมอยู่แล้วซึ่งก็แสดงดังรูปที่ 3.7 จากนั้นนำเอาสัญญาณทั้งสองมาผ่านวงจรสมมูล (ABSOLUTE VALUE) เพื่อที่จะได้นำเอาสัญญาณทั้งสองไปเปรียบเทียบอีกทีซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8



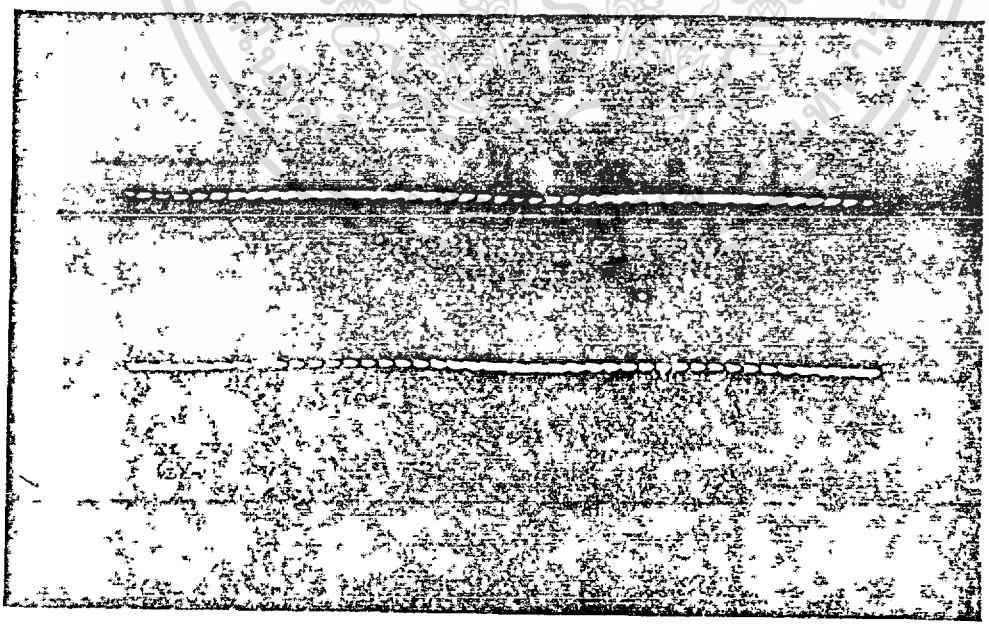
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7



รูปที่ 3.8

หลังจากที่สัญญาณทั้งสองผ่านตัวเปรียบเทียบแล้วนั้นก็จะได้สัญญาณตามรูปที่ 3.9

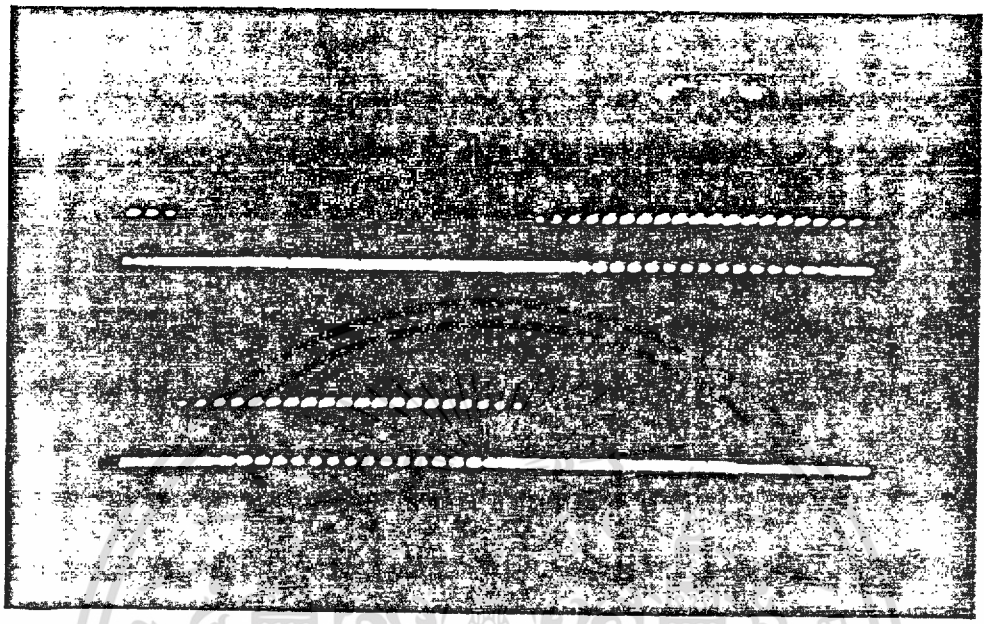


รูปที่ 3.9

สัญญาณนี้จะนำไปใช้ขับทรานซิสเตอร์กำลังไม่ได้ เพราะจะต้องอยู่ในลักษณะที่สลับกันทำงาน ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

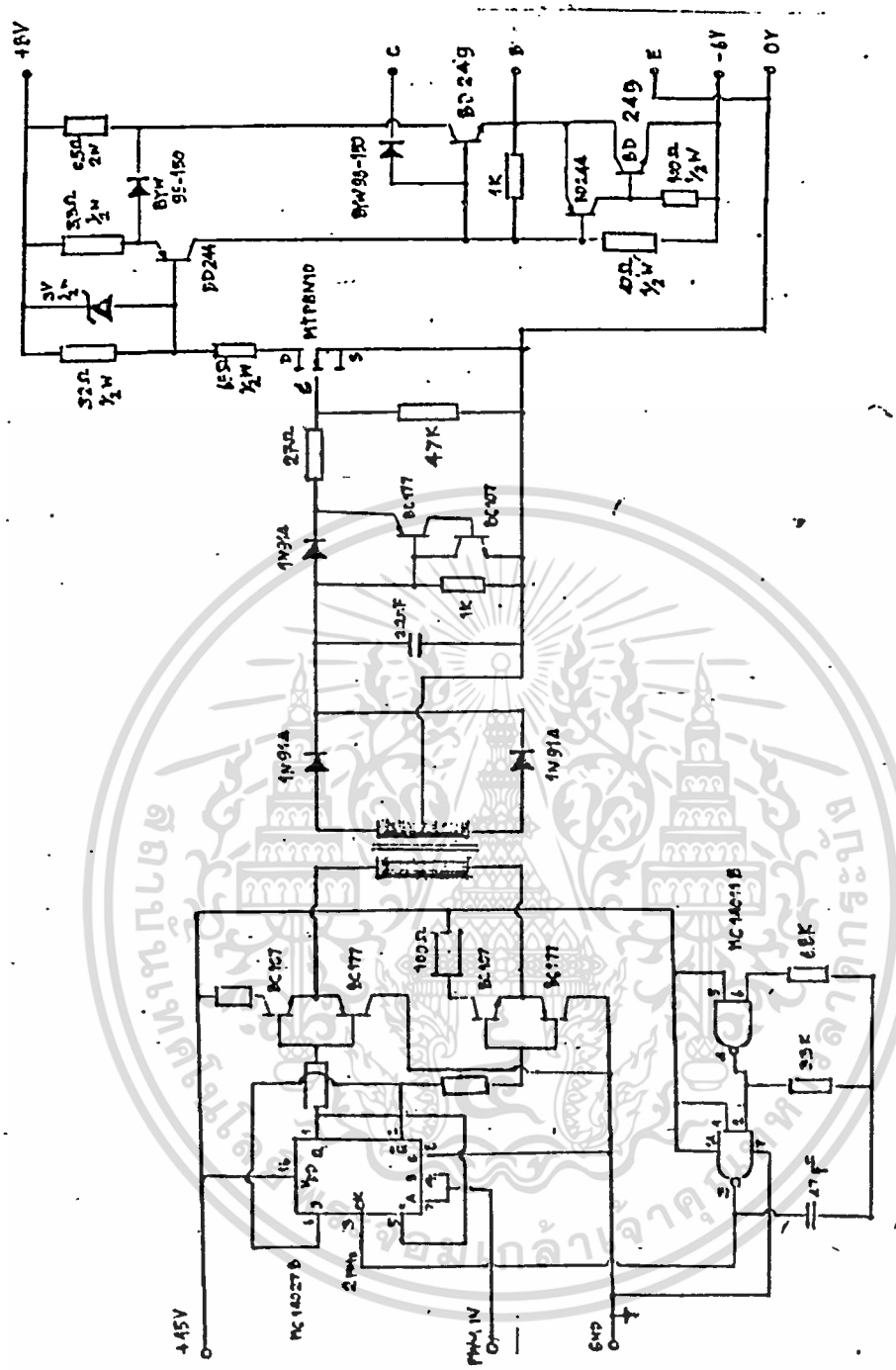
ต้องใช้สัญญาณควบคุมในการแยกสัญญาณเป็นชุดๆก่อน ซึ่งจะได้สัญญาณที่พร้อมจะนำไปเข้าวงจรขับเพื่อขยายกระแสอีกต่อหนึ่งดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10

3.2 วงจรขับเบส ก่อนที่จะนำเอาสัญญาณไปผ่านพัลส์ทรานฟอร์มเมอร์นั้น จะต้องทำให้สัญญาณมีกำลังขับสูงพอที่จะขับผ่านหม้อแปลงได้ ดังนั้นผู้ทำวิจัยจึงเลือกที่จะใช้ ดี-ฟลิปฟลอป (D-FLIP FLOP) มาใช้งาน โดยจะใช้ JK ฟลิปฟลอปมาต่อแทน โดยการทำงานจะขึ้นอยู่กับขาเซ็ท กับ รีเซ็ท ซึ่งจะถูกควบคุมโดยสัญญาณ PWM ในเวลา Tn ถ้าที่ S กับ R (เซ็ทกับรีเซ็ทตามลำดับ) มีสถานะเป็น 0 ทั้งคู่ จะทำให้สัญญาณที่ Q เปลี่ยนเป็น 0 ในเวลา Tn+1 และในทางตรงกันข้ามถ้าที่เวลา Tn,S กับ R เป็น 1 ทั้งคู่ Q จะเป็น 1 ในเวลา Tn+1 ซึ่งทั้ง Q กับ $\bar{Q}$ จะต่อกับวงจรแอมปลิฟาย จากนั้นก็นำเอาท์พุทไปผ่านหม้อแปลงพัลส์ที่มีอัตราส่วน 1:1 และจะนำสัญญาณที่ได้ออกมานั้นไปขับ MOS FET โดยจะ ON เมื่อ Vgs มากกว่าศูนย์ ซึ่งจากวงจรจะผ่านตัวแปรโวล์เตจ ถ้า MOS FET ON, BD244 ก็จะ ON ด้วย ทำให้มีกระแสไหลออกไปขับเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ และถ้า MOS FET ถูกไบอัส (BIAS) ด้วยศูนย์ ก็จะ OFF ซึ่งจะเป็นผลทำให้ BD244 ชุดล่าง ON ซึ่งจะเหมือนกับว่าโวลเตจที่ขาเบสมีศักดาเป็นลบ จึงไปช่วยทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ OFF เร็วขึ้น ซึ่งสัญญาณก็จะยังคงเดิมแต่สามารถขับกระแสได้สูง คือประมาณ 15 แอมแปร์ โดยมีความต้านทานขนาด 0.5 โอห์ม เป็นตัวจำกัดกระแส ซึ่งวงจรแสดงดังรูปที่ 3.11

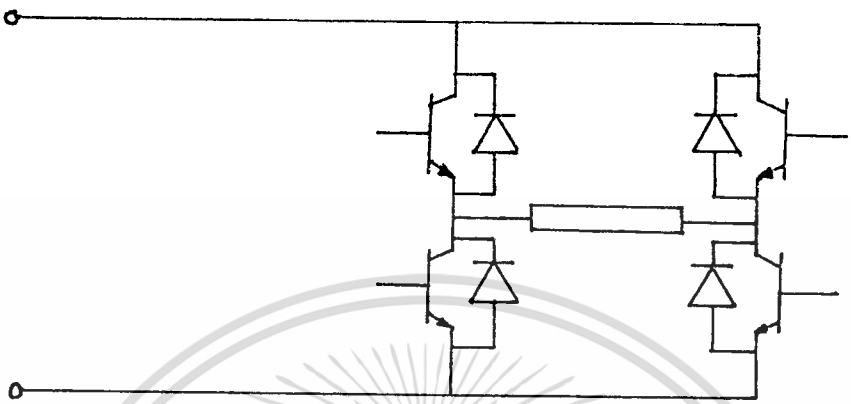
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11

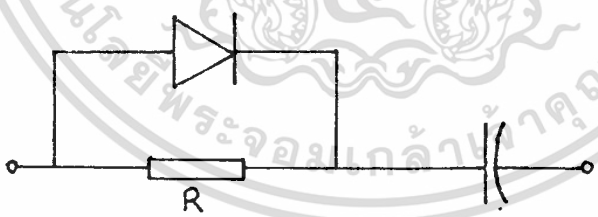
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรกำลัง ในวงจรกำลังจะเป็นลักษณะของวงจรทางเพาเวอร์ โดยจะมีเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์หลัก โดยจะต่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นแบบบริดจ์ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12

เพื่อยืดอายุการใช้งานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เราจะต้องป้องกันรอยต่อของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (JUNCTION) โดยการลดค่า dV/dT ที่เกิดจากการสวิท หรืออัตราการเพิ่มของโวลเตจไม่ให้มากจนรอยต่อพังได้ ซึ่งก็จะต้องการวงจรสนับเบอร์ (SNUBBER) ตามรูปที่ 3.13



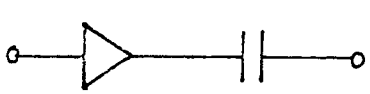
รูปที่ 3.13

ซึ่งหลักการทำงานของวงจรสนับเบอร์ก็คือ เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เกิดการสวิทจะทำให้มีค่า dV/dT (SWITCHING LOSS) ขึ้นมา การแก้ไขง่ายๆก็คือการเพิ่มเอาคาร์ปาซิเตอร์เข้าไปช่วยลด dV/dT เพราะจะเปลี่ยนเป็นรูปของ I เข้าไปชาร์จคาร์ปาซิเตอร์ ซึ่งก็คือการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

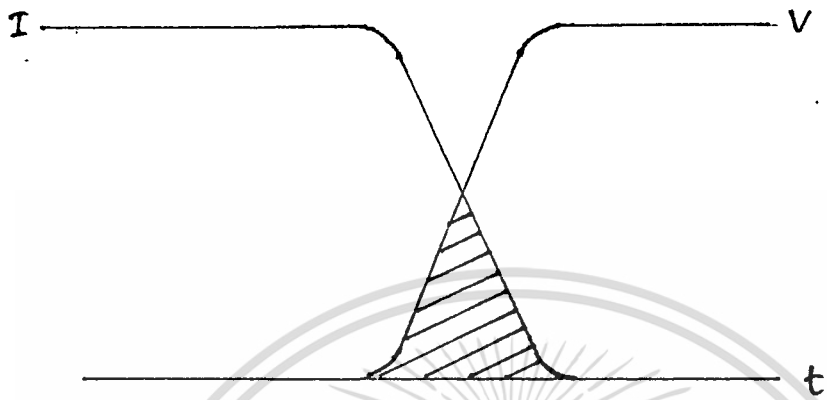
ช่วยลดค่า dV/dT นั่นเอง ทั้งนี้ก็จะรวมถึงการเกิดสไปค์ (SPIKE) ด้วย การประจุคาร์ปาซิเตอร์จะดำเนินไปอย่างต่อเนื่องในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังนำกระแส โดยการประจุผ่านไดโอดแพนการผ่านความต้านทาน เพื่อลดการสูญเสียที่จะเกิดจากความร้อนที่มาจากความต้านทาน และในกรณีที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแสนั้น จะเป็นผลทำให้คาร์ปาซิเตอร์คายประจุที่ได้เก็บเอาไว้ออกมาในรูปของฟังก์ชั่นเอ็คซ์โปเน็นเชี่ยล (EXPONENTIAL FUNCTION) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าเวลาคงที่ (TIME CONSTANT) ว่าจะออกแบบให้สอดคล้องกับการใช้งานอย่างไร นอกจากค่าความต้านทานจะเป็นตัวกำหนดค่าเวลาคงที่แล้ว ยังมีหน้าที่ช่วยจำกัดกระแสที่จะไหลผ่านคาร์ปาซิเตอร์อีกด้วย โดยค่าคาร์ปาซิเตอร์และค่าความต้านทานจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่เลี้ยงวงจร และขนาดของสไปค์หรือ dV/dT อีกด้วย โดยทั่วไปแล้วจะทำการคำนวณทางทฤษฎีเพื่อหาแนวทางการเลือกใช้ที่เหมาะสมต่อไปดังนี้

3.3.1 การออกแบบวงจรสนับเบอร์ จากเดิมเรารู้แล้วว่าเมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแส ตัวเก็บประจุ C จะทำการชาร์จประจุโดยผ่านไดโอด D1 ตามรูปที่ 3.14 โดยค่าแรงดันที่ทำการชาร์จ คือ Vcc - Vd เมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแส ตัวเก็บประจุก็จะถ่ายเทประจุออกมาโดยผ่านตัวต้านทาน ดังนั้นสนับเบอร์จะทำหน้าที่คอยรับพลังงานช่วงที่เกิดการสวิท เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของทรานซิสเตอร์ โดยการออกแบบจะต้องคำนึงถึงพลังงานในช่วงเวลาหยุดนำกระแสตามรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15

ซึ่งพื้นที่แรงเงาจะเป็นพลังงานในกรณีที่เป็นโหลดของตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งพลังงาน คือ

$$E = \frac{1}{2} CV_{ce}^{2} = \frac{I_c V_{ce} (T_r + T_f)}{2}$$

โดยที่ Ic = ค่ากระแสคอลเลคเตอร์สูงสุด

Vce = ค่าแรงดันของขาคอลเลคเตอร์และอิมิเตอร์สูงสุด

Tf = ค่าฟอลล์ไทม์ (FALL TIME) ของทรานซิสเตอร์

Tr = ค่าไรซ์ไทม์ (RISE TIME) ของทรานซิสเตอร์

จากสมการข้างบนจะได้ค่าของตัวเก็บประจุที่ต้องการใช้

$$C = I_c (T_r + T_f) / V_{ce}$$

ซึ่งตัวเก็บประจุนี้จะทำการชาร์จประจุในช่วงหยุดนำกระแส และคายประจุผ่านตัวต้านทานในช่วงที่ทรานซิสเตอร์นำกระแส ซึ่งค่าแรงดันที่คร่อมตัวเก็บประจุสามารถแสดงโดยสมการ

$$V_c = V_{ce} \exp -(T_{on} / RC)$$

ดังนั้น เพื่อจะให้แน่ใจว่าตัวเก็บประจุจะทำการประจุในช่วงเวลาหยุดนำกระแสได้หมดนั้น เราจึงต้องเลือกค่า Rc เพื่อจะทำให้ค่า exp-(Ton/Rc) เท่ากับ 1 และในขณะเดียวกัน เราก็จะต้องเลือกค่า Rc เพื่อที่จะคายประจุให้หมดในช่วงเวลานำกระแสของทรานซิสเตอร์ และจากวงจรพื้นฐาน เรารู้ว่าจะต้องใช้เวลาประมาณ 5 เท่าของค่าคงที่เวลา (time constant,5T) สำหรับตัวเก็บประจุที่จะคายประจุให้หมดโดยผ่านตัวต้านทาน แต่ในที่นี้จะคิดแค่ 3 เท่าของค่าเวลาคงที่ ดังนั้นก็จะหาค่าตัวต้านทานได้โดยที่

$$R = Ton/3C$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า R ที่คำนวณได้นี้จะต้องนำไปตรวจสอบกับค่ากระแสดิสชาร์จ โดยผ่านทรานซิสเตอร์ใน

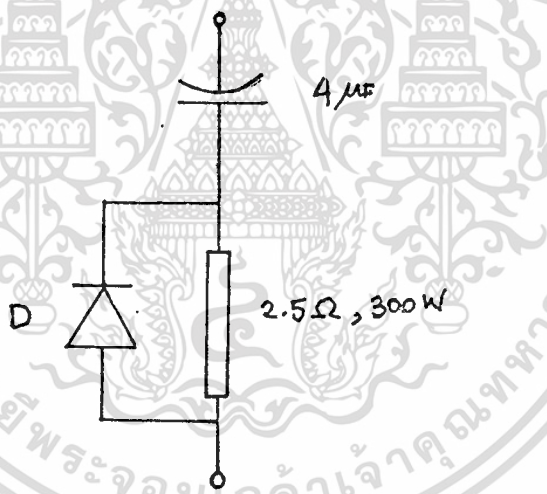
ช่วงเวลาการนำกระแส โดย

$$Idis = Vce/R$$

ถ้าค่าความต้านทานต่ำมากจนกระแสดิสชาร์จมากกว่า 25% ของกระแสคอลเลคเตอร์ เราจะต้องใช้ตัวต้านทานตัวใหม่ ที่ทำให้กระแสดิสชาร์จมีค่า 25% ของกระแสคอลเลคเตอร์ ขั้นตอนสุดท้าย คือการหากำลังที่ตัวต้านทานจะทนได้

$$Pr = \tfrac{1}{2} CV_{ce}^2 f$$

จากวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ทำการทดลอง จะให้ Vce = 48V, Ic =75A และถ้าเลือกไรซ์ไทม์และฟอลล์ไทม์ของทรานซิสเตอร์มีค่า 0.5 ไมโครวินาที และ 0.2 ไมโครวินาที ตามลำดับ จะได้ค่าตัวเก็บประจุมีค่าประมาณ 4 ไมโครฟาหรัด และค่าความต้านทานประมาณ 2.5 โอห์ม 300 วัตต์ และไดโอดขนาดกระแส 30A ต่อกัน ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16

3.4 <u>วงจรกรองความถี่</u> เนื่องจากอุปกรณ์ทางอิเลคทรอนิคส์ที่เกิดการสวิทอย่างมากมายนั้นเป็นต้นเหตุของการเกิดฮาโมนิคส์ออกมารบกวนระบบไฟฟ้าที่อุปกรณ์สวิทนั้นต่ออยู่ด้วยซึ่งจะสามารถวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติ (FUNDAMENTAL FREQUENCY) และความถี่ฮาโมนิคส์ออกมาได้โดยใช้การวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า การแตกฟูเรียร์ ซึ่งคลื่นที่มีลักษณะไม่เป็นซายน์นั้น จะประกอบไปด้วยฮาโมนิคส์อย่างมากมาย คือ

$$V = V_0 + V_1 \sin(\omega t + \phi_1) + V_2 \sin(\omega t + \phi_2) + \ldots V_n \sin(\omega t + \phi_n)$$

โดยที่ V เป็นค่าที่เวลาต่างๆ

V_0 เป็นค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_1 เป็นแอมปลิจูดที่มีค่ามากที่สุดของความถี่ธรรมชาติ

V_2 เป็นแอมปลิจูดที่มีค่ามากที่สุดของความถี่ฮาโมนิคส์อันดับที่ 2

V_3 เป็นแอมปลิจูดที่มีค่ามากที่สุดของความถี่ฮาโมนิคส์อันดับที่ 3

V_n เป็นแอมปลิจูดที่มีค่ามากที่สุดของความถี่ฮาโมนิคส์อันดับที่ n

$\omega = 2\pi f$; f เป็นความถี่ธรรมชาติ

ซึ่งลักษณะการวิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติ และ ฮาโมนิคส์นั้น จะต้องวิเคราะห์จากฟังก์ชั่นของคลื่นที่เวลาต่างๆ โดยที่ลักษณะการวิเคราะห์จะวิเคราะห์ตามฟังก์ชั่น

$$\Psi = f(x) = A + a_1 \sin x + a_2 \sin 2x + \ldots + B + b_1 \cos x + b_2 \cos 2x + \ldots$$

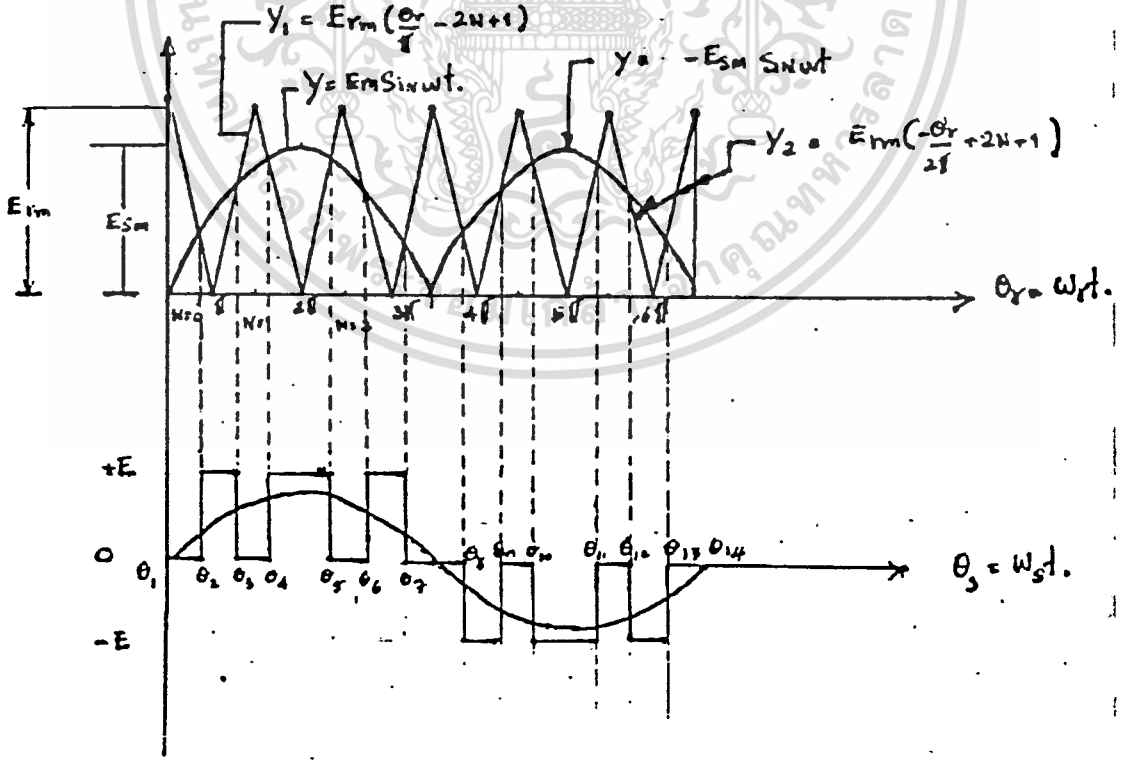
ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นที่ใช้ฟูเรียร์วิเคราะห์มาจากฟังก์ชั่น F(x) แล้วค่าต่างๆก็จะใช้วิธีวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$A = 1/2\pi \int_0^{2\pi} f(x)\, dx$$

$$a_n = 1/\pi \int_0^{2\pi} f(x) \sin x\, dx$$

$$b_n = 1/\pi \int_0^{2\pi} f(x) \cos x\, dx$$

$$\phi_n = \arctan (b_n/a_n)$$

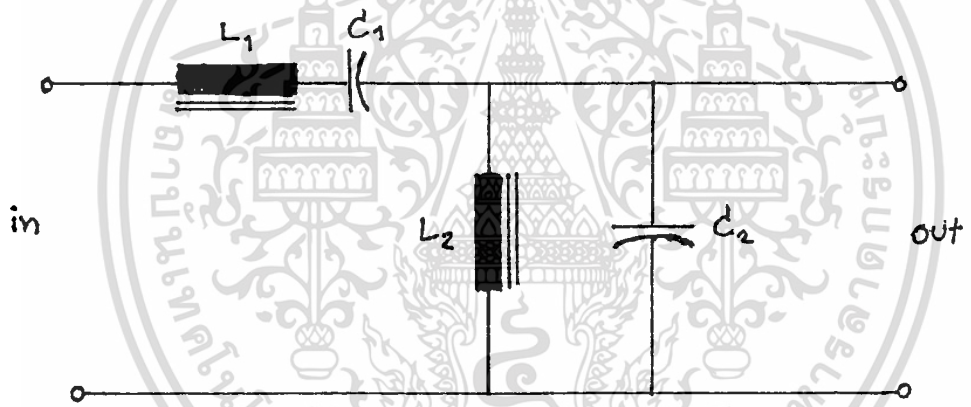


รูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ว่าจะเป็นกระแสตรงก็ตาม ก็สามารถเกิดฮาโมนิคส์ออกมาได้ เช่น การใช้วงจรเรคติฟายที่มีจำนวนพัลส์น้อย ก็จะให้ฮาโมนิคส์ที่อันดับต่ำ และมีขนาดแอมปลิจูดสูงออกมามากกว่าวงจรที่มีพัลส์มากกว่า นอกจากนี้การสวิทจะส่งผลกลับไปหาแหล่งจ่ายไฟด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ที่มีการสวิทก็จะเป็นแหล่งกำเนิดฮาโมนิคส์เข้าสู่ระบบไฟฟ้าอีกอย่างหนึ่ง แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะแต่ฮาโมนิคส์ที่เกิดจากการสวิทเท่านั้น

ไม่ว่าเอาท์พุทของวงจรอินเวอร์ตเตอร์ที่ใช้การควบคุมทั้งชนิด ควอซี่ สแควร์, PWM หรือแบบ สเต็ปก็ตาม จะมีฮาโมนิคส์ออกมาด้วยทั้งนั้น ขึ้นอยู่กับว่าชนิดไหนจะให้ฮาโมนิคส์อันดับต่ำออกมามากกว่ากัน เพราะฮาโมนิคส์อันดับต่ำจะมีผลต่อความถี่ธรรมชาติมากกว่าฮาโมนิคส์อันอับสูง ซึ่งวิธีกำจัดออกไปทำได้โดยการผ่านวงจรกรองความถี่ (FILTER) ซึ่งจะมีทั้งขนาน และอนุกรม ตามรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18

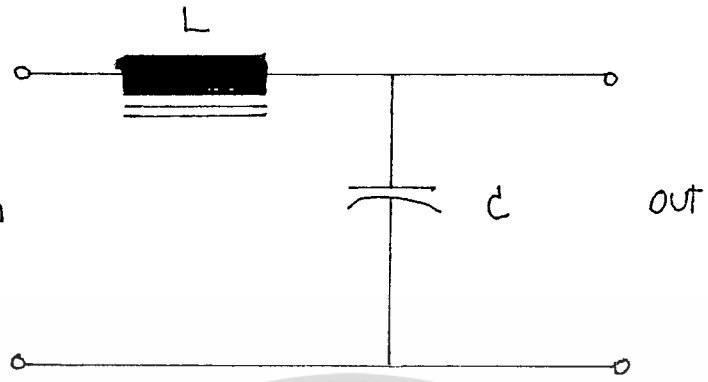
โดยที่วงจรขนานจะใช้พิจารณากระแสฮาโมนิคส์ และวงจรอนุกรมจะใช้วิเคราะห์แรงดันฮาโมนิคส์ที่เกิดขึ้น ซึ่งการลดค่าฮาโมนิคส์จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนค่าอิมพิแดนซ์ของโหลด กับค่าอิมพิแดนซ์ของวงจรขนาน นั่นคือ

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{z_o}{z_1+z_o}$$

$$z_o = \frac{z_2 z_L}{z_2+z_L}$$

ซึ่งวงจรกรองความถี่ที่ง่ายที่สุดก็คือ วงจรกรองความถี่สูง (LOW PASS FILTER) ซึ่งวงจรกรองความถี่แบบโลว์พาสนี้จะประกอบด้วยอุปกรณ์เพียงสองชิ้นดังรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

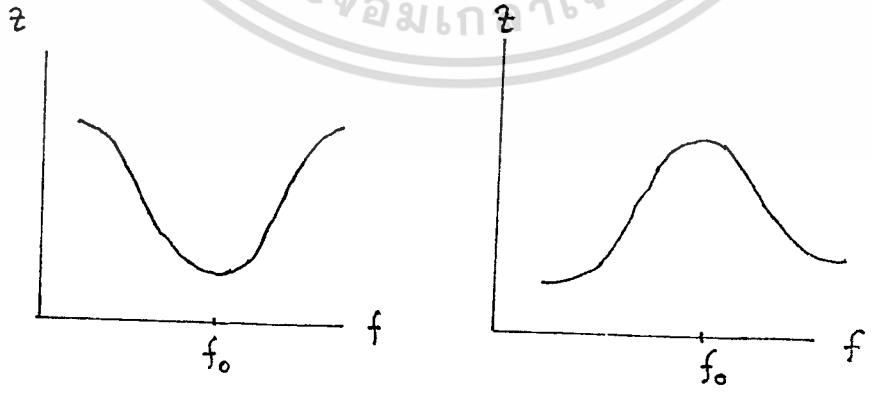


รูปที่ 3.19

ซึ่งการคำนวณจะเป็นแนวทางในการเลือกแบบลองผิดลองถูก

จากรูปที่ 3.19 ค่าอินดัคแตนซ์จะมีสภาพเป็นลัดวงจรที่ความถี่ธรรมชาติ และจะค่อยๆ เพิ่มค่าขึ้นเรื่อยๆเมื่อความถี่ฮาโมนิคส์อันดับสูงขึ้น และเช่นเดียวกันกับคาร์ปาซิแตนซ์ซึ่งจะเป็นอนันต์เมื่อเป็นความถี่ธรรมชาติ และจะเหมือนลัดวงจรเมื่อมีฮาโมนิคส์เข้ามา

3.4.1 การออกแบบวงจรกรองความถี่ จากการเกิดเรโซแนนซ์ ของวงจร LC จะอาศัยความได้เปรียบของค่าอิมพิแดนซ์ขณะที่เกิดกำทอน (RESONANCE) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.20



ก) ข)

รูปที่ 3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.20 ก) ถ้า S=jw จะได้ว่า $V(s)=(SL+1/SC)I(s)$

$$Z(s)=SL+1/SC \qquad \text{------(1)}$$

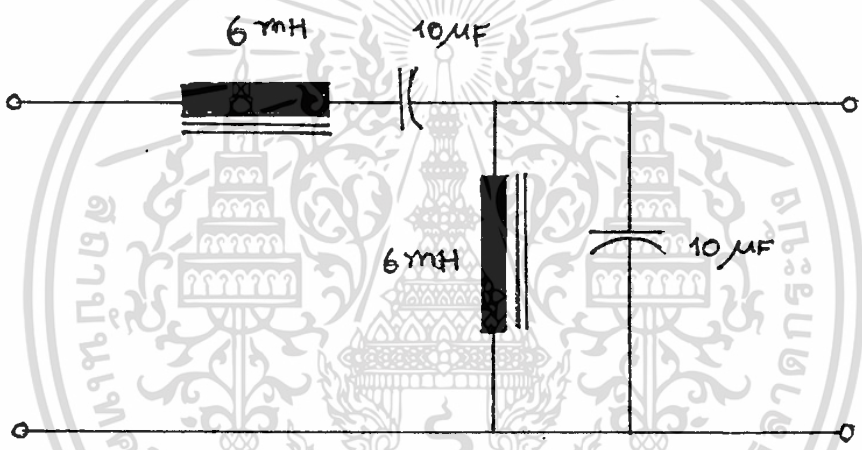
จากสมการที่ (1) ที่ความถี่ w_o จะให้ค่าอิมพิแดนซ์ที่ต่ำที่สุด โดยที่

$$w_o = 1/\sqrt{LC}$$

และจากรูปที่ 3.20 (ข) $V\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{SL}+SC\right) = I$

$$\therefore \quad Z(s) = 1/\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{SL}+SC\right)$$

เช่นเดียวกันคือที่ w_o ค่าอิมพิแดนซ์จะสูงที่สุด โดยที่ $w_o = 1/\sqrt{LC}$ ด้วย จากความเหมาะสมของวงจรทั้งสองนั้น จึงได้กำหนดรวมกันเพื่อจะให้ประโยชน์สูงสุด โดยจะต่อกัน ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21

โดยที่ L1C1 จะมีค่าอิมพิแดนซ์น้อยมากที่ความถี่ธรรมชาติ และ L2C2 จะมีค่าอิมพิแดนซ์สูงมากที่ความถี่ธรรมชาติ และผลของทั้งสองตัวนี้จะกลับกันที่ความถี่อื่นๆ ดังนั้นในโครงงานนี้ต้องการให้เกิดกำทอนที่ความถี่ 700 เฮิทซ์ ดังนั้น ค่าตัวเก็บประจุ C1 และ C2 มีค่าเท่ากับ 10 ไมโครฟาหรัด ส่วน L1 และ L2 มีค่า 6 มิลลิเฮนรี่ ทั้งหมดต่อกันดังรูปที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 เรติฟายเออร์
retifier

วงจรเรติฟายเออร์ นั้นจะมีหน้าที่หลักในการทำงานก็คือ การเปลี่ยนจากไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง ถึงแม้ค่าจะไม่อยู่ในรูปที่เป็นค่าคงที่โดยสิ้นเชิงนั้น แต่เราก็จะสามารถหาค่าเฉลี่ยของคลื่นได้ว่ามีค่าเท่าไร ซึ่งค่าเฉลี่ยนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าระดับแรงดันกระแสตรงนั้นมีค่าเป็นเท่าไร

สำหรับใน U.P.S. นี้ ส่วนที่เป็น เรติฟายเออร์นั้นจะมีหน้าที่อยู่ 2 อย่างคือ

1) จ่ายไฟกระแสตรงให้กับอินเวทเตอร์ด้วยค่าเอาท์พุตออกมาค่อนข้างคงที่ในกรณีที่โหลดมาก

2) จ่ายไฟกระแสตรงให้กับแบตเตอรี่ เพื่อใช้ในการประจุแบตเตอรี่เอาไว้ใช้ในกรณีฉุกเฉินที่เกิดไฟดับขึ้นมา โดยต้องการความถูกต้องมากเพราะในกรณีที่ประจุแบตเตอรี่ด้วยแรงดันเกินกว่าที่กำหนดจะเป็นผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงได้

โดยลักษณะของเรติฟายนั้นสามารถจัดเป็นรูปแบบต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 แต่ในบทนี้จะเน้นถึงหลักการและวิธีการออกแบบวงจรควบคุมสำหรับวงจรเรติฟาย์

ลักษณะของเรติฟาย์เออร์

เราสามารถแบ่งลักษณะวงจรทางกำลังของเรติฟาย์ที่ใช้กับทั้งไฟกระแสสลับชนิด 1 เฟส และ 3 เฟส แต่ในที่นี้จะกล่างถึงแต่เฉพาะที่ใช้กับไฟ 1 เฟส เท่านั้น คือสามารถแบ่งออกได้คือ

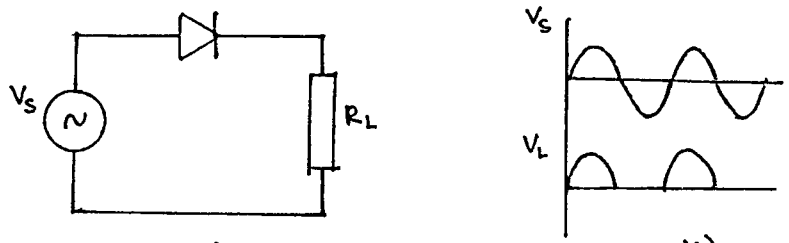
1) เรติฟายเออร์แบบครึ่งคลื่น (half-wave retifier)
2) เรติฟายเออร์แบบ 2 เฟส (Biphase retifier)
3) เรติฟายเออร์แบบเต็มคลื่น (full-wave retifier)
4) สวิทชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย (switching power supply)

ซึ่งลักษณะต่างเฉพาะตัวของเรติฟายเออร์แต่ละแบบก็มีดังนี้

1) เรติฟายเออร์แบบครึ่งคลื่น (half-wave ratifier) นั้นจะมีลักษณะวงจรที่ยังสามารถแบ่งออกเป็น แบบควบคุมแรงดันได้ และแบบควบคุมแรงดันไม่ได้ ซึ่งลักษณะการใช้อุปกรณ์ทางอิเลกทรอนิคกำลังจะต่างกันคือ ในกรณีที่เป็นแบบควบคุมแรงดันไม่ได้จะใช้ ไดโอดเป็นตัวสวิท ส่วนแบบที่ควบคุมระดับแรงดันได้นั้นจะใช้ SCRเป็นอุปกรณ์สวิทแทนไดโอด ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1) เรติฟายเออร์แบบครึ่งคลื่นที่ไม่สามารถควบคุมระดับแรงดันได้

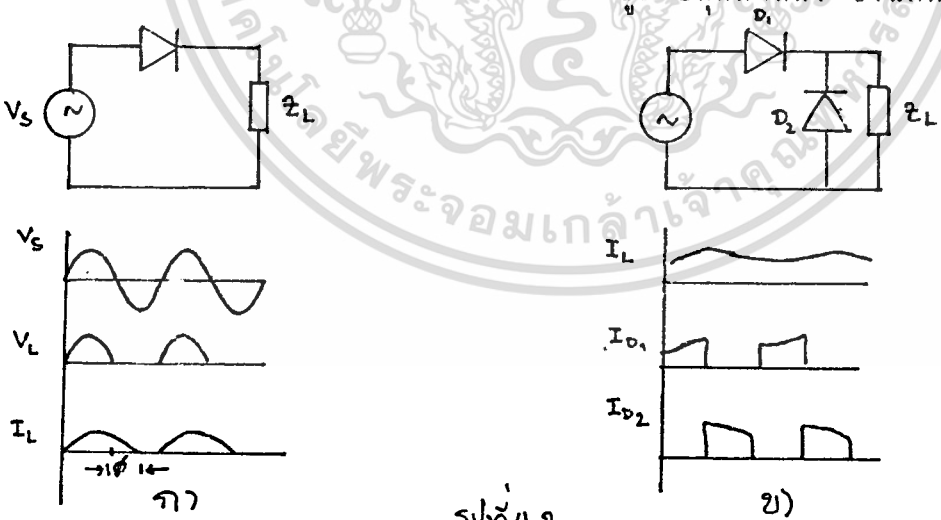


ก) ข)

รูปที่ 4.1

จากรูปที่ 4.1ก จะเป็นลักษณะของวงจรกำลังที่ใช้ได้โดยลักษณะของแรงดันที่คร่อมโหลด (Z_L) และแรงดันที่จ่ายเข้ามา (Supply voltage) ได้ดังรูปที่ 4.1ข ซึ่งลักษณะการทำงานอธิบายได้ดังนี้คือ ในครึ่งไซเคิลแรกนั้นจะเหมือนกับให้แรงดันไปข้างหน้า (forward bias) กับไดโอดจึงเป็นผลทำให้ไดโอดนำกระแสขึ้นมา และถ้าโหลดที่ต่อเป็นลักษณะของความต้านทานแล้วจะทำให้คลื่นของแรงดันคร่อมโหลดและแรงดันแหล่งจ่ายจะมีมุมเดียวกัน (inphase) แต่เมื่อถึงช่วงไซเคิลหลังแล้วนั้นลักษณะของแรงดันเริ่มกลับทิศ ดังนั้นเป็นผลทำให้แรงดันที่จุด A มีค่ามากกว่าแรงดันที่จุด B ซึ่งก็คือผลกลับกันกับในตอนแรก ซึ่งก็คือการป้อนให้ไบอัสย้อนกลับ (reverse bias) ซึ่งจะเป็นผลทำให้ไดโอดนั้นหยุดนำกระแสโดยอัตโนมัติ ด้วยเหตุนี้ค่าแรงดันที่คร่อมโหลดจึงมีค่าเป็น 0 ก็เพราะว่าไม่มีกระแสไหลผ่านโหลดนั่นเอง

แต่ถ้าในลักษณะของโหลดที่เป็น RL โหลด คือโหลดจะมีการหน่วงเวลาเอาไว้ซึ่งเป็นผลทำให้กระแสตามหลังแรงดันอยู่ด้วยมุมค่าหนึ่ง ซึ่งแสดงดังรูป 4.2



ก) ข)

รูปที่ 4.2

จากรูปก็จะสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ รูปที่ 4.2ก นั้นจะเห็นได้ว่าค่าที่เกิดจาก Ldi/dt นั้นมีผลทำให้กระแสล้าหลัง ศักย์ไฟฟ้าอยู่เป็นมุม ๆ หนึ่ง (θ) ในขณะที่ไดโอดนำกระแสก็ไม่มีปัญหาอะไรแต่ในขณะที่ไดโอดถูกป้อนไบอัสกลับทางแล้วนั้นจะเป็นผลทำให้ไดโอดนั้นหยุดนำกระแส แต่ในเวลานั้นกระแสยังคงไหลต่ออยู่เนื่องจากอิทธิพลของตัวเหนี่ยวนำ ในกรณีนี้จะเป็นผลทำให้เกิดค่าความหนาแน่นของกระแสที่บริเวณจุดต่อ (junction) สูงจนอาจทำให้เกิดมีอันตรายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาได้ ด้วยเหตุนี้เองจึงได้มีการนำเอาไดโอดอีก1ตัวมาช่วยนำกระแสในกรณีที่กระแสยังไม่เป็น 0 ที่ศักย์ดาไฟฟ้าเป็น 0 ไปแล้ว โดยเรียกไดโอดตัวนี้ว่า คอมมิวเตคติ้ง ไดโอด (commutating diode) หน้าที่ของไดโอดตัวนี้ก็คือจะเป็นตัวปล่อยให้กระแสผ่านตัวมันเองได้ ในขณะที่ไดโอดตัวหลักหยุดทำงานแล้ว ซึ่งแสดงไดอะแกรมของเวลาเอาไว้ดังรูป 4.2)ข แล้ว และค่าแรงดันกระแสตรงที่จะเกิดจากการเฉลี่ยแรงดันใน 1 คาบเวลาดังนี้

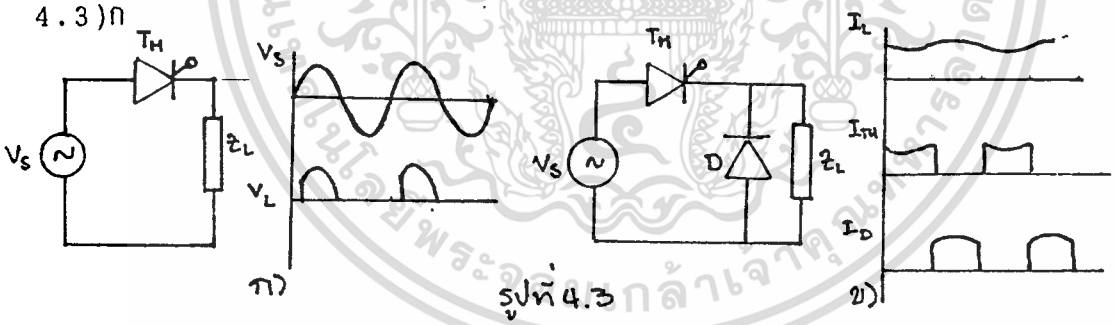
$$V_{mean} = \frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} f(t)\,dt$$

$$= \frac{1}{2\pi}\int_{0}^{\pi} V_m \sin\theta\, d\theta$$

$$V_{mean} = \frac{V_M}{2\pi}$$

$$V_{mean} = \frac{1}{2\pi}\int_{0}^{\beta} \sin\theta\, d\theta. \qquad ;\text{ในกรณีที่มีการหน่วงเวลา}$$

1.2) เรติฟายเออร์แบบครึ่งคลื่นที่สามารถควบคุมแรงดันได้ จากรูปที่ 4.3 จะแสดงการใช้อุปกรณ์ SCR เป็นอิเลคทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในการสวิท ซึ่งข้อดีของSCR (Silicon controlled retifier) นั้นก็คือ สามารถจะปรับแรงดันเอาท์พุทได้โดยการปรับค่าเวลาแห่งการทริกดังที่แสดงไว้ดังรูปที่ 4.3)ก



รูปที่ 4.3

จากคุณสมบัติของ SCR คือจะไม่นำกระแสจนกว่าจะมีกระแสทริกมาที่ขาเกทของ SCR ดังนั้นในการที่จะควบคุมระดับแรงดันได้นั้นจะต้องออกแบบวงจรที่สามารถปรับมุมของการทริกSCRให้นำกระแสได้ตามใจนึก และ SCRจะหยุดนำกระแสด้วยเหตุหลายประการด้วยกัน แต่ในที่นี้จะนำกระแสอยู่จนกระทั่งกระแสผ่านโหลเป็น 0 ทำให้SCRหยุดนำกระแส โดยที่ลักษณะการควบคุมระดับแรงดันอย่างนี้เขาเรียกว่า การควบแรงดันโดยควบคุมมุม (phase control retifier) และลักษณะต่าง ๆ จะเหมือนกับวงจรที่ใช้ไดโอดทุกประการทั้งในกรณีที่โหลดมีลักษณะเป็น อินดักทีฟโหลด หรือ โหลดที่มีค่าความเป็นอินดักแตนท์อยู่บ้าง ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.3)ข นั้นจะเห็นว่าแรงดันที่คร่อมโหลดนั้นจะมีช่วงตั้งแต่ จนถึง นั้นจะจะมีศักย์ดาไฟฟ้ากลับทิศได้ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ไทริสเตอร์ยังไม่หยุดนำกระแสเรื่อยไปจนถึงเวลาที่ กระแสหยุดไหลจึงทำให้ไทริสเตอร์นั้นหยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงที่เกิดศักย์ดาเป็นลบโดยกระแสในช่วงนั้นจะไหลผ่านไดโอดแทนที่จะผ่านไทริสเตอร์จึงเป็นผลทำให้ศักย์ดาที่เอาท์พุตไม่มีส่วนที่เป็นลบ ซึ่งลักษณะการคิดหาค่าแรงดันเฉลี่ยนั้นก็เหมือนกันคือ

$$V_{mean} = \frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} f(t)\,dt$$

$$= \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta} \sin\theta\, d\theta$$

$$= \frac{V_m}{2\pi}(\cos\alpha - \cos\beta)$$

ในกรณีที่ใช้คอมพิวเตติ้งไดโอดนั้นค่า $\beta = \pi$ ซึ่งก็จะได้

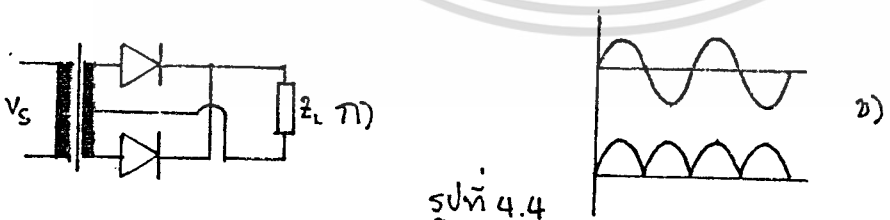
$$V_{mean} = \frac{V_m}{2\pi}(1 + \cos\alpha)$$

จากสมการบนนี้จะเห็นว่าค่าศักย์ดาไฟฟ้าเฉลี่ยจะมีค่าเปลี่ยนไปเมื่อมุมแห่งการทริกเปลี่ยน (เปลี่ยน) ดังนั้นเราจึงสามารถนำไปเป็นตัวปรับแรงดันกระแสตรงได้

2) เรติฟายเออร์แบบ 2 เฟส (biphase retifier)

ลักษณะของวงจรแบบนี้จะต้องการหม้อแปลงแบบที่ 2 ขดประกอบเป็น ขดตัวแรงดันต่ำซึ่งก็คือแบบ เซนต์เตอร์แทปนั้นเอง เช่นเดียวกับแบบที่แล้วซึ่งยังสามารถเป็นแบบที่ควบคุมได้กับแบบที่ควบคุมไม่ได้ ก็โดยการใช้อุปกรณ์ในการสวิทที่คล้ายคลึงกัน ดังนี้

2.1) เรติฟายเออร์แบบ 2 เฟสที่ควบคุมไม่ได้ จะใช้ไดโอดเป็นอุปกรณ์หลักในการสวิท ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4

ตามรูปที่ 4.4)ก จะเป็นลักษณะของวงจรกำลัง เหตุที่เรียกเป็น ไบเฟส (biphase) นั้นก็จะเป็นเพราะว่า แรงดันไฟฟ้าหนึ่งจะล้าหลังแรงดันไฟฟ้าอีกอันหนึ่งอยู่ 180° ดังที่รูปคลื่นแสดงอยู่ในรูปที่ 4.4)ข ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ เมื่อแรงดันมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนจะสามารถทำไดโอดอยู่ในสถานะนำกระแสได้นั้นจะมีการทำงานสลับกันคือ D_1 จะทำงานสลับกับ D_2 และเอาพุทออกมาจะเป็นรูปแบบฟูลเวฟเรติฟายเออร์ (full-wave retifier) เช่นเดียวกับการใช้บริจด์ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดกระแสไหลผ่านไดโอดจะสลับกัน ดังนั้นในกรณีนี้ลักษณะ

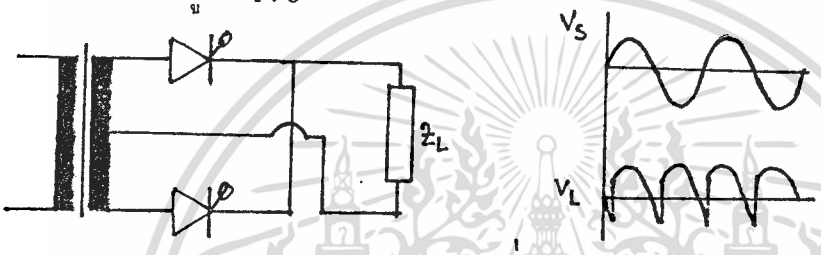
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคอมพิเตติ้งไดโอดจึงไม่จำเป็นต้องใช้เพราะทั้ง 2 ตัวก็ต่างทำหน้าที่เหมือนคอมมิวเตติ้งไดโอด ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องเพิ่มเข้าไป โดยที่จะใช้แรงดันเฉลี่ย คือ

$$V_{mean} = \frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} f(t)\,dt$$

$$= \frac{1}{\pi}\int_{0}^{\pi} V_m \sin\theta\, d\theta = \frac{2V_m}{\pi}$$

2.2) เรติฟายเออร์แบบ 2 เฟสที่สามารถควบคุมระดับศักดาไฟฟ้าออกให้ได้ค่าตามที่เราต้องการโดยลักษณะของวงจรและไดอะแกรมเวลา ต่าง ๆ ก็จะแสดงเอาไว้ในรูป 4.5



รูปที่ 4.5

จากรูป ถ้าควบคุมให้มุมทริกมีค่า $=\alpha$ แล้วนั้นลักษณะของแรงดันที่คร่อมโหลดหรือลักษณะที่เกิดขึ้น รวมไปจนถึงค่า แรงดันกลับทางสูงสุด (Peak reverse voltage) ก็จะสามารถดูได้จากชาจ์ ดังนั้นลักษณะชาจ์นั้นจึงมีประโยชน์ในการออกแบบด้วย และการหาค่าแรงดันเฉลี่ยของวงจรเรติฟายเออร์แบบนี้ก็คือ

$$V_{mean} = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin\theta\, d\theta$$

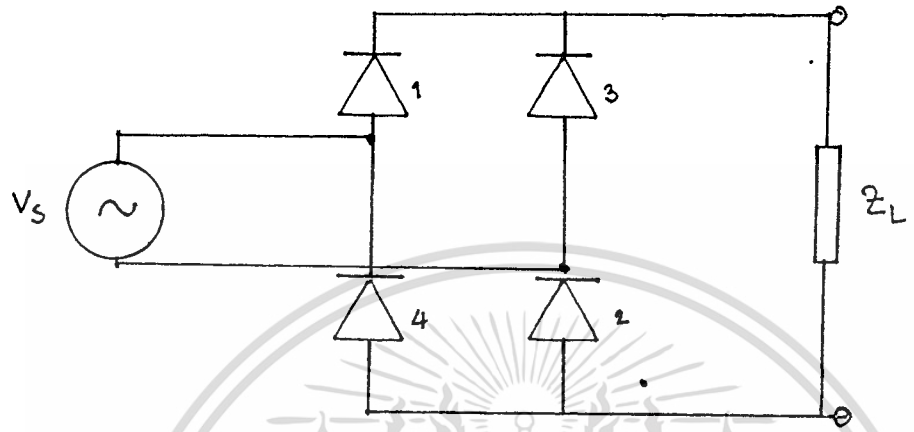
$$= \frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha$$

ในวงจรนี้จะเห็นว่าสามารถปรับค่าแรงดันเอาท์พุตให้เป็นลบได้โดยการให้มุมทริกที่มากกว่า 180° ก็จะได้แหล่งจ่ายไฟลบ

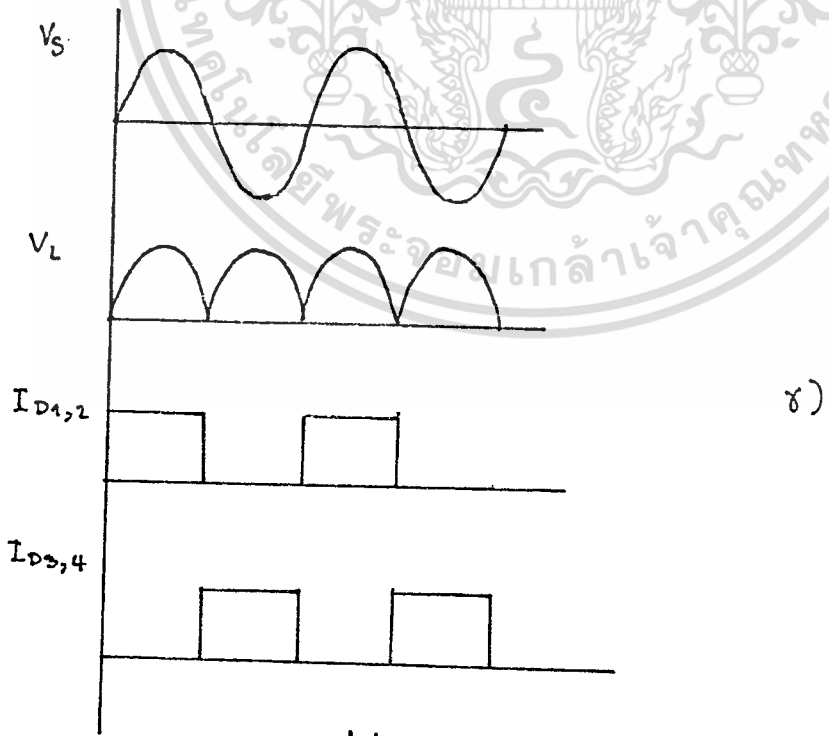
3) เรติฟายเออร์แบบเต็มคลื่นที่เป็นบริจด์ (full-wave bridge retifier) ในที่นี้เรติฟายเออร์แบบนี้จะเน้นไปด้าน บริจด์ เรติฟายเออร์ เพราะเป็นแบบที่สามารถยืดหยุ่นต่อสภาพการใช้งานได้ คือ

3.1) แบบที่ไม่สามารถควบคุมได้ (uncontrolled) ในเรติฟายเออร์แบบนี้จะใช้ไดโอดเป็นอุปกรณ์หลักในการสวิทโดยแสดงไว้ดังรูปที่ 4.6 และลักษณะการทำงานของมันก็จะศักย์ดาไฟฟ้าที่จุด A, B, C และ D เป็นหลักให้การให้ไบอัสไปข้างหน้าหรือให้ไบอัสกลับทาง โดยศักย์ดาไฟฟ้าที่จุด A ลบด้วยศักย์ดาไฟฟ้าที่จุด B ก็จะเป็นแรงดันตกคร่อมโหลดโดยที่จุด A และ B นั้นจะเป็นรูปเต็มคลื่นแต่ทั้ง 2 จะต่างกันอยู่ 180° และในแบบไม่สามารถควบคุมระดับแรงดันได้นี้จะไม่มีช่วงคลื่นช่วงไหนเป็นลบเลยส่วนลักษณะการไหลของกระแสก็จะแสดงตามรูป 4.6)ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)

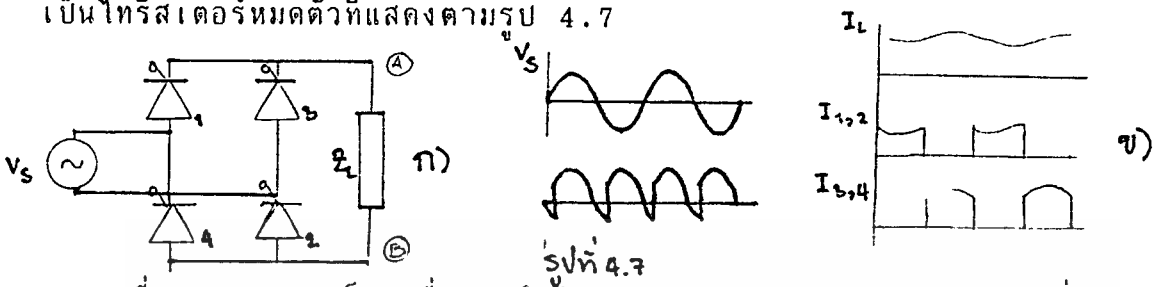


ข)

รูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2) แบบที่สามารถควบคุมได้ แบบนี้ก็จะใช้ไทริสเตอร์เป็นตัวควบคุมการสวิทโดยเช่นสัญญาณทริกเข้าที่ขาเกทดั่งเช่นตัวอื่น ๆ โดยอุปกรณ์ทั้ง 4ตัวจะเป็นไทริสเตอร์หมดตัวที่แสดงตามรูป 4.7



รูปที่ 4.7

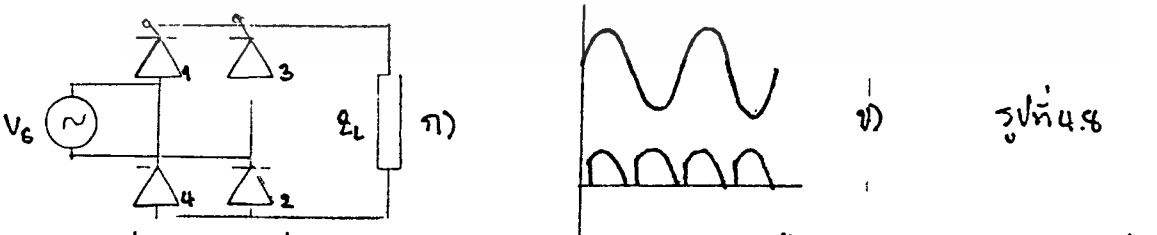
จากรูปที่ 4.7)ข จะเป็นรูปที่แสดงถึงลักษณะของสัญญาณแรงดันและกระแสที่เวลาต่าง ๆ กันโดยมีมุมทริกเท่ากับ จากลักษณะของไทริสเตอร์ก็จะทำตัวเหมือนกับในกรณีของแบบ 2 เฟสคือในช่วงที่ผ่าน มานั้นเนื่องจากโหลดเป็นลักษณะของอินดักทิฟโหลดทำให้ยังมีกระแสไหลอยู่ในขณะที่แรงดันเริ่มกลับทิศแล้วด้วยเหตุผลนี้แรงดันแรงดันที่คร่อมโหลด ซึ่งเป็นผลมาจากศักย์ดาไฟฟ้าที่จุดBจึงมีส่วนที่เป็นลบแฝงเข้ามาด้วย และการหาระดับแรงดันกระแสตรงได้ดังนี้

$$V_{mean} = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin\theta \, d\theta$$

$$= \frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha$$

ก็เช่นเดียวกันจะพบว่าถ้าปรับให้สัญญาณทริกทำมุมมากกว่า 180° จะให้เอาท์พุตกลับทับของเดิมเลย ดังนั้นในงานที่ต้องการปรับระดับแรงดันได้ทั้งบวกและลบควรจะเลือกใช้วงจรเรติฟายเออร์แบบนี้

3.3) แบบที่ควบคุมได้ครึ่งหนึ่ง (half-controlled) ลักษณะของวงจรนี้จะเป็นการผสมกันระหว่างวงจรแบบควบคุมไม่ได้และควบคุมได้เข้าด้วยกัน โดยจะใช้ไทริสเตอร์ 2 ตัวและไดโอด 2 ตัวมาต่อกันดังรูป 4.8 โดยที่ 4.8)ก จะแสดงถึงการต่อวงจรกำลังของเรติฟายเออร์



รูปที่ 4.8

จากรูปที่ 4.8)ข ที่แสดงถึงลักษณะของสัญญาณต่าง ๆ นั้นจะพบว่าไดโอด 2 ตัวนั้นจะทำตัวเป็นคอมมิงเตติ้งไดโอด ในช่วงขณะที่แรงดันมีค่าเท่ากับ 0 แต่กระแสยังไม่เท่ากับ 0 หรือเราจะหาเอาไดโอดอีก 1 ตัวมาคร่อมโหลดก็ไม่ผิด ด้วยเหตุนี้เองจึงเป็นผลทำให้ในส่วนที่เป็นลบของแบบควบคุมได้มีค่าเป็น 0 ในแบบฮาร์ฟคอนโทรล ซึ่งลักษณะแรงดันก็จะหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

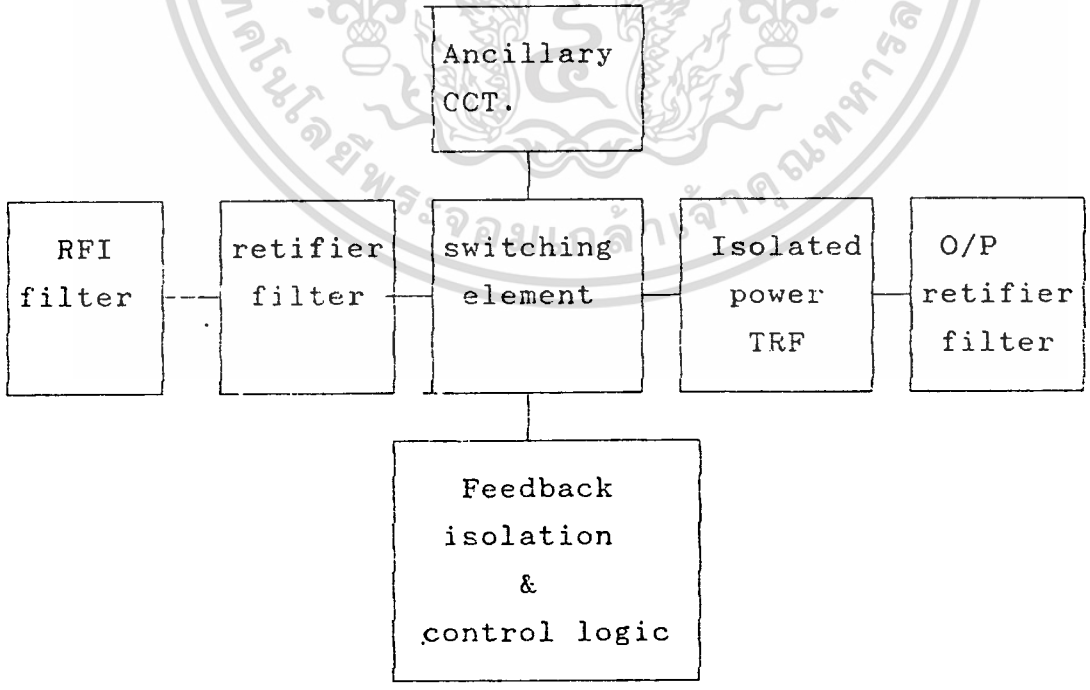
$$V_{mean} = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} \sin\theta \, d\theta = \frac{V_m}{\pi}(1+\cos\alpha)$$

ดังนั้นในวงจรลักษณะแบบนี้จึงเหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องการแรงดันที่เป็นบวก และสามารถปรับค่าได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับการทำวิจัยเรื่อง U.P.S.นี้

4) สวิทชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย ก็คือวงจรที่สามารถเปลี่ยนระดับแรงดันคือจากกระแสตรงที่ปรับค่าไม่ได้เป็นกระแสตรงที่ปรับค่าได้ ดังนั้นจึงเหมาะกับพวกที่มีวงจรที่ควบคุมระดับแรงดันไม่ได้ให้กลายเป็นแบบที่ควบคุมได้ ซึ่งลักษณะการทำงานตามรูป 4.9 คือ

แรงดันจากแหล่งจากไฟกระแสสลับจะถูกทำให้เป็นกระแสตรงโดยใช้วงจรเรติฟายเออร์แบบที่ควบคุมไม่ได้ และจัดการกรองความถี่ออกเพื่อที่จะได้แรงดันกระแสตรงที่ระดับแรงดันสูง ซึ่งจะถูกส่งผ่านอุปกรณ์สวิทชิ่ง เช่น ทรานซิสเตอร์ หรือ ไทริสเตอร์อีกทีหนึ่งโดยอุปกรณ์นี้จะเป็นตัวตัดสัญญาณให้กลายเป็นสัญญาณที่ความถี่สูงซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะประมาณ 20 กิโลเฮิซท์ และสัญญาณแรงดันสูงนี้จะผ่านหม้อแปลงลดแรงดันลง และผ่านวงจรกรองความถี่ออกเพื่อให้ได้กระแสตรงเพื่อจุดประสงค์ในการใช้งานอีกต่อหนึ่ง ในการที่จะควบคุมระดับแรงดันเอาท์พุตให้มีค่าคงที่นั้นก็จำเป็นที่จะต้องมีส่วนที่ตรวจจับระดับแรงดันเอาท์พุตแล้วป้อนกลับเข้าไปยังวงจรที่จะสวิทชิ่งเพื่อให้การสวิทชิ่งเหมาะสม เช่นไปปรับการนำกระแสของอุปกรณ์สวิทชิ่งให้เหมาะสม

เนื่องจากวงจรนี้เป็นการสวิทชิ่งดังนั้นจะเกิดฮาร์โมนิกส์ออกมาด้วยซึ่งฮาร์โมนิกส์เหล่านี้อาจจะกลับไปยังอินพุตที่เข้ามาได้ด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบวงจรกรองความถี่ติดไว้กับด้านอินพุตเพื่อเป็นการป้องกันอีกด้วย



รูป 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ

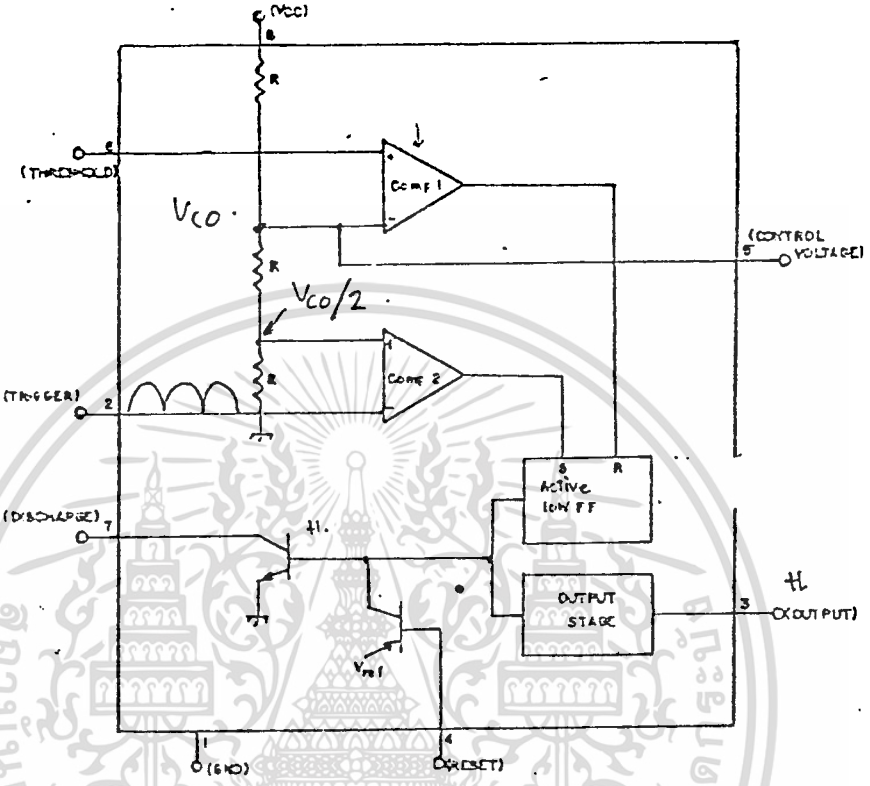
ในโครงการนี้ต้องการไฟกระแสตรงที่สามารถปรับค่าได้ เพื่อให้ได้ความถูกต้องสูงที่สุด แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องเป็นไฟลบ ดังนั้นวงจรเรติฟาย์เออร์ที่เหมาะสมก็คือแบบเต็มคลื่นบริจด์ที่เป็นแบบกึ่งควบคุมได้ (half-controlled) ดังนั้นจึงต้องการวงจรควบคุมไทริสเตอร์เพียง 2 ตัวเท่านั้น โดยที่หลักการในการออกแบบเริ่มจากบล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10

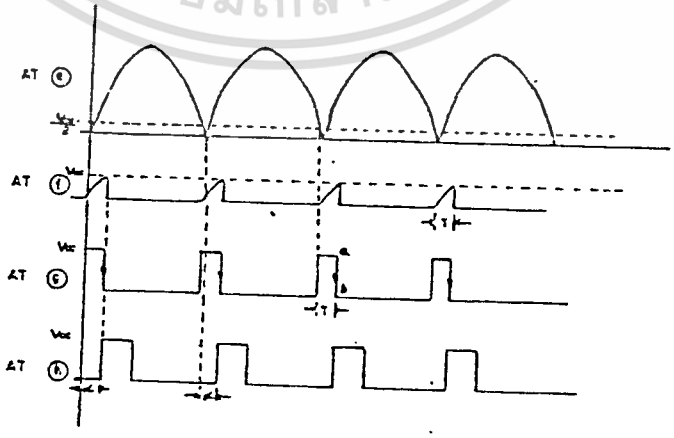
สามารถอธิบายหลักการวงจรง่าย ๆ คือ ตัวกำเนิดพลัส์จะอาศัยไฟกระแสสลับมาช่วยในการทริกเพื่อให้เกิดพลัส์ที่ความถี่ต่าง ๆ กัน (ควบคุมให้ความกว้างของพลัส์ให้เปลี่ยนแปลงได้) จากสัญญาณพลัส์จะถูกป้อนให้กับวงจรโมโนสเตเบิลทริกที่ขอบขาลง เอาท์พุตของวงจรนี้จะต้องนำไปขยายสัญญาณโดยผ่านวงจรที่คล้ายกับวงจรที่ใช้ขับเพาว์เวอร์ทรานซิสเตอร์ซึ่งจะแตกต่างกันอยู่บ้างดังจะกล่าวต่อไปในภายหลัง

จากความได้เปรียบในเรื่องการสร้างพลัส์ของ IC เบอร์ 455 ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เลือก IC เบอร์นี้จะเป็นอุปกรณ์หลักในการผลิตพลัส์ที่ต้องใช้ โดยจะเป็นโมโนสเตเบิลที่สามารถเปลี่ยนมุมของการทริกได้ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้วงจรภายในของ IC เบอร์ 455 เอง ตามรูป 4.11)ก สัญญาณทริกที่จะเข้านั้นได้มาจากสัญญาณไฟสลับที่ความถี่ 50 เฮิรซ์ โดยผ่านหม้อแปลงเพื่อลดระดับแรงดันลงและผ่านวงจรเรคติฟายเออร์เพื่อให้ได้ในรูปสัญญาณทริกโดยตัวเปรียบเทียบเบอร์ 2 จะไปเซทฟลิปฟลอบ เมื่อค่าสัญญาณที่ผ่านเรคติฟาย์มามีค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของศักย์ดาควบคุม (control voltage,Vco) ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กันโดยใช้R2ตัวเป็นตัวแบ่งระดับศักย์ดา ซึ่งค่าศักย์ดาควบคุมนี้ทั่วไปแล้วจะน้อยมากเมื่อเทียบกับสัญญาณที่ได้จากเรคติฟายเออร์ ซึ่งแสดงได้ในรูป 4.11)ข จะเป็นสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ของวงจรที่แสดงเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)



ข)

รูป 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตัวเปรียบเทียบเบอร์ 2 ไปเซ็ทฟลิปฟลอบแล้วนั้นจะเป็นผลทำให้ที่ขาเอาท์พุตอยู่ในสถานะ ON ดังนั้นคาร์ปาซิเตอร์จะชาจร์โดยผ่าน R ที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร และเมื่อค่าศักย์ดาที่ประจุให้กับคาร์ปาซิเตอร์ถึงค่า V_{co} แล้วตัวเปรียบเทียบเบอร์ 1 จะไปรีเซทฟลิปฟลอบจึงทำให้คาร์ปาซิเตอร์คายประจุออกมา เนื่องจากสถานะที่ขาเอาท์พุตจะอยู่ในสถานะต่ำ ด้วยเหตุผลนี้เองจะเป็นตัวทำให้ความถี่ของสัญญาณที่ออกมาทางเอาท์พุตโดยใช้ V_{co} เป็นตัวควบคุมและสัญญาณพลัส์ที่เกิดขึ้นนี้จะถูกป้อนให้กับวงจรทริกที่ขอบขาลง เพื่อกำเนิดสัญญาณที่เอาไปใช้งานอีกต่อหนึ่ง โดยที่ค่าของคาบที่เกิดขึ้นนั้นจะต้องขึ้นอยู่กับค่าเวลาที่คงที่ (time constant) โดยจะต้องคำนวนหาค่าออกมา จากเดิมค่าศักย์ดาไฟฟ้าของคาร์ปาซิเตอร์จะแสดงโดย

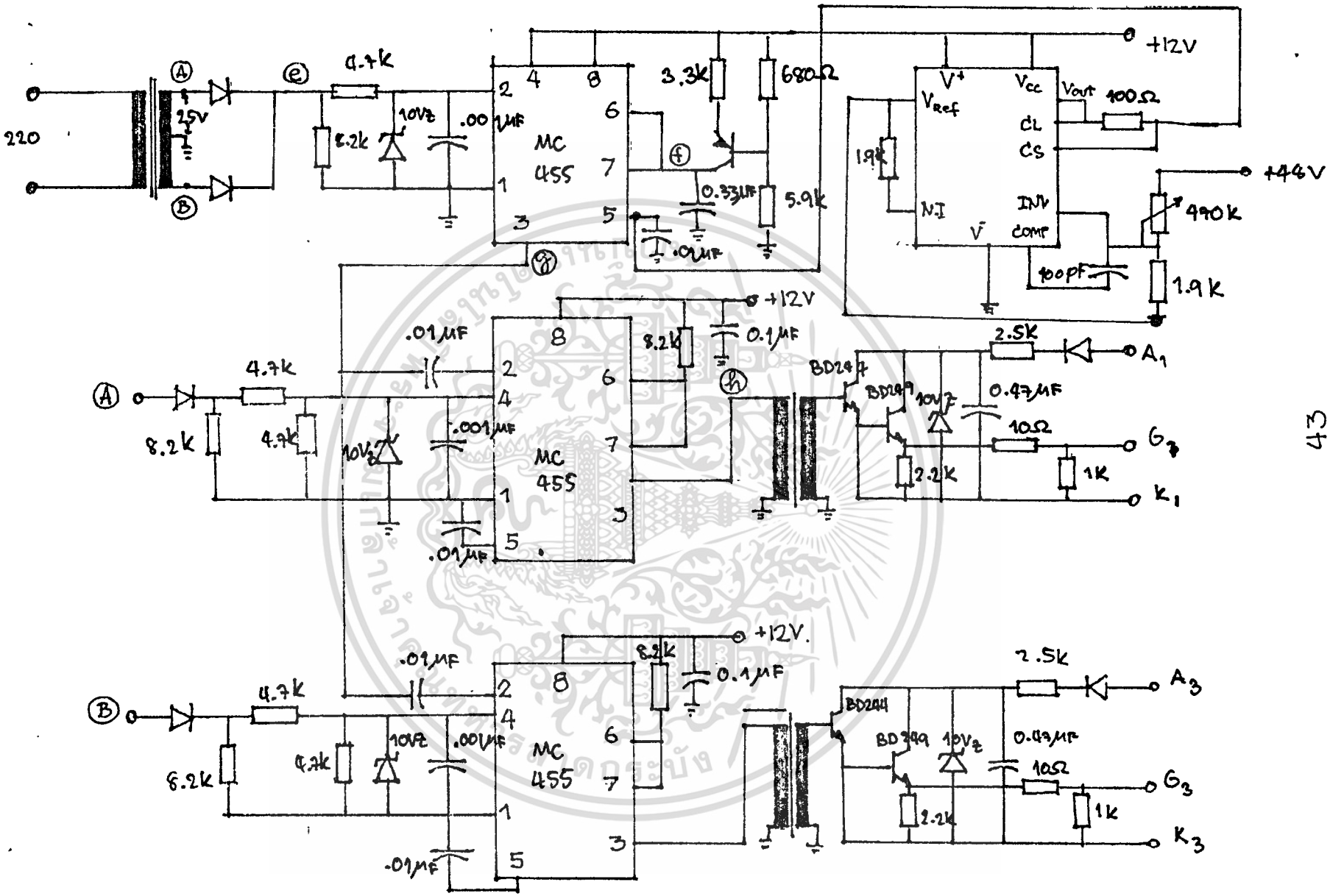
$$V_c = V_{cc}\,(1-e^{-t/RC}) \qquad \text{---------- (1)}$$

คาร์ปาซิเตอร์จะคายประจุเมื่อแรงดันมีค่าถึง V_{co} ดังนั้นความกว้างของพลัส์ของเอาท์พุตก็คือค่า t โดยที่

$$T = RC \ln\left[\frac{V_{cc}}{V_{cc}-V_{co}}\right] \qquad \text{----------(2)}$$

ดังนั้นการเลือกค่า RC เพื่อใช้ควบคุมได้อย่างเต็มที่จึงจำเป็นต้องสามารถมีค่าเท่ากับครึ่งไซเคิลของไฟ 50 เฮิซท์ หรือ 180° ของไฟ 50 เฮิซท์ ซึ่งค่า V_{co} มากที่สุดจะมาเป็นตัวกำหนด เพราะจากสมการเมื่อ V_{co} เพิ่มขึ้นจะทำให้ T มากขึ้นด้วย โดยจะขึ้นอยู่กับค่า V_{cc} โดยมีค่า $V_{cc}-V_{BE}$ BE คือดันระหว่างขา B กับ E ของทรานซิสเตอร์ที่เอามาต่อเพื่อเป็นแหล่งจ่ายกระแส (constant current source) ดังรูป 4.12 ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว V_{BE} = 0.6V และกำหนดค่า V_{cc} = 12V เมื่อแทนค่าลงไปแล้ว T = 3RC ดังนั้นก็จะได้ค่า RกับCที่เหมาะสมคือ R = 10k และ C = 0.33 F โดยที่ค่าแรงดันควบคุมต่ำสุดมีค่า $2V_{BE}$ โดยวงจรที่ใช้งานจะแสดงตามรูป 4.13 จากวงจรภายในของ MC455 นั้นจะเห็นว่าเอาท์พุตจะเป็นทั้งซอสท์หรือซิงค์ (source or sink) กระแสได้ 200 MA ในส่วนของวงจรทริกที่ขอบขาลงนั้นจะต้องทำงานสลับกันจากนั้นก็นำเอาสัญญาณที่ได้ผ่านพลัส์ทรานฟอร์เทอร์เพื่อเป็นตัวแยกออกจากวงจรควบคุม แล้วนำไปขับเกทของไทริสเตอร์อีกต่อหนึ่ง ในการออกแบบที่สมบูรณ์ในการใช้งานนั้นจำเป็นที่จะต้องมีวงจรควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งในที่นี้ได้เลือกเอาไอซีเบอร์ 723 มาเป็นอุปกรณ์ควบคุมแบบป้อนกลับ เพราะความได้เปรียบที่สามารถปรับระดับแรงดันได้ง่ายโดยใช้แรงดันภายนอกมาควบคุม ทั้งนี้วงจรสร้างสัญญาณทริกต้องการแรงดันที่ปรับค่าได้มาคอยควบคุมมุมทริก ดังนั้นไอซีเบอร์ 723 จึงได้เปรียบในกรณีที่ต้องการแรงดันมาควบคุม ซึ่งสามารถทำได้เพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจร ควบคุม วงจร เรคติฟายเออร์

รูป 4.14

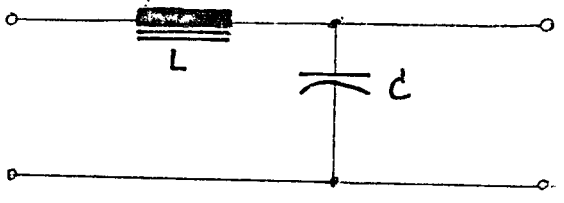
แค่เปลี่ยนศักย์ดาเปรียบเทียบก็จะทำให้เอาท์พุตของ LM723 เปลี่ยนระดับศักย์ดาด้วยโดยมีหลักการง่าย ๆ ในการออกแบบวงจรก็คือจะใช้ตัวแบ่งระดับแรงดันเอาท์พุตให้มีแรงดันที่เหมาะที่จะให้เอาท์พุตตามต้องการ จากวงจรภายในของ LM723 นั้นภายในจะมีตัวคอยควบคุมแรงดันเปรียบเทียบอยู่ 2 ตัวซึ่งควบคุมโดยซีเนอร์ไดโอดที่มีแรงดันเบรคดาวน์ (breakdown voltage) ประมาณ 6-7 โวลต์ ซึ่งถ้าแรงดันเปรียบเทียบมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากค่าที่ต้องการก็จะเป็นผลทำให้ Vco สูงขึ้นด้วยและทำให้มีมุมทริกมากขึ้นจึงเป็นการลดระดับแรงดันโดยการควบคุมแบบป้อนกลับซึ่งวงจรที่ใช้งานได้แสดงตามรูป

วงจรขับเกท

ในการออกแบบวงจรขับให้กับไทริสเตอร์นั้นไม่ยุ่งยากซับซ้อนเหมือนกับวงจรขับเบสให้กับเพาว์เวอร์ทรานซิสเตอร์ โดยอาศัยหลักการที่ต้องการความแน่นใจว่ามันจะทำงานในสะถานะที่มีการไบอัสไปข้างหน้าเท่านั้น จากรูป 4.14 ศักย์ดาที่อาโนดของไทริสเตอร์มาช่วยในการควบคุม แต่ถ้าในช่วงที่ค่าศักย์ดาไฟฟ้าที่อาโดนดยังไม่พอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ต่อดาลิงตั้น ON ได้นั้น ก็จำเป็นที่จะต้องมีตาร์บาซิเตอร์ที่จะจ่ายประจุไปในคอนที่แรงดันยังไม่ถึง และในกรณีที่แรงดันสูงเกินกว่าทรานซิสเตอร์จะรับได้ก็จำเป็นต้องมีซีเนอร์ ไดโอด (zenor diode) มาเป็นตัวจำกัดแรงดันให้ ซึ่งวงจรที่ใช้งานได้แสดงไว้ตามรูปที่ .14 ซึ่งรูปคลื่นต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองได้แสดงไว้ในบทของการทดลอง

วงจรกรอง (filter)

ในวงจรกรองนี้จะไม่เหมือนกับวงจรกรองความถี่ที่ใช้กับอินเวทเตอร์ เพราะการออกแบบที่ใช้กับวงจรอินเวทเตอร์นั้นจะออกแบบให้เป็นวงจรกรองความถี่แบบที่จะยอมให้ความถี่เฉพาะค่าเท่านั้นที่ผ่านโดยการออกแบบใช้ยจัดความถี่ที่ไม่ต้องการได้ แต่ในกรณีของวงจรกรองที่ใช้กับวงจรเรคติฟายเออร์นั้นจะมีวัตถุประสงค์หลักก็เพื่อจะเป็นตัวกรองให้ได้กระแสตรงโดยจะมีทั้งตัวเหนี่ยวนำ (induetance) และตัวเก็บประจุ (capacitor) เป็นอุปกรณ์ที่จะเป็นตัวเก็บและจ่ายพลังงานออกมา เพื่อให้ได้ผลออกมามีค่ากระเพื่อม (ripple) ให้เป็นที่ยอมรับได้ ในโครงการวิจัยนี้ได้ออกแบบวงจรกรองตามรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาแทนค่าตามแบบที่กำหนดแล้วค่า C จะมีค่า 0.75 ฟารัด ซึ่งมีค่ามาก ถ้าพิจารณาค่าพลังงานของ C แล้วจะได้ E มีค่าเท่ากับ 864 จูล แต่เราสามารถใช้ตัวเหนี่ยวนำมาช่วยลดขนาดของ c ลงได้ โดยจะแบ่งพลังงานที่ต้องจ่ายออกมาเป็นพลังงานที่จ่ายโดยตัวเก็บประจุและพลังงานที่จ่ายโดยตังเหนี่ยวนำ เช่นถ้าใช้ตัวเก็บประจุมีค่า 10,000 ไมโครฟารัด ค่าพลังงานที่ได้คือ 11.52 จูล จากสมการพลังงานของตัวเหนี่ยวนำก็จะสามารถคำนวนค่า inductanceออกมาได้มีค่าเท่ากับ 0.74 เฮนรี่ ซึ่งจะต้องนำไปออกแบบตัวเหนี่ยวนำอีกทีหนึ่ง เป็นที่น่าสังเกตุว่าตัวเหนี่ยวนำขนาด 0.74 เฮนรี่นี้จะเป็นตัวเหนี่ยวนำที่ใหญ่มาก

การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ

ถ้าเราสังเกตุรูป 4.8 แล้วจะสังเกตุพบว่าในคลื่นที่เป็นเอาท์พุตของวงจรเรดดิฟาย์เออร์นั้นจะมี 2 ส่วนที่ผสมกันอยู่นั้นคือส่วนที่เป็นกระแสตรงและส่วนที่เป็นกระแสสลับ ดังนั้นเราจะต้องพิจารณาทั้ง 2 ส่วนนี้ไปพร้อม ๆ กัน เพราะในระบบกระแสตรงก็จะเกิดฟลักซ์ของกระแสตรง ส่วนกระแสสลับก็ต่างกันไป โดยความสัมพันธ์จะไม่เหมือนกัน ดังที่แสดงในสมการต่อไปนี้

ทาง D.C $NI = HL$

$NI = B\ l$

ถ้าต้องการให้ตัวเหนี่ยวนำมีลักษณะของ B-H CURVE ที่เป็นเส้นตรง (LINEAR) แล้วละก็จะต้องทำให้ศักย์แม่เหล็ก (megnatic potential) มาตกคร่อมที่ช่องอากาศ (I) นั้นคือการเพิ่มจุดอิ่มตัว (saturation) ให้มีค่าสูงขึ้น

ทาง A.C $V = 4.44\ fNBA$

ซึ่งในทาง A.C นั้นค่าฟลักซ์จะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม แต่กรณีของ D.C นั้นค่าฟลักซ์จะขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่ไหลผ่าน และจากข้อกำหนดทั้ง 2 อย่างนี้ก็จะสามารถออกแบบตัวเหนี่ยวนำที่มีค่า 750 MH ถ้าเลือกแกน E-I ขนาด 3 นิ้ว และเปิดช่องอากาศ (AIR GAP) 3 มิลลิเมตร

จาก $L = N^2 \mu_o A / g$

แทนค่าหาจำนวนรอบ (N) $= \sqrt{\frac{Lg}{\mu_o A}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยลักษณะการออกแบบจะต้องคำนึงถึงค่า พลังงานของทั้ง 2 ตัวที่จะต้องรับได้ ดังนี้

$$E = 1/2(CV^2) \quad \text{และ} \quad E = 1/2\,(LV^2)$$

โดยที่ E = พลังงานที่สะสมอยู่
V = ระดับศักย์ดาไฟฟ้าที่ใช้
C = ค่าตัวเก็บประจุ
L = ค่าตัวเหนี่ยวนำ

ในที่นี้จะออกแบบวงจรไฟฟ้าที่ใช้กับไฟ 48V, 75A กรองให้มีค่าความแตกต่างของศักย์ดาเอาท์พุตเท่ากับ 500 MV โดยลักษณะเอาท์พุตที่ต้องการแสดงตามรูป 4.16)ก และเราจะประมาณช่วงที่ทำการประจุตัวเก็บประจุและดิสชาจร์ตัวเก็บประจุนั้นเป็นลักษณะของเส้นตรงก็จะได้ตามรูป 4.16)ข

ก) ข)

รูปที่ 4.16

จาก $I = DQ/DT$
ดังนั้น $I_L T = Q_{(RL)}$

โดยที่ $Q(R_L)$ = ประจุที่จ่ายให้กับโหลดในรูปของกระแส
T = คาบเวลาที่ C ดิสชาจร์

ในการประจุตัวเก็บประจุด้วยค่าแรงดันกระเพื่อม (ripple voltage) จำนวนประจุที่ได้รับคือ

$$Q_C = CV_R$$

และ Q_C จะจ่ายให้กับโหลด ดังนั้น

$$Q_C = Q_{(RL)}$$

จากสมการทั้งหมด เราจะได้ว่า

$$I_L T = CV_R$$
$$= Q_C$$

ดังนั้นจะได้ว่า $C = I_L T$

$$\overline{V_R}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างบนจะได้จำนวนรอบเท่ากับ 615 รอบ ซึ่งถ้าเป็นตัวเหนี่ยวนำที่ต้องรับกระแสไม่มากนักก็จะสามารถพันได้ แต่อย่างในกรณีนี้ค่ากระแสมีค่ามาก ในขณะที่ใช้แรงดันต่ำจึงเป็นข้อเสียเปรียบในการทำออกมา คือจะไม่ได้ใช้อย่างมีประโยชน์สูงสุด

การหาฟลักซ์แม่เหล็กของกระแสสลับจะหาได้จากสมการนี้

$$V = 4.44\ fNBA$$

ดังนั้นค่า

$$B = V/(4.44fNA)$$

$$B = 0.03 \quad \text{เทสล่า}$$

โดยทั่วไปแล้วค่าฟลักซ์ของแกนเหล็กจะมีค่าประมาณ 1.2 เทสล่าหรือ 1 เทสล่า ดังนั้นค่า B ที่เหลือจะเป็น B ทางกระแสตรง ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า ค่าตัวเก็บประจุที่ใช้คือ 10,000 ไมโครฟารัด และค่าตังเหนี่ยวนำคือ 750 เฮนรี่ โดยนำมาต่อกันดังรูปที่ 4.15 ซึ่งลักษณะของแรงดันเอาท์พุตและแรงดันอินพุตได้แสดงไว้ในผลการทดลอง

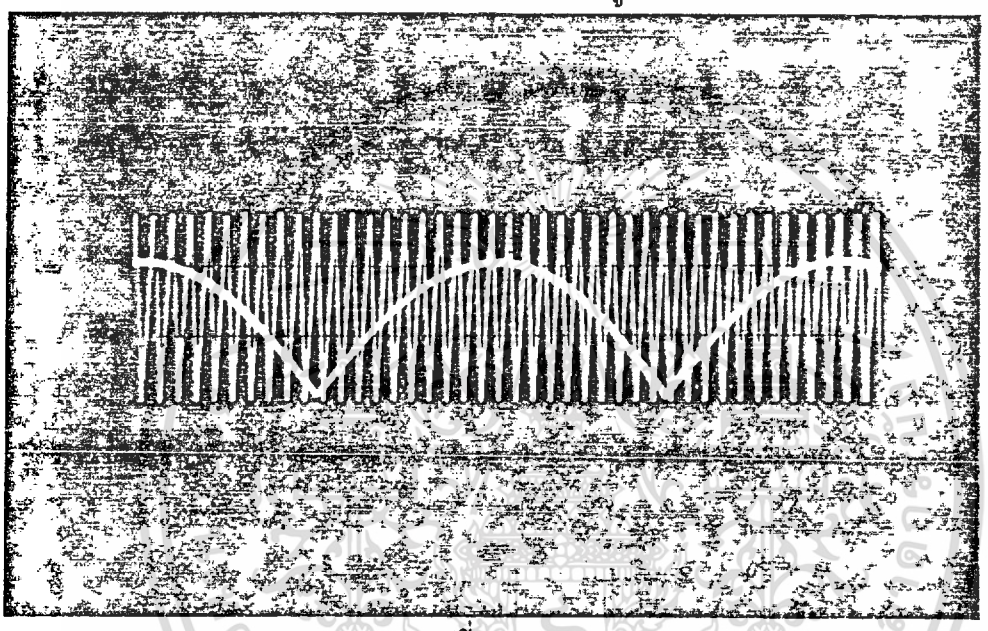
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

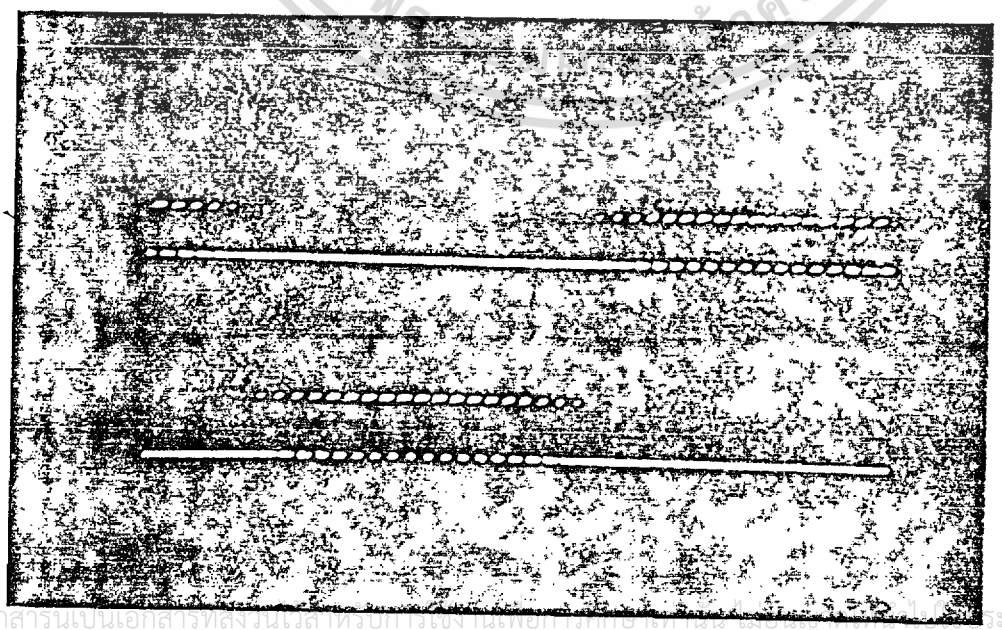
อินเวอร์ตเตอร์

จากวงจรควบคุม สัญญาณ PWM ที่ใช้ในโครงงานนี้เกิดจากการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณซายน์ และสัญญาณสามเหลี่ยม ซึ่งสัญญาณทั้งสองจะแสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1

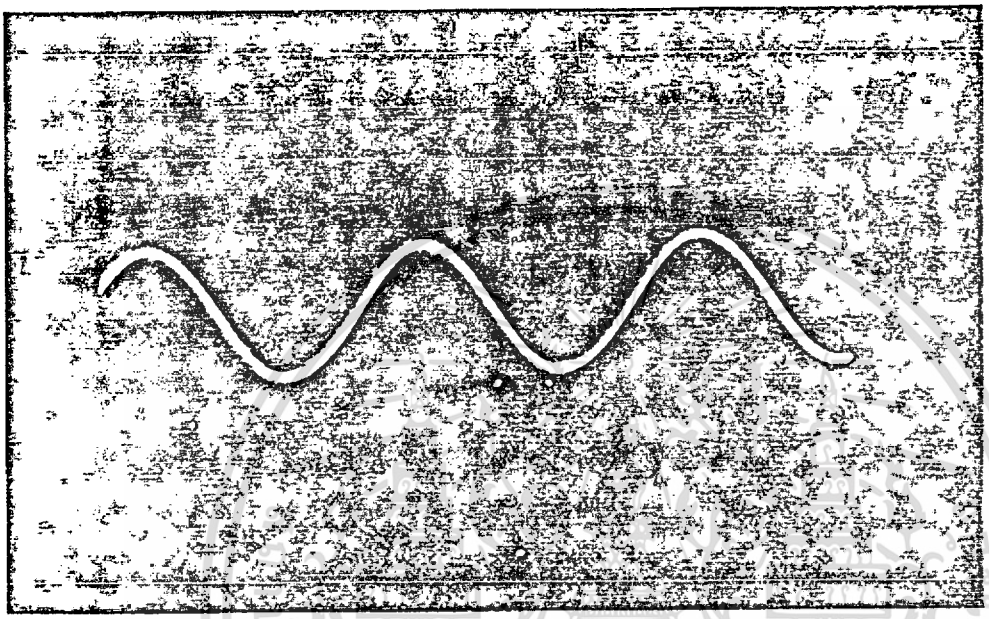
เมื่อนำสัญญาณทั้งสองมาผ่านตัวเปรียบเทียบจะได้สัญญาณ PWM ที่ใช้ในการควบคุมดังรูปที่ 5.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.2

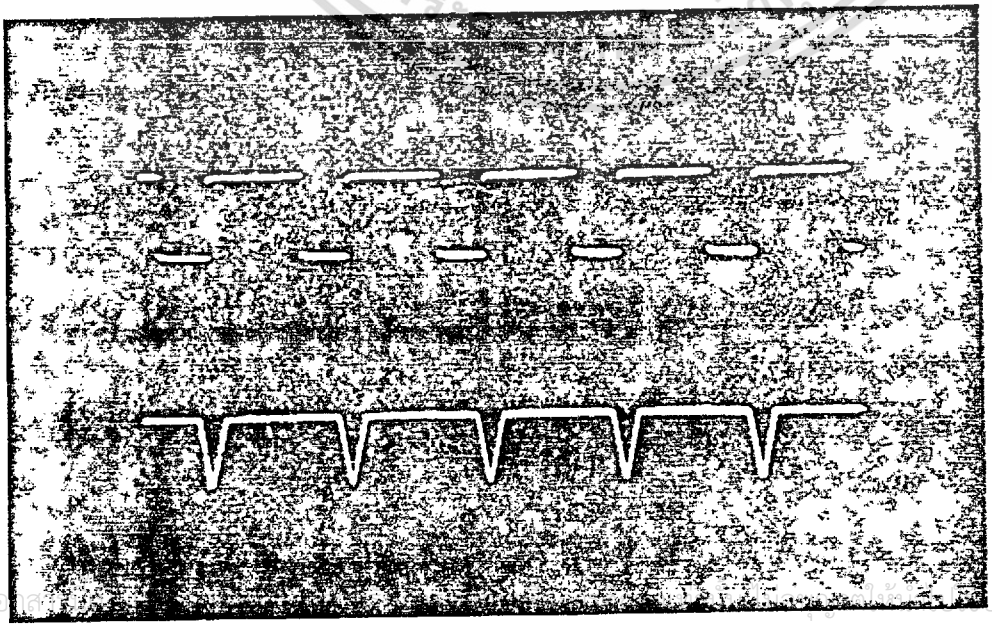
ส่วนสัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และผ่านวงจรกรองความถี่จะเป็นดังรูปที่ 5.3 ซึ่งเป็นในสภาวะ NO LOAD



รูปที่ 5.3

<u>เรคติฟาย</u>

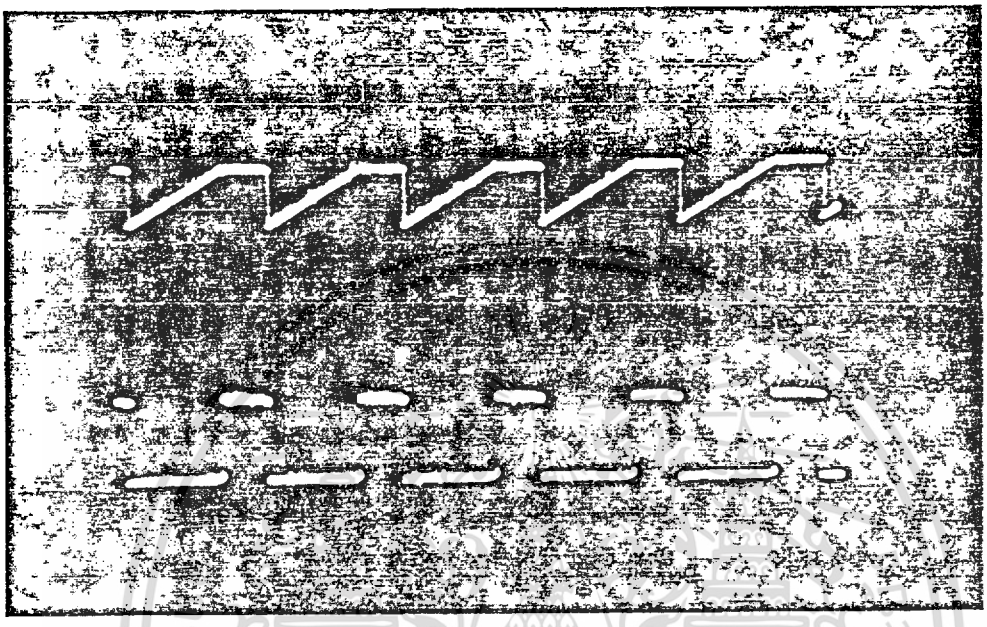
สัญญาณที่ใช้ทริก IC เบอร์ MC455 และสัญญาณที่ปรับความถี่ได้ดังรูปที่ 5.4



เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

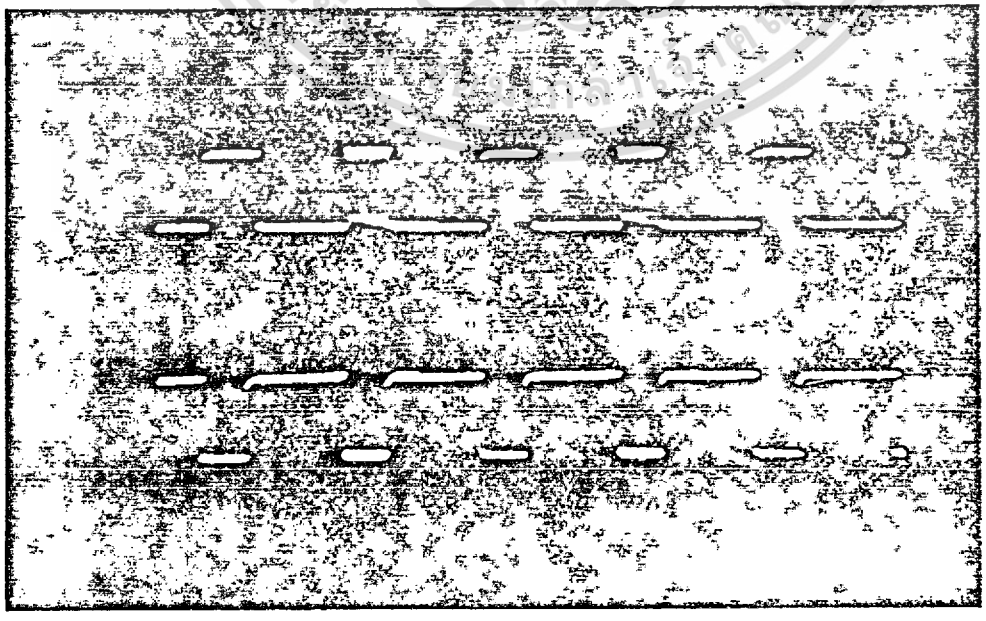
รูปที่ 5.4

แสดงสัญญาณทริกซาเกทและการอัดประจุและคายประจุในวงจรที่ปรับคาบได้แสดงดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5

สัญญาณอินพุท และเอาท์พุทของโมโนสเตเบิลทริกที่ขอบขาลงแสดงดังรูปที่ 5.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.6

I

หลอดที่	VØ	IO	%REG
Ø	49.Ø	Ø	Ø
5	43.2	Ø.4Ø	1Ø.Ø
1Ø	38.8	Ø.75	19.Ø
15	34.6	1.1Ø	36.1
25	26.Ø	1.85	45.8

N = 20

II

หลอดที่	VO	IO	%REG
1	214.5	Ø.45	2.5
2	211.5	Ø.9Ø	4.63
3	2Ø8.Ø	1.3Ø	5.87
4	2Ø7.Ø	1.7Ø	6.21
5	2Ø3.Ø	2.1Ø	8.5Ø

$V_{D.C.}$ ตอนที่ 1

N = 10

III

หลอดที่	Vdc	Idc
1	25.3	4.15
2	26.5	8.25
3	26.7	12.5Ø
4	27.Ø	16.5Ø
5	27.2	2Ø.16

V_{AC} ตอนที่ 1

N = 10

IV

หลอดที่	VO	IO	%REG
Ø	48.Ø	Ø	Ø
5	47.1	Ø.5	1.9
1Ø	46.8	1.5	2.56
15	46.5	2.5	3.2Ø
2Ø	46.Ø	3.Ø	4.34
28	46.Ø	5.Ø	4.34

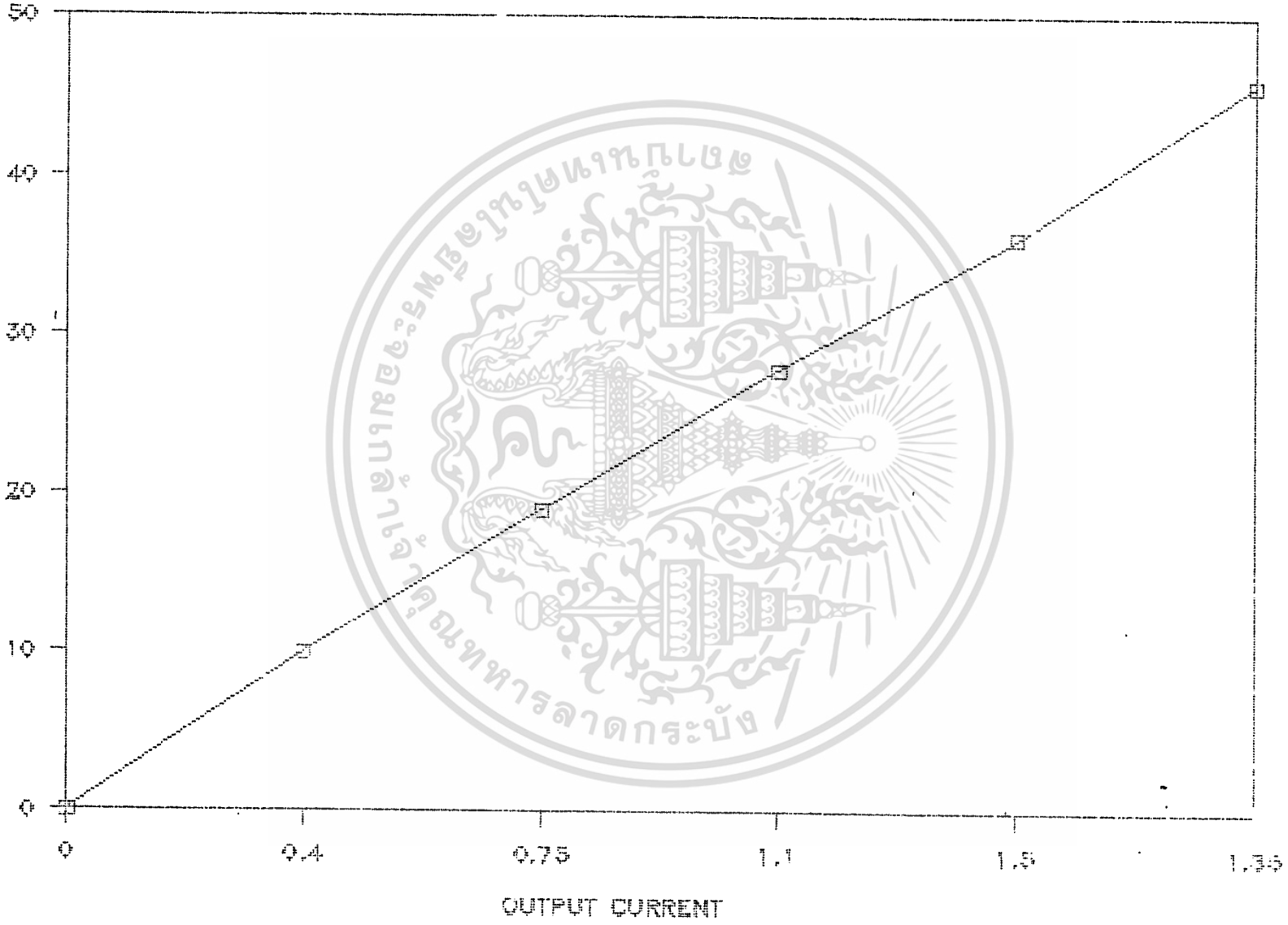
RECTIFIER ยังไม่ CLOSE LOOP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลออกไฟ	VO	IO	%REG
0	48.0	0	0
5	47.5	0.5	1.05
10	47.4	1.0	1.26
15	47.4	1.5	1.26
20	47.2	1.9	1.69
28	47.0	2.7	1.90

V RECTIFIE CLOSE LOOP

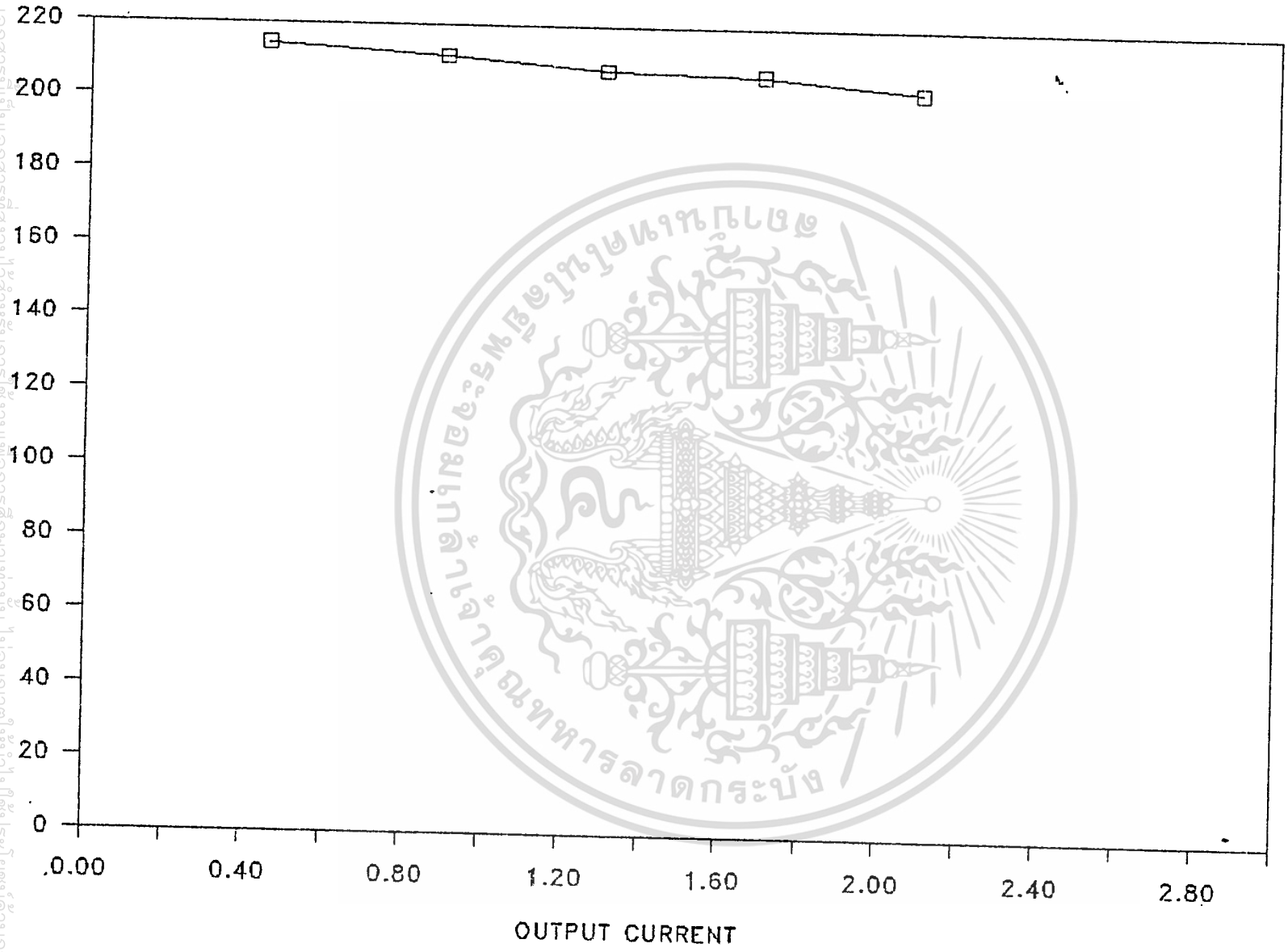
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

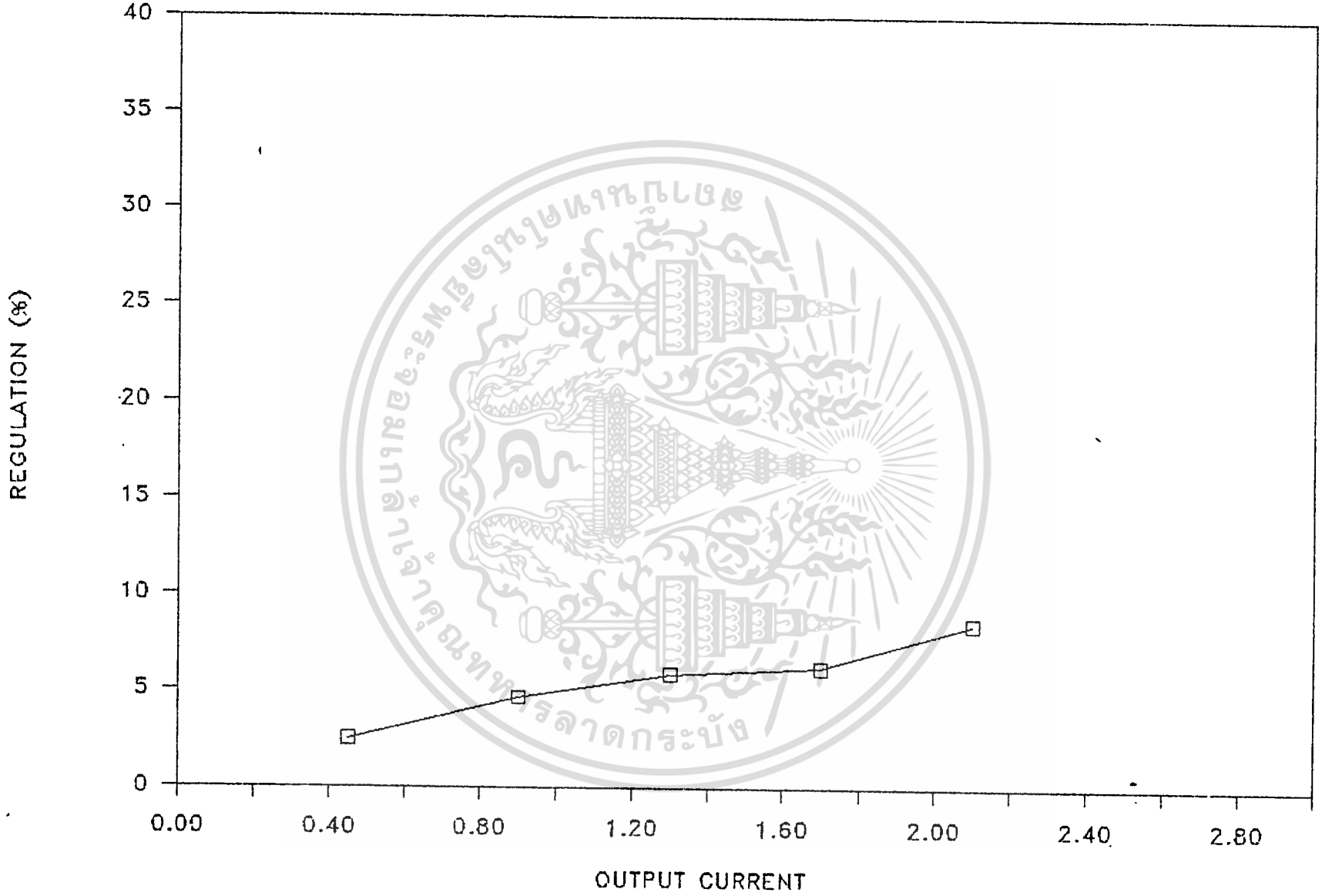


I

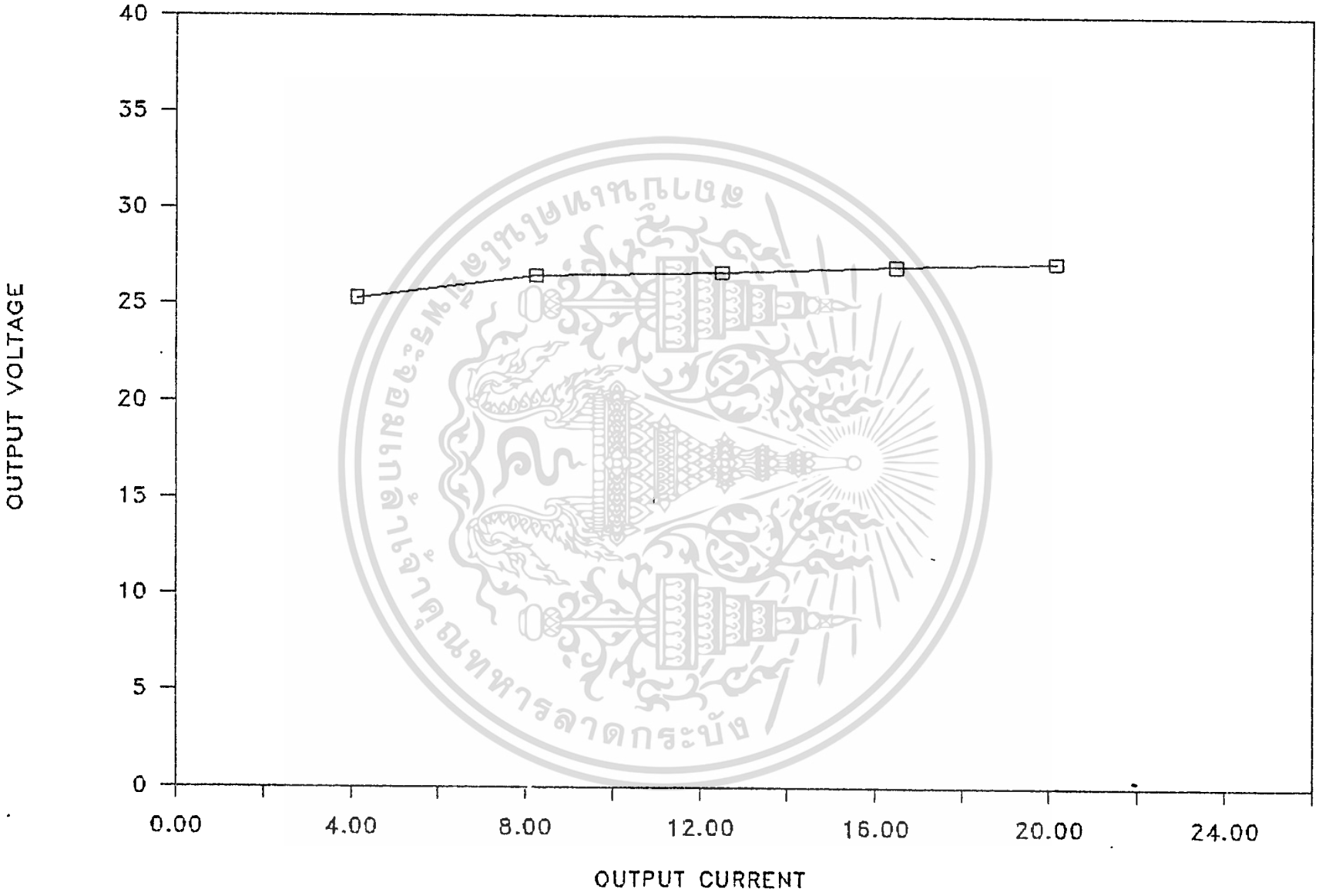
I

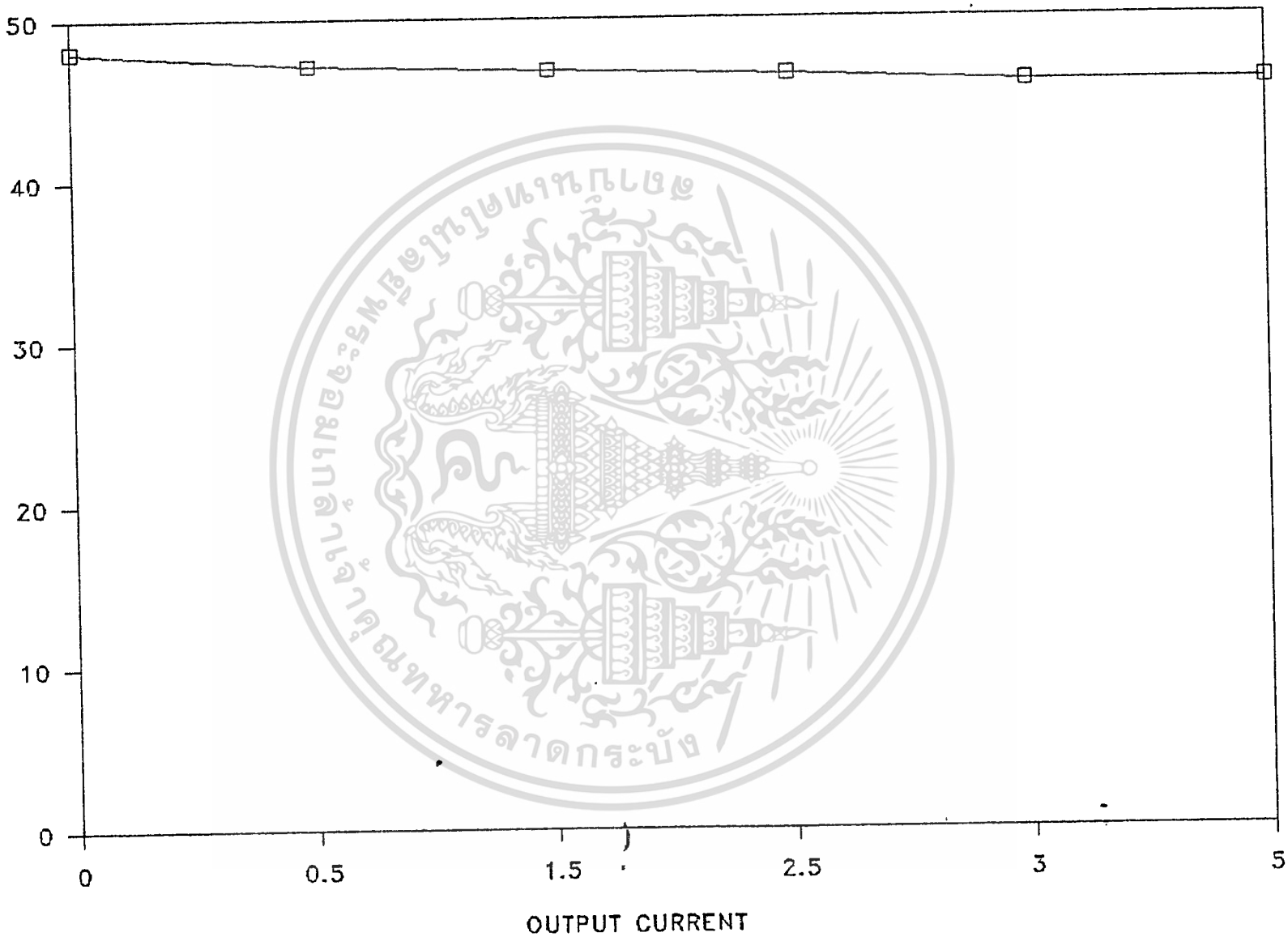
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

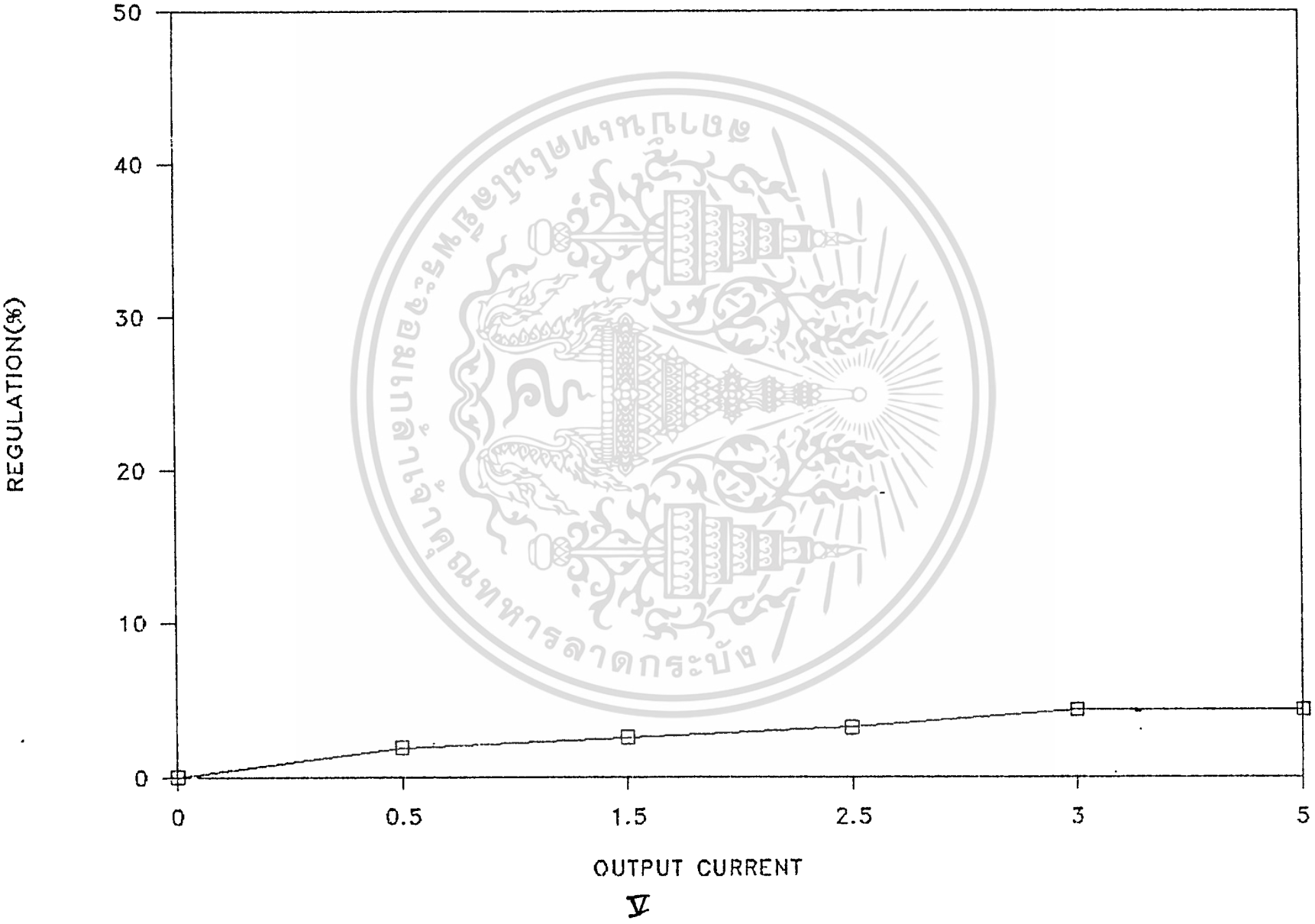

220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
.0.00
0.40
0.80
1.20
1.60
2.00
2.40
2.80
OUTPUT VOLTAGE
OUTPUT CURRENT


REGULATION (%)
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0.00
0.40
0.80
1.20
1.60
2.00
2.40
2.80
OUTPUT CURRENT

II


40
35
30
25
20
15
10
5
0
OUTPUT VOLTAGE
0.00
4.00
8.00
12.00
16.00
20.00
24.00
OUTPUT CURRENT


50
40
30
20
10
0
OUTPUT VOLTAGE
0
0.5
1.5
2.5
3
5
OUTPUT CURRENT


50
40
30
20
10
0
REGULATION(%)
0
0.5
1.5
2.5
3
5
OUTPUT CURRENT
V

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

สำหรับโครงงานนี้จะเห็นได้ว่าอินเวอร์ตเตอร์ที่ได้ทดลองสร้างขึ้นนั้นสามารถทำงานได้ตามทฤษฎี แต่ถ้าจะนำเอาอินเวอร์ตเตอร์ไปใช้งานได้จริงแล้ว จะยังไม่เหมาะสม เนื่องจากยังขาดวงจรควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าคงที่ ซึ่งในบทสรุปนี้เราจะกล่าวถึงข้อบกพร่อง และแนวทางในการแก้ไขของวงจรและส่วนต่างๆต่อไป

จากวงจรการสร้างสัญญาณ PWM ก็สามารถทำงานได้ดี โดยทั้งสัญญาณสามเหลี่ยมและสัญญาณซายน์สามารถสร้างได้ค่อนข้างบริสุทธิ์ โดยเฉพาะสัญญาณสามเหลี่ยมนั้นการปรับค่า RC ในวงจรอินทิเกรทเพื่อให้ได้สามเหลี่ยมที่สมบูรณ์นั้น จำเป็นต้องเลือกค่าเวลาคงที่ให้เหมาะสม แล้วทำการปรับค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ จนได้คลื่นสามเหลี่ยมตามต้องการ แต่สำหรับสัญญาณซายน์นั้นได้ใช้วงจรกรองความถี่ให้เหลือแต่ความถี่มูลฐานออกมาเท่านั้น ซึ่งถ้าจะให้รู้ค่าความเพี้ยน (DISTORTION) ก็จะนำเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์ความถี่ดูว่ามีความถี่ฮาร์โมนิคอื่นออกมาด้วยหรือไม่ ทั้งวงจรสร้างสัญญาณคลื่นซายน์และวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมควรออกแบบให้ตัวขยายแรงดันอยู่ทางด้านเข้าของวงจรกรองความถี่และวงจรอินทิเกรท ทั้งนี้เพื่อลดการขยายสัญญาณรบกวนต่างๆที่เกิดจากวงจรนั้นเข้ามารบกวน และจากการเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณสองชุด คือ สัญญาณระหว่างซายน์กับสัญญาณสามเหลี่ยมนั้น ก็เป็นไปตามทฤษฎี แต่ลักษณะการแยกสัญญาณออกเป็นสองชุดนั้นไม่สามารถเอาสัญญาณนาฬิกาความถี่ 50 เฮิทซ์ มาใช้แยกได้ เพราะสัญญาณเกิดล้าหลังไปประมาณ 90 องศา ดังนั้นจึงได้แก้ปัญหาโดยใช้สัญญาณซายน์เข้าตัวเปรียบเทียบโดยเทียบกับกราวน์ซึ่งจะได้สัญญาณใหม่

ส่วนของวงจรกำลังสามารถทำงานได้ตามทฤษฎีรวมทั้งวงจรกรองความถี่ด้วยซึ่งให้ค่าสัญญาณรบกวนปนออกมาได้ดังรูปของแรงดันในสภาวะไร้โหลด แต่ข้อเสียของวงจรกำลังก็คือ ลักษณะที่มีค่าพิกัดกำลังมากในขณะที่มีแรงดันน้อย จึงมีปัญหาที่ต้องการกระแสมากถึงแม้ว่าจะเป็นช่วงเวลาสั้นๆ แต่ก็มีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอร์รี่และขนาดของวงจรกำลัง ดังนั้นจึงคิดว่าถ้าใช้จำนวนแบตเตอร์รี่เท่ากันมาต่ออนุกรมกันจะช่วยลดขนาดของอุปกรณ์ป้องกัน และค่าปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือค่าสูญเสียในขณะเกิดการสวิทโดยเป็นผลมาจากเวลาเพิ่มขึ้น (RISE TIME) และเวลาลดลง (FALL TIME) ซึ่งสามารถลดความสูญเสียโดยใช้สนับเบอร์มาช่วยซึ่งค่าที่ใช้จริงจะต้องพอเหมาะ โดยมีการคำนวณทางทฤษฎีมาเป็นแนวทางในการเลือกใช้ให้เหมาะสม

วงจรกำเนิดสัญญาณที่จะไปทริกขาเกทของ SCR นั้นเป็นการประยุกต์หลักการของวงจรภายในไอซีเบอร์ 455 ออกมาเท่านั้น ซึ่งการออกแบบที่ประหยัดนั้นสามารถใช้ไอซีเพียงสองตัวโดยใช้วงจรขับสองชุด และการประจุแบตเตอร์รี่นั้น ควรออกแบบให้มีการทำงาน 2 แบบ คือ การประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบรวดเร็ว (EQUALIZING CHARGE) และการประจุแบบธรรมดา (FLOAT CHARGE) ซึ่งทั้งสองกรณีนั้นทำได้โดยต่ออุปกรณ์ควบคุม เช่น วงจรนับ เข้ากับรีเลย์ เพื่อคอยตัดต่อวงจรให้เหมาะสม และการควบคุมแบบลูปปิดนั้น ควรออกแบบค่าความต้านทานให้เหมาะสมกับลักษณะของแรงดันในการประจุแต่ละแบบ เช่น การประจุแบบรวดเร็วจะต้องทำให้แรงดันเปรียบเทียบของ LM 723 มีค่ามากขึ้น แต่ไม่ควรเกิน 6.7 โวลท์ เพราะคือค่ามากที่สุดที่เปลี่ยนได้ จากการควบคุมแบบลูปปิดทำให้ค่าเร็คกูเลชั่นของวงจรดีขึ้นกว่าแบบเดิม

สรุป แม้ว่าโครงการนี้จะยังไม่สามารถออกไปใช้งานได้จริง แต่ก็แสดงถึงหลักการพื้นฐานและเชื่อว่าถ้านำไปปรับปรุงส่วนต่างๆ เช่น การควบคุมแบบลูปปิดในวงจรอินเวอร์ตเตอร์ หรือมีการควบคุมลักษณะการประจุแบตเตอร์รี่ และที่สำคัญคือทำให้มีประสิทธิภาพสูง ก็จะสามารถผลิตออกมาในเชิงพาณิชย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ ประภาษ ไพรสุวรรณา อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ วรศักดิ์ จิตรภักดี ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางตลอดระยะเวลาการศึกษา และขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคน ตลอดจนรุ่นพี่และรุ่นน้องที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ แก่ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REFERENCE

1.ANDERS BROMS; "UNINTERRUPTIBLE POWER SYSTEM PRINCIPLES,FEATURES AND FUTURE TRENDS" การประชุมทางวิชาการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า,2528

2.JIA-YOULEE AND YORK -YIH SUN,'ADAPTIVE HARMONIC CONTROL IN PWM. INVERTERS WITH FLUCTOATING INPUT VOLTAGE ,' IEEE TRANS. IND. ELECTRON, CONTR. INSTRUM. VOL IE-33,NO.1,FEB.1984

3.B.ILANGO , R.KRISHNAN,R.SUBRANANIAN,AND S.SADASIVENN,'FIRING CIRCUIT FOR 3 PHADE THYRISTOR BRIDGE RECTIFIER,'IEEE TRANS. IND.ELECTRON CONTR. INSTRUM. VOL IECI -25,PP.45-49,1978

4.DAVID E. JOHNSON,JOHN L. HILBURN,AND JOHNNY R. JOHNSON,'BASIC ELECTRIC CIRCUIT ANALYSIS,'PRENTICE-HALL, 1984 ,CH.15

5.JACOB MILLMAN,'MICROELECTRONIC:DIGITAL AND ANALOG CITCUIT AND SYSTEMS,'MC-GRAW HILL,1983

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4027B

CMOS DUAL J-K FLIP-FLOP

FEATURES

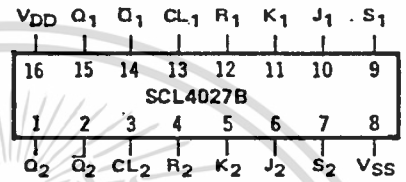
- Individual Set and Reset Controls
- Fully Static Operation
- Logic Edge-Clocked Design
- 8MHz Toggle Rate @ 10Vdc
- Balanced Output Drive Current Specifications

DESCRIPTION

The SCL4027B consists of two identical independent CMOS J-K master-slave Flip-Flops. The SCL4027B is useful in performing control, register, and toggle functions. Logic levels present at the J and K inputs along with internal self-steering control the state of each flip-flop; changes in the flip-flop state are synchronous with the positive-going transition of the Clock pulse. Set and Reset functions are independent of the Clock and are initiated when a high level signal is present at either the Set or Reset input.

CONNECTION DIAGRAM

(all packages)



Add suffix for package:

C	16-pin Cerdip	F	16-pin Flat
D	16-pin Ceramic	H	Chip
E	16-pin Epoxy		

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A		
C, D, F, H Device		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

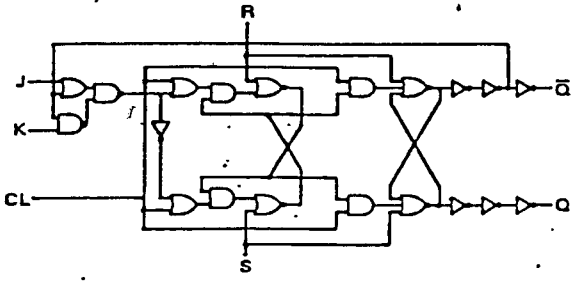
TRUTH TABLE

●t_{n-1} INPUTS						↑t_n OUTPUTS		
CLK	J	K	S	R	Q	Q	$\bar{Q}$	
⎍	1	X	0	0	0	1	0	
⎍	X	0	0	0	1	1	0	
⎍	0	X	0	0	0	0	1	
⎍	X	1	0	0	1	0	1	
⎎	X	X	0	0	X	(No Change)		
X	X	X	1	0	X	1	0	
X	X	X	0	1	X	0	1	
X	X	X	1	1	X	1	1	

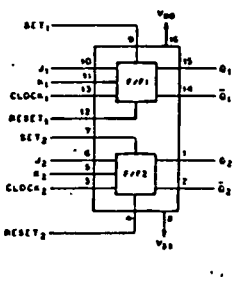
WHERE 1 = HIGH LEVEL
0 = LOW LEVEL
⎍ - LEVEL CHANGE
X - DON'T CARE

● - t_{n-1} REFERS TO THE INTERVAL PRIOR TO THE POSITIVE CLOCK PULSE TRANSITION
↑ - t_n REFERS TO THE TIME INTERVAL AFTER THE POSITIVE CLOCK PULSE TRANSITION

LOGIC DIAGRAM (one of two Flip-Flops)



BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4011B, SCL4012B SCL4023B, SCL4068B

CMOS NAND GATES

SCL4011B – Quad 2-Input NAND
SCL4012B – Dual 4-Input NAND
SCL4023B – Triple 3-Input NAND
SCL4068B – 8-Input NAND

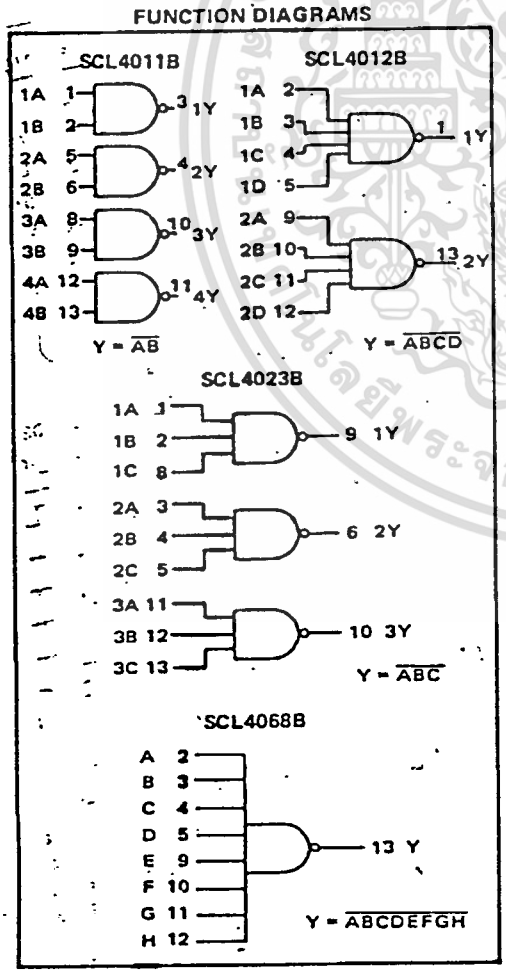
FEATURES

- Buffered Outputs
- Diode Protection on all Inputs
- Fully "B"-Series Compatible
- Balanced Output Drive Current Specifications

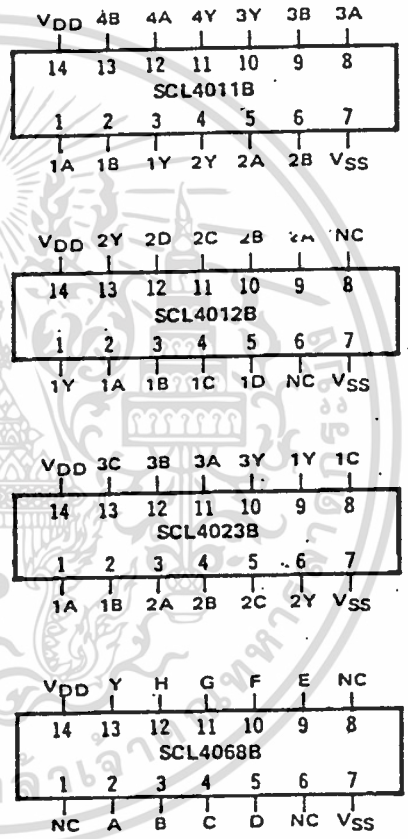
TRUTH TABLE

Inputs	Output
1 1 . . . 1	0
All other combinations	1

FUNCTION DIAGRAMS



CONNECTION DIAGRAMS
(all packages)



Add suffix to package:

- C 14-pin Cerdip
- D 14-pin Ceramic
- E 14-pin Epoxy
- F 14-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A		
C, D, F, H Device		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRANSISTOR NUMBER	PW C- LT	PACK-AGE	LEAD INFO	VCB MAX	VCE MAX	VEB MAX	I C MAX	T- J MAX	P TOT	F T MIN	C OB MAX	H FE	H FE BIAS	USE	MFR	EUR EQUIV	USA EQUIV	ISS
BD238G	PS	TOP66	L32	100V	80V	5V	4A	150C	30WC	40M	.	40MN	150MA	AHH	GEB	BD590	2N6126	2
BD239	NS	TOP66	L32	55V	45V	5V	2A	150C	30WC	3M	.	15MN	1A	AHG	RCB	BD239C	2N5296	1
BD239A	NS	TOP66	L32	70V	60V	5V	2A	150C	30WC	3M	.	15MN	1A	AHG	RCB	BD239C	2N5298	1
BD239B	NS	TOP66	L32	90V	80V	5V	2A	150C	30WC	3M	.	15MN	1A	AHG	RCB	BD239C	2N6743	1
BD239C	NS	TOP66	L32	115V	100V	5V	2A	150C	30WC	3M	.	15MN	1A	AHG	RCB	BD239C	2N6473	1
BD240	PS	TOP66	L32	55V	45V	5V	2A	150C	30WC	3M	.	15MN	1A	AHG	RCB	BD240C	2N6109	1
BD240A	PS	TOP66	L32	70V	60V	5V	2A	150C	30WC	3M	.	15MN	1A	AHG	RCB	BD240C	2N6107	1
BD240B	PS	TOP66	L32	90V	80V	5V	2A	150C	30WC	3M	.	15MN	1A	AHG	RCB	BD240C	2N6475	1
BD240C	PS	TOP66	L32	115V	100V	5V	2A	150C	30WC	3M	.	15MN	1A	AHG	RCB	BD240C	2N6475	1
BD241	NS	TOP66	L32	55V	45V	5V	3A	150C	40WC	3M	.	25MN	1A	AHG	RCB	BD241C	2N6290	1
BD241A	NS	TOP66	L32	70V	60V	5V	3A	150C	40WC	3M	.	25MN	1A	AHG	RCB	BD241C	2N6292	1
BD241B	NS	TOP66	L32	90V	80V	5V	3A	150C	40WC	3M	.	25MN	1A	AHG	RCB	BD241C	2N6473	1
BD241C	NS	TOP66	L32	115V	100V	5V	3A	150C	40WC	3M	.	25MN	1A	AHG	RCB	BD241C	2N6743	1
BD242	PS	TOP66	L32	55V	45V	5V	3A	150C	40WC	3M	.	25MN	1A	AHG	RCB	BD242C	2N6109	1
BD242A	PS	TOP66	L32	70V	60V	5V	3A	150C	40WC	3M	.	25MN	1A	AHG	RCB	BD242C	2N6107	1
BD242B	PS	TOP66	L32	90V	80V	5V	3A	150C	40WC	3M	.	25MN	1A	AHG	RCB	BD242C	2N6475	1
BD242C	PS	TOP66	L32	115V	100V	5V	3A	150C	40WC	3M	.	25MN	1A	AHG	RCB	BD242C	2N6475	1
BD243	NS	TOP66	L32	55V	45V	5V	6A	150C	65WC	3M	.	30MN	300MA	AHG	RCB	BD243C	2N6487	1
BD243A	NS	TOP66	L32	70V	60V	5V	6A	150C	65WC	3M	.	30MN	300MA	AHG	RCB	BD243C	2N6487	1
BD243B	NS	TOP66	L32	90V	80V	5V	6A	150C	65WC	3M	.	30MN	300MA	AHG	RCB	BD243C	2N6488	1
BD243C	NS	TOP66	L32	115V	100V	5V	6A	150C	65WC	3M	.	30MN	300MA	AHG	RCB	BD243C	2N6488	2
BD244	PS	TOP66	L32	55V	45V	5V	6A	150C	65WC	3M	.	30MN	300MA	AHG	RCB	BD244C	2N6490	1
BD244A	PS	TOP66	L32	70V	60V	5V	6A	150C	65WC	3M	.	30MN	300MA	AHG	RCB	BD244C	2N6490	1
BD244B	PS	TOP66	L32	90V	80V	5V	6A	150C	65WC	3M	.	30MN	300MA	AHG	RCB	BD244C	2N6491	1
BD244C	PS	TOP66	L32	115V	100V	5V	6A	150C	65WC	3M	.	30MN	300MA	AHG	RCB	BD244C	2N6491	1
BD245	NS	TOP3	L34	55V	45V	5V	15A	150C	80WC	.	.	40MN	1A	AHG	TIW	BD213	.	1
BD245A	NS	TOP3	L34	70V	60V	5V	15A	150C	80WC	.	.	40MN	1A	AHG	TIW	BD213	.	1
BD245B	NS	TOP3	L34	90V	80V	5V	15A	150C	80WC	.	.	40MN	1A	AHG	TIW	BD213	.	1
BD245C	NS	TOP3	L34	115V	100V	5V	15A	150C	80WC	.	.	40MN	1A	AHG	TIW	BD213	.	1
BD246	PS	TOP3	L34	55V	45V	5V	15A	150C	80WC	.	.	40MN	1A	AHG	TIW	BD214	.	1
BD246A	PS	TOP3	L34	70V	60V	5V	15A	150C	80WC	.	.	40MN	1A	AHG	TIW	BD214	.	1
BD246B	PS	TOP3	L34	90V	80V	5V	15A	150C	80WC	.	.	40MN	1A	AHG	TIW	BD214	.	1
BD246C	PS	TOP3	L34	115V	100V	5V	15A	150C	80WC	.	.	40MN	1A	AHG	TIW	BD214	.	1
BD249	NS	TOP3	L34	55V	45V	5V	40A	150C	125WC	.	.	25MN	1.5A	AHG	TIW	BDX40	2N3772	1
BD249A	NS	TOP3	L34	70V	60V	5V	40A	150C	125WC	.	.	25MN	1.5W	AHG	TIW	BDX40	2N3772	1
BD249B	NS	TOP3	L34	90V	80V	5V	40A	150C	125WC	.	.	25MN	1.5A	AHG	TIW	BDX40	2N5686	1
BD249C	NS	TOP3	L34	115V	100V	5V	40A	150C	125WC	.	.	25MN	1.5A	AHG	TIW	BDY29	2N3772	1
BD250	PS	TOP3	L34	55V	45V	5V	40A	150C	125WC	.	.	25MN	1.5A	AHG	TIW	BD258	.	1
BD250A	PS	TOP3	L34	70V	60V	5V	40A	150C	125WC	.	.	25MN	1.5A	AHG	TIW	BD258	.	1
BD250B	PS	TOP3	L34	90V	80V	5V	40A	150C	125WC	.	.	25MN	1.5A	AHG	TIW	BD258	.	1
BD250C	PS	TOP3	L34	115V	100V	5V	40A	150C	125WC	.	.	25MN	1.5A	AHG	TIW	BD258	.	1
BD251	NS	TO3	L05	40V	40V	5V	3A	150C	20WC	25M	.	20MN	2A	RHG	ATB	BDY24	2N3448	1
BD253	NS	TO3	L05	350V	200V	.	6A	200C	50WC	2500K	.	15MN	1A	AHE	TIB	.	.	0
BD253A	NS	TO3	L05	500V	250V	.	6A	200C	50WC	2500K	.	15MN	1A	AHE	TIB	.	.	0
BD253B	NS	TO3	L05	700V	300V	.	6A	200C	50WC	2500K	.	15MN	1A	AHE	TIB	.	.	0
BD253C	NS	TO3	L05	900V	400V	.	6A	200C	50WC	2500K	.	15MN	50WC	AHE	TIB	.	.	0
BD257	NS	TOP3	L34	45V	45V	.	25A	150C	125WC	.	.	10MN	15A	AHG	TFK	BD257/1	.	0
BD257/45	NS	TOP3	L34	45V	45V	.	25A	150C	125WC	.	.	10MN	15A	AHG	TFK	BD257/1	.	0
BD257/60	NS	TOP3	L34	60V	60V	.	25A	150C	125WC	.	.	10MN	15A	AHH	TFK	BD257/1	.	0
BD257/80	NS	TOP3	L34	80V	80V	.	25A	150C	125WC	.	.	10MN	15A	AHH	TFK	BD257/1	.	0
BD257/100	NS	TOP3	L34	100V	100V	.	25A	150C	125WC	.	.	10FG	15A	AHH	TFK	BD257/1	.	0
BD258	PS	TOP3	L34	45V	45V	.	25A	150C	125WC	.	.	10MN	15A	AHG	TFK	BD258/1	.	0
BD258/45	PS	TOP3	L34	45V	45V	.	25A	150C	125WC	.	.	10MN	15A	AHG	TFK	BD258/1	.	0
BD258/60	PS	TOP3	L34	60V	60V	.	25A	150C	125WC	.	.	10MN	15A	AHH	TFK	BD258/1	.	0
BD258/80	PS	TOP3	L34	80V	80V	.	25A	150C	125WC	.	.	10MN	15A	AHH	TFK	BD258/1	.	0
BD258/100	PS	TOP3	L34	100V	100V	.	25A	150C	125WC	.	.	10MN	15A	AHH	TFK	BD258/1	.	0
BD260	NS	TO66	L43	105V	105V	6V	2A	175C	30WC	10M	.	50/300	500MA	RHH	ATB	BDY79	2N5050	1
BD261	NS	TO66	L43	105V	105V	6V	2A	175C	30WC	10M	.	50/300	500MA	RHH	ATB	BDY79	2N5050	1
BD262	PS	TO126	L69	60V	60V	.	6A	150C	36WC	1M	.	750MN	1500MA	AHD	MUB	.	.	0
BD262A	PS	TO126	L69	80V	80V	.	6A	150C	36WC	1M	.	750MN	1500MA	AHD	MUB	.	.	0
BD262B	PS	TO126	L31	100V	100V	5V	6A	150C	36WC	1M	.	750MN	1500MA	AHD	MUB	.	.	1
BD262L	PS	TO126	L31	45V	45V	.	6A	150C	36WC	1M	.	750MN	1500MA	AHD	OBS	BDX54C	.	2
BD263	NS	TO126	L69	80V	60V	.	6A	150C	36WC	1M	.	750MN	1500MA	AHD	MUB	.	.	0
BD263A	NS	TO126	L69	100V	80V	.	6A	150C	36WC	1M	.	750MN	1500MA	AHD	MUB	.	.	0
BD263B	NS	TO126	L31	120V	100V	5V	6A	150C	36WC	1M	.	750MN	1500MA	AHD	MUB	.	.	1
BD263L	NS	TO126	L31	45V	45V	.	6A	150C	36WC	1M	.	750MN	1500MA	AHD	OBS	BDX53C	.	2
BD264	PS	X34	L32	60V	60V	5V	4A	150C	40WC	4M	.	1000MN	2A	AHD	VAL	.	.	2
BD264A	PS	X34	L32	80V	80V	5V	4A	150C	40WC	4M	.	1000MN	2A	AHD	VAL	.	.	2
BD264B	PS	TOP66	L32	80V	80V	5V	4A	150C	40WC	4M	.	1000MN	2A	AHD	VAL	BDX54C	.	2
BD264L	PS	X34	L32	45V	45V	5V	4A	150C	40WC	4M	.	1000MN	2A	AHD	VAL	BDX54C	.	2
BD265	NS	X34	L32	80V	60V	5V	4A	150C	40WC	4M	.	1000MN	2A	AHD	VAL	.	.	2
BD265A	NS	X34	L32	100V	80V	5V	4A	150C	40WC	4M	.	1000MN	2A	AHD	VAL	.	.	2
BD265B	NS	X34	L32	100V	100V	5V	4A	150C	40WC	4M	.	1000MN	2A	AHD	OBS	BDX53C	.	2
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	BDX53C	.	2
BD266	PS	TOP66	L32	60V	60V	.	6A	150C	65WC	1M	.	750MN	3A	AHD	MUB	.	.	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRANSISTOR NUMBER	PW OA LT	PACK-AGE	LEA. INFO	V CE MAX	V CE MAX	V EB MAX	I C MAX	T J MAX	P TOT	F T MIN	C OB MAX	H FE	H FE BIAS	USE	MFR	EUR EQUIV	USA EQUIV	ISS
BC107A	NS	TO18	L01	50V	45V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	110MIN	2MA	ALG	MUR	BC107	2N929	0
BC107B	NS	TO18	L01	50V	45V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	5P	200MIN	2MA	ALG	MUR	BC107	2N929	0
BC107C	NS	TO18	L01	50V	45V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	5P	450MIN	2MA	ALN	MOX	BC107C	2N2510	2
BC107P	NS	TO92	L74	50V	45V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	5P	110MIN	2MA	ALG	FER	BC237B	2N5825	2
BC107AP	NS	TO92	L74	50V	45V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	110MIN	2MA	ALG	FER	BC237B	2N5825	2
BC107BP	NS	TO92	L74	50V	45V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	4P5	200MIN	2MA	ALG	FER	BC237B	2N5825	2
BC107CP	NS	TO92	L74	50V	45V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	450MIN	2MA	ALN	FER	BC549C	2N6006	2
BC108	NS	TO18	L01	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	120MIN	2MA	ALG	MUR	BC107	2N929	0
BC108A	NS	TO18	L01	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	120MIN	2MA	ALG	MUR	BC107	2N929	0
BC108B	NS	TO18	L01	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	200MIN	2MA	ALG	MUR	BC107	2N929	0
BC108C	NS	TO18	L01	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	420MIN	2MA	ALG	MUR	BC107	2N929	0
BC108P	NS	TO92	L74	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	120MIN	2MA	ALG	FER	BC237B	2N5825	2
BC108AP	NS	TO92	L74	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	120MIN	2MA	ALG	FER	BC237B	2N5825	2
BC108BP	NS	TO92	L74	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	200MIN	2MA	ALG	FER	BC237B	2N5825	2
BC108CP	NS	TO92	L74	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	420MIN	2MA	ALG	ALG	BC549C	2N6006	2
BC109	NS	TO18	L01	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	180MIN	2MA	ALN	MUR	BC109	2N930	0
BC109A	NS	TO18	L01	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	120MIN	2MA	ALN	MUR	BC109B	2N2586	2
BC109B	NS	TO18	L01	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	200MIN	2MA	ALN	MUR	BC109	2N930	0
BC109C	NS	TO18	L01	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	420MIN	2MA	ALN	MUR	BC109	2N930	0
BC109P	NS	TO92	L74	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	120MIN	2MA	ALN	FER	BC549C	2N6006	2
BC109BP	NS	TO92	L74	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	200MIN	2MA	ALN	FER	BC549C	2N6006	2
BC109CP	NS	TO92	L74	30V	20V	6V	100MA	175C	300MWF	150M	6P	420MIN	2MA	ALN	FER	BC549C	2N6006	2
BC110	NS	TO18	L01	80V	60V	5V	50MA	175C	300MWF	100M	5P	30MIN	2MA	ALG	TFK	BC107	A157	0
BC111	NS	X14	X14	35V	12V	4V	50MA	175C	100MWF	40M	.	80MIN	10MA	ALG	RTC	BC146	.	0
BC112	NS	X18	X18	20V	12V	3V	50MA	.	30MWF	40M	.	60MIN	200UA	ALN	RTC	BC146	.	0
BC112D	NS	X18	X18	20V	12V	3V	50MA	125C	30MWF	40M	.	280MIN	200UA	ALN	VAL	BFS36	2N930	1
BC112R	NS	X18	X18	20V	12V	3V	50MA	125C	30MWF	40M	.	80/200	200UA	ALN	VAL	BFS36	2N930	1
BC112Y	NS	X18	X18	20V	12V	3V	50MA	125C	30MWF	40M	.	140MIN	200UA	ALN	VAL	BFS36	2N930	1
BC113	NS	TO106	L17	30V	25V	6V	50MA	125C	200MWF	60M	5P	200MIN	1MA	ALN	SGI	BC209	2N4967	0
BC113A	NS	TO106	L17	40V	40V	6V	50MA	125C	200MWF	60M	5P	200MIN	1MA	ALN	OBS	BC209	2N4967	2
BC114	NS	TO106	L17	30V	25V	6V	50MA	125C	200MWF	60M	5P	200MIN	1MA	ALN	SGI	BC209	2N4967	0
BC114A	NS	TO106	L17	40V	40V	6V	50MA	125C	200MWF	60M	5P	200MIN	1MA	ALN	OBS	BC209	2N4967	2
BC115	NS	TO105	L04	40V	30V	5V	100MA	125C	300MWF	40M	25P	80MIN	10MA	ALG	SGI	BC237	2N5825	0
BC116	PS	TO105	L04	45V	40V	5V	100MA	125C	300MWF	130M	8P	35MIN	10MA	ALG	SGI	BC307	2N6015	0
BC116A	PS	TO105	L04	45V	40V	5V	600MA	125C	300MWF	100M	10P	60/150	50MA	AMG	SGI	BFR23	2N4036	0
BC117	NS	TO105	L04	120V	120V	5V	50MA	125C	300MWF	60M	9P	30MIN	30MA	ALN	ATB	BC145	2N1990	0
BC118	NS	TO106	L17	45V	45V	4V	100MA	125C	200MWF	200M	3P5	50MIN	5MA	ALG	SGI	BC237	2N5825	0
BC119	NS	TO39	L04	60V	30V	5V	1A	200C	800MWF	40M	25P	40MIN	150MA	AMG	SGI	BFY51	2N2297	0
BC120	NS	TO39	L01	60V	30V	5V	1A	200C	800MWF	40M	25P	20MIN	150MA	AMG	SGI	BFY51	2N2297	0
BC121	NS	X16	X16	5V	5V	5V	50MA	125C	90MWF	20M	.	25MIN	250UA	ALN	SID	BC146	.	0
BC121B	NS	X16	X16	5V	5V	5V	50MA	125C	90MWF	20M	.	450MIN	250UA	ALN	SID	BC146	2N3707	1
BC121G	NS	X16	X16	5V	5V	5V	50MA	125C	90MWF	20M	.	240MIN	250UA	ALN	SID	BC146	2N3707	1
BC121W	NS	X16	X16	5V	5V	5V	50MA	125C	90MWF	20M	.	75MIN	250UA	ALN	SID	BC146	2N3707	1
BC121Y	NS	X16	X16	5V	5V	5V	50MA	125C	90MWF	20M	.	125MIN	250UA	ALN	SID	BC146	2N3707	1
BC122	NS	X16	X16	30V	20V	5V	50MA	125C	90MWF	20M	.	25MIN	250UA	ALN	SID	BC146	.	0
BC122B	NS	X16	X16	30V	20V	5V	50MA	125C	90MWF	20M	.	750MIN	250UA	ALN	SID	BC146	2N3707	1
BC122G	NS	X16	X16	30V	20V	5V	50MA	125C	90MWF	20M	.	240MIN	250UA	ALN	SID	BC146	2N3707	1
BC122U	NS	X16	X16	30V	20V	5V	50MA	125C	90MWF	20M	.	125MIN	250UA	ALN	SID	BC146	2N3707	1
BC122W	NS	X16	X16	30V	20V	5V	50MA	125C	90MWF	20M	.	75MIN	250UA	ALN	SID	BC146	2N3707	1
BC123	NS	X16	X16	45V	30V	5V	50MA	125C	90MWF	20M	.	25MIN	250UA	ALN	SID	BC146	.	0
BC123G	NS	X16	X16	45V	30V	5V	50MA	125C	90MWF	20M	.	240MIN	250UA	ALN	SID	BC146	2N3707	1
BC123W	NS	X16	X16	45V	30V	5V	50MA	125C	90MWF	20M	.	75MIN	250UA	ALN	SID	BC146	2N3707	1
BC123Y	NS	X16	X16	45V	30V	5V	50MA	125C	90MWF	20M	.	125MIN	250UA	ALN	SID	BC146	2N3707	1
BC125	NS	TO105	L04	50V	30V	6V	500MA	125C	300MWF	40M	25P	30MIN	150MA	AMG	SGI	BFY50	2N2297	0
BC125A	NS	TO105	.	60V	40V	8V	500MA	125C	300MWF	40M	25P	30MIN	50MA	AMG	OBS	BCW36	2N5818	2
BC125B	NS	TO106	L17	60V	30V	5V	500MA	125C	300MWF	40M	25P	40/120	150MA	AMG	SGI	BFY50	2N2297	0
BC126	PS	TO105	L17	35V	30V	5V	600MA	125C	300MWF	100M	8P	40MIN	10MA	AMG	FCU	BC328	2N5819	0
BC126A	PS	TO106	L17	40V	40V	5V	600MA	125C	300MWF	100M	8P	30MIN	50MA	AMG	OBS	BC327	2N5819	2
BC127	NS	OBS	OBS	25V	20V	5V	50MA	125C	75MWF	20M	10P	125MIN	1MA	ALN	FCU	BC146	.	0
BC128	NS	OBS	OBS	25V	20V	5V	50MA	125C	100MWF	20M	40P	150MIN	1MA	ALN	FCU	BC146	.	0
BC129	NS	TO18	L01	50V	45V	5V	100MA	165C	175MWF	150M	6P	125MIN	2MA	ALG	TFK	BC107	A157	0
BC129A	NS	TO18	L01	50V	45V	5V	100MA	165C	175MWF	150M	6P	125MIN	2MA	ALG	TFK	BC107	2N930	1
BC129B	NS	TO18	L01	50V	45V	5V	100MA	165C	175MWF	150M	6P	240MIN	2MA	ALG	TFK	BC107	2N930	1
BC130	NS	TO18	L01	25V	20V	5V	100MA	165C	175MWF	150M	6P	125MIN	2MA	ALG	TFK	BC107	A157	0
BC130A	NS	TO18	L01	25V	20V	5V	100MA	165C	175MWF	150M	6P	125MIN	2MA	ALG	TFK	BC107	2N930	1
BC130B	NS	TO18	L01	25V	20V	5V	100MA	165C	175MWF	150M	6P	240MIN	2MA	ALG	TFK	BC108	2N930	1
BC130C	NS	TO18	L01	25V	20V	5V	100MA	165C	175MWF	150M	6P	470MIN	2MA	ALG	TFK	BC108	2N930	1
BC131	NS	TO18	L01	25V	20V	5V	100MA	165C	175MWF	150M	6P	240MIN	2MA	ALN	TFK	BC109	2N930	0
BC131B	NS	TO18	L01	25V	20V	5V	100MA	165C	175MWF	150M	6P	240MIN	2MA	ALN	TFK	BC108C	2N930	1
BC131C	NS	TO18	L01	25V	20V	5V	100MA	165C	175MWF	150M	6P	470MIN	2MA	ALN	TFK	BC108C	2N930	1
BC132	NS	TO106	L17	30V	25V	6V	200MA	125C	200MWF	40M	4P	60MIN	10MA	ALG	SGI	BC207	2N4966	0
BC134	NS	TO106	L17	45V	45V	4V	200MA	125C	200MWF	200M	4P	150MIN	10MA	ALG	SGI	BC207	2N4966	0
BC135	NS	TO106	L17	45V	45V	5V	200MA	125C	200MWF	200M	4P	50MIN	10MA	ALG	SGI	BC207	2N4966	0
BC135A	NS	TO106	L17	45V	45V	5V	200MA	125C	200MWF	200M	4P	120MIN	10MA	ALG	OBS	BC237B	2N5825	2
BC136	NS	TO105	L17	60V	40V	5V	100MA	175C	300MWF	60M	25P	40MIN	10MA	ALG	SGI	BC107	A157	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้