High Voltage Switch Mode Power Supply System

แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแบบสวิทชิ่งโหมด

ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2534

โดย

นาย ไกรศร ไกรศรีวรรธนะ รหัส 31.1017

นาย ชัยชาญ วรยศศรี รหัส 31.1059

นาย พงศ์ศรัณย์ ตานะประทีปกุล รหัส 31.1161

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล

008491

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2533

ภาควิชา อิเลคทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแบบสวิทชิ่งโหมด

ผู้จัดทำ

1. นาย ไกรศร ไกรศรีวรรธนะ เลขประจำตัว 311017
2. นาย ชัย[illegible] วรยศศรี เลขประจำตัว 311059
3. นาย พ[illegible]รัณย์ ตานะประทีปกุล เลขประจำตัว 311161

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแบบสวิทชิ่งโหมด

นักศึกษา นายไกรศร ไกรศรีวรรธนะ 31-1017

นายชัยชาญ วรยศศรี 31-1059

นายพงศ์ศรัณย์ ตานะปรชทีปกุล 31-1161

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล

ปีการศึกษา 2534

บทคัดย่อ

แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแบบสวิทชิ่งโหมด เป็นเครื่องมือที่ใช้จ่ายพลังงานเป็นศักดาไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ 50 Hz. ซึ่งสามารถปรับค่าแรงดันได้ เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้แก่ เครื่องใช้ไฟฟ้ากำลังสูง เช่น เครื่องยิงเลเซอร์ ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้คือ

ขั้นแรกนำเอาสัญญาณ AC 50 Hz มาทำการ Modulation กับสัญญาณ Triangle 10 KHz เพื่อที่จะให้ได้สัญญาณ PWM ซึ่งมีค่าความถี่ Fundamental เป็น 50 Hz แล้วนำ PWM มาสร้างสัญญาณช่วงทริกขาเกท โดยจะมี Deadtime เพื่อให้มีช่วงห่างของสัญญาณ ทำให้มีความปลอดภัย

ในช่วงของการสวิทช์ต่อไป แล้วนำสัญญาณที่ได้มาเข้า Opto couplers เพื่อที่จะนำไปทริกขาเกทของ วงจร Full bridge ซึ่งมี MOSFET 4 ตัว โดย FET แต่ละคู่จะทำงานพร้อมกันเพื่อให้ได้สัญญาณเอาท์พุท AC ที่สามารถปรับค่าได้ตามแรงดัน DC ที่จ่ายให้กับ M[illegible]T (แรงดัน DC นี้สร้างมาจากวงจร Switching ซึ่งใช้ ไอซี 494 เป็นตัวควบคุมสัญญาณทริก ให้กับ MOSFET โดยผ่าน Transformer แกน FERRITE ความถี่) เพื่อให้เครื่องจ่ายนี้ทำงานได้อย่างถูกต้องจึงมีการป้อนกลับจากเอาท์พุทไปยังอินพุทที่จ่ายให้กับวงจรตอนแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HIGH VOLTAGE SWITCH MODE POWER SUPPLY SYSTEM

Mr.Kraisorn Kraisriwatana 31-1017

Mr.Chaichan Lorayotsri 31-1059

Mr.Phongsarun Tansprateepkul 31-1161

Advisor

Mr.Somsak Cheersirikul

ABSTRACT

High voltage switch mode power supply system is an equipment for energy supply in form of AC high voltage 50 Hz that can very voltage. It use with high power equipment such as laser device.

Principle is modulating the 50 Hz AC signal the 10 Hz triangle. Signal produc...a PWM signal which has fundamental 50 Hz bring it to produce for trig gate that has deadtime for different time of signal. The purpose of deadtime for saving in switching and bring this signal to opto couplers to trig gate of four mosfet in one fullbridge. The output of this fet is AC signal that can very depend on DC signal that supply to mosfet (DC signal is come from switching circuit. This circuit use IC number 494, to control mosfet trig signal that pass the high frequency ferrite transformer.) Feedback output signal is for high efficientcy in working with this project.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาโปรเจ็คของนักศึกษาชั้นปีที่สี่ ประจำปีการศึกษา 2534 โดยมีชื่อโครงการว่า , HIGH VOLTAGE SWITCH MODE POWER SUPPLY SYSTEM ซึ่งจุดประสงค์หลักของโครงการนี้เพื่อนำไปเป็นตัวจ่ายพลังงานให้แก่เครื่องเลเซอร์ซึ่งต้องการพลังงานและความถี่สูงและหลักการนี้สามารถไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆได้มากมาย ซึ่งโครงการนี้มีหัวข้อหลักๆที่สำคัญคือ ส่วน AC TO DC และ DC TO AC ซึ่งผู้สนใจอาจศึกษาได้จากรายงานนี้ได้ แม้ว่าอาจจะไม่สมบูรณ์นักแต่ผู้เขียนก็หวังว่าคงจะมีประโยชน์บ้างไม่มากก็น้อย

นักศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบาญ

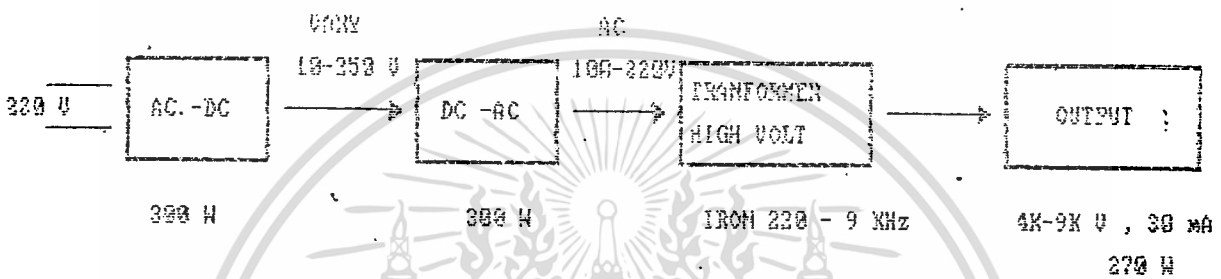
บทที่ 1	
ทฤษฎีและหลักการ	1
บทที่ 2	
ระบบ CONVERTER	4
OFF-THE-LINE SWITCHING POWER SUPPLY	5
PUSH-PULL CONVERTER	6
ข้อจำกัดของ PUSH PULL CONVERTER	8
ภาคเอาท์พุท	10
ภาคควบคุม	14
ส่วนปรับค่าแรงดันเอาท์พุท	16
การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	17
บทที่ 3	
ระบบ INVERTER	21
วงจร PUSH-PULL	23
วงจร HALF BRIDGE	27
วงจร FULL BRIDGE	31
ความรู้พื้นฐาน PWM	33
การสร้างรูปคลื่น PWM	34
บทที่ 4	
หลักการใช้เพาเวอร์มอสเฟท	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

ทฤษฎีและหลักการ

ทฤษฎี High voltage switch mode power supply



รูปที่ 1.1 Block Diagram ของ High Voltage Switch Mode Power supply

H.V. Switch Mode power Supplyประกอบด้วยส่วนต่างดังนี้

1.AC to DC Converter

2.DC to AC Inverter

3.Transformer High Voltage

โดยส่วนประกอบทั้ง 4 ส่วนจะประกอบกันดังรูป 1.1

1.AC to DC Converter

จะเป็นส่วนที่ทำการแปลงสัญญาณ AC ให้เป็น DC ซึ่งสามารถ เปลี่ยนแปลงค่าได้จาก 10 ถึง 200 โวลท์เพื่อจ่ายให้แก่ Inverter ทำให้ เกิดเอาท์พุทเป็นสัญญาณsine

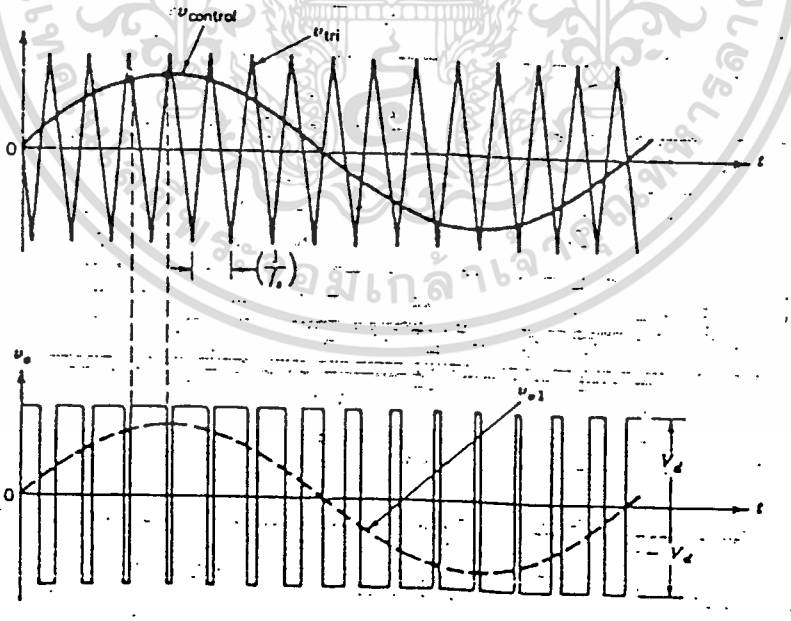
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการใช้ power mosfet เป็นสวิทช์และยังมีการควบคุมให้กระแสมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ตามแรงดันของไฟmain จะช่วยให้ power factor ของระบบใกล้ 1 มากขึ้น นอกจากนี้ การใช้สวิทช์ในการสร้างแรงดันไฟตรงทำให้ไม่ต้องใช้หม้อแปลงในการสร้างแรงดันให้สูงขึ้น ดังนั้นน้ำหนักจึงลดลงด้วย

2.DC to AC Inverter

วงจร Inverter ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยจะมีแรงดันตามไฟ DC ที่ได้จาก Converter และจะมีความถี่ 50 Hz

วงจรอินเวอร์เตอร์นี้ประกอบไปด้วยภาคที่สำคัญ 3 ภาค คือ ภาคกำลัง ภาคควบคุม และภาคกรอง ภาคกำลังประกอบด้วยวงจรซึ่งทำหน้าที่ตัดต่อไฟตรงตามคำสั่งของภาคควบคุม ซึ่งในที่นี้ power mosfet เนื่องจากการออกแบบวงจรขับได้ง่ายกว่าการใช้ SCR แรงดันที่ออกจากภาคนี้จะมีลักษณะพัลส์บวกลบที่มีความกว้างแปรไปในลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ดังรูป 1.2



รูป1.2 แสดงการกำเนิดสัญญาณ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคควบคุมจะทำหน้าที่รักษาแรงดันออกให้คงที่ถึงแม้แรงดันออกให้คงที่ถึงแม้แรงดันไฟตรงจะเปลี่ยนไปก็ตาม รวมทั้งควบคุมความถี่และเฟสของไฟฟ้ากระแสสลับที่มาจากโรงไฟฟ้า การควบคุมดังกล่าวอาศัยการแปรผันความกล่าวดังกล่าวอาศัยการแปรผันความกว้างของพัลส์ นอกจากนี้ภาคควบคุมยังต้องกำหนดเวลาการสวิทช์ให้เหมาะสมเพื่อเป็นการลดฮาร์โมนิคส์ของแรงดันออก

ภาคกรองแรงดันออก จะทำให้แรงดันที่ออกจากภาคกำลัง มีใกล้แรงดันที่ออกจากภาคกำลังมีลักษณะใกล้เคียงคลื่นไซน์มากขึ้น โดยวงจรกรองนี้อาจเป็นวงจร LC, Low Pass Filter หรือ Resonant Filter

3.Transformer High voltage

เป็นส่วนที่ทำการ step up แรงดันที่ออกจากส่วน Inverter ให้มีแรงดันสูงประมาณ 9 kilovolts ความถี่ 50 Hz และมีกำลังประมาณ 270 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบ Converter

ระบบ Converter

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะไม่กล่าวเน้นถึงระบบนี้มากนัก โดยจะเสนอรูปแบบโครงสร้างโดยทั่วๆไป เนื่องจากวงจรในระบบนี้ไม่ยุ่งยากมากนัก

ระบบ Converter จะเป็นระบบที่ใช้ในการแปลงไฟสลับให้เป็นไฟตรง เพื่อที่จะนำไฟตรงนี้ไปจ่าย MOSFET เพื่อที่จะสามารถที่จะจ่ายไฟให้กับระบบ Inverter ได้

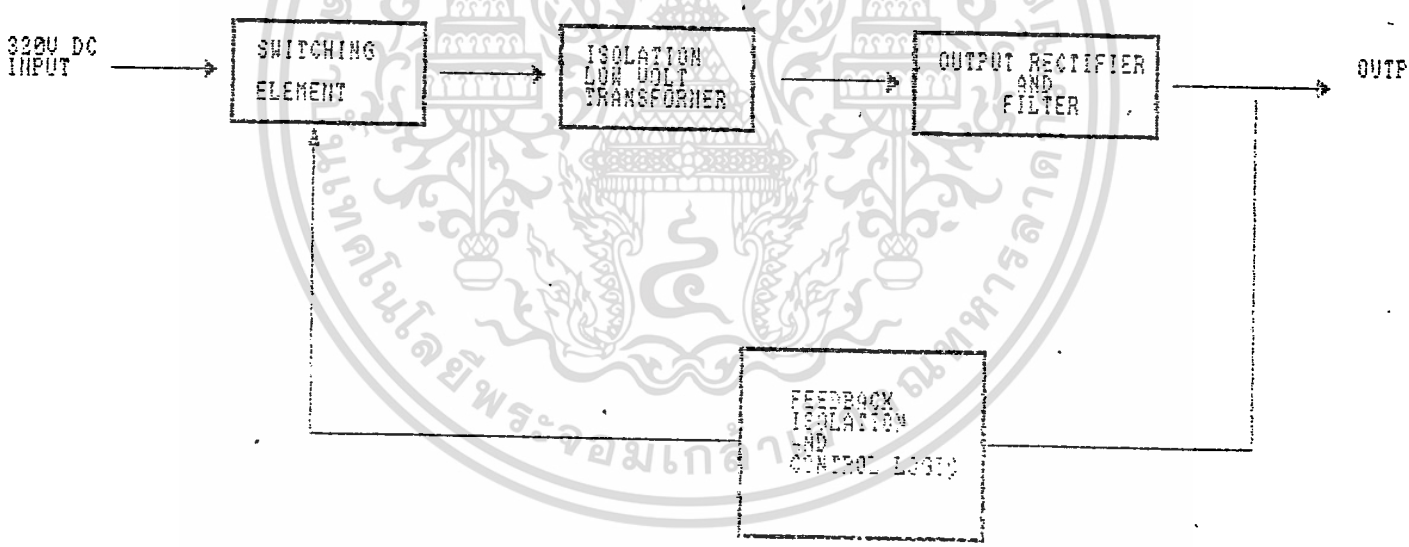
ภายในระบบ CONVERTER เรานำไฟจากไลน์ขนาด 220 Volt AC มาแปลงเป็นไฟ DC เราจะได้ไฟ DC ขนาด 310 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Off-the-Line Switching Power Supply

ใน Switching Power Supply นั้นมีรูปแบบต่างๆกันไป ตามแต่ลักษณะที่ผู้ออกแบบได้ออกแบบ ว่าต้องการจุดเด่นในด้านใด มีปัจจัยอะไรมาเกี่ยวข้องบ้าง ซึ่งจะมีหลายแบบให้เลือกได้แก่ Half bridge , Flyback , Forward แต่จุดใหญ่ๆของ Switching Power Supply ก็คือต้องให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งาน

ลักษณะการทำงานของ Off-the-Line Switching Power Supply ที่สามารถเขียนเป็นบล็อคการทำงานได้ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อคการทำงานของ Off-the-Line Swithcing Power Supply จะเห็นได้ว่าเมื่อเราป้อนอินพุท (220 Volt AC) เข้าไป ก็จะผ่านภาค RFI filter ซึ่งจะทำหน้าที่กรองความถี่ที่เราไม่ต้องการออกไป ต่อจากนั้นก็จะถูก rectify จากไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และผ่านภาคฟิลเตอร์เพื่อให้ได้กระแสตรงที่เรียบยิ่งขึ้น จากนั้นเข้าสู่ภาค Converter ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงจากไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับอีกครั้งหนึ่ง แต่จะมีความถี่สูงประมาณ 25 กิโลเฮิร์ซ ตัวที่ทำหน้าที่เปลี่ยนหรือเรียกว่า Converter ที่นิยมใช้ ได้แก่ BJT,SCR,GTO หรือ MOSFET ซึ่งก็แล้วแต่ผู้ออกแบบว่าจะใช้ตัวใด หลังจากนั้นก็จะผ่านหม้อแปลงความถี่สูง เพื่อปรับแรงดันให้ได้เอาท์พุทตามที่เราต้องการ แต่ก่อนจะใช้งาน ก็ต้องผ่านภาค rectify และฟิลเตอร์อีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้กระแสตรง

แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุท หรือว่าเปลี่ยนแปลงกระแสเอาท์พุทมากขึ้นเราต้องมีการควบคุมแรงดันเอาพุท ให้มีค่าคงที่ตลอดไม่ว่าแรงดันอินพุทหรือว่ากระแสเอาท์พุทเปลี่ยนไปอย่างไรก็ตาม นั่นคือจะต้องมีวงจรควบคุมแรงดันเอาท์พุท โดยการนำค่าแรงดันเอาท์พุทป้อนกลับเข้าวงจรควบคุม วงจรควบคุมจะนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่เรากำหนดไว้ หากไม่เท่ากันแล้ววงจรควบคุมก็จะปรับค่าคาบเวลาของ Converter ให้ช่วง on นั้นมากขึ้นหรือลดลง ก็แล้วแต่ว่า จะปรับแรงดันเอาท์พุทให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามที่ค่าเอาท์พุทส่งเข้ามา ก็มีผลให้แรงดันเอาท์พุท มีค่าคงที่ตลอดเวลา แต่ก็มีขีดจำกัดของช่วงแรงดันอินพุท และกระแสเอาท์พุทอยู่ช่วงๆหนึ่ง ถ้าหากเกินช่วงที่กำหนดแล้ว ก็อาจจะทำให้เกิดการเสียหายได้

Push-Pull Converter

Push_Pull Converter นั้นมีชื่อเรียกอื่นๆ อีกหลายอย่าง แต่ว่า Push-PullConverter เป็นที่นิยมมากที่สุด สำหรับ Push-Pull Converter นั้น มีลักษณะเหมือนกับForward Converter สองชุดที่ทำงานในเฟสตรงข้ามกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าแต่ละConverter จะทำงานตัวละครึ่ง cycle นั่นเอง

จากรูปที่ 2 เป็นรูปพื้นฐานของ Push-Pull Converter และ wave form ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันเอาท์พุทของ Push-Pull Converter หาได้จาก

$$V_{OUT} = \frac{2D_{max}V_{in}}{n}$$

ค่าของ D_{max} นั้นมีค่าไม่เกิน 0.5 เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการที่ Switching Transisterทั้งสองตัว on พร้อมกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการเสียหายได้ เพราะฉนั้นค่า D_{max} เหมาะสมคือ 0.4 เราสามารถเขียนสมการใหม่ได้ว่า

$$V_{OUT} = \frac{0.8V_{IN}}{n}$$

เมื่อ n คือค่า อัตราส่วนของ Primary to Secondary

แต่ละส่วนของ Push Pull Converter ก็คือ Forward Converter ดังนั้น

แรงดันที่ตกคล่อม Transister ขณะ off จะมีค่า

$$V_{CE\ MAX} = 2V_{IN}$$

ค่าของกระแส Collector สูงสุดของ Transister แต่ละตัว คือ

$$I_c = \frac{P_{OUT}}{nD_{max}V_{in}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคงที่บางตัว เราสามารถ ประมาณได้ว่า

$$n = 80\ \%$$

$$D_{max} = 0.8$$

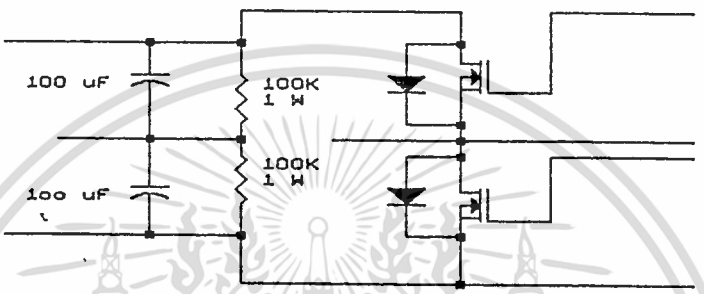
เราสามารถเขียนสมการใหม่ได้ว่า

$$I_c = \frac{1.6\ P_{out}}{V_{in}}$$

ข้อจำกัดของ Push Pull Converter

ถึงแม้ว่า Push Pull Converter จะมีข้อดีหลายประการ แต่ก็มีข้อจำกัดในการใช้งานเหมือนกัน ข้อแรกคือ ขีดความสามารถในการทนแรงดันของ Transister ที่ใช้ ซึ่งจะต้องทนได้มากกว่าสองเท่าของแรงดันที่ป้อนเข้ามา รวมกับค่าของ leakage spike ที่เกิดขึ้น นั่นคือSwitching Transister จะต้องทนแรงดันได้มากกว่า 800 V (ใน 220 V AC) ซึ่งจะเกิดขึ้นเฉพาะ Push Pull Converter เท่านั้น เพราะฉนั้น จึงจำเป็นต้องใช้ Switching Transister ที่ทนแรงดันและกระแสได้สูง ดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3

ข้อจำกัดข้อที่ 2 คือ การอิ่มตัวของแกนหม้อแปลง แต่ในปัจจุบันนี้ แกนเฟอไรท์ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เพราะว่ามีค่าการสูญเสียต่ำ เมื่อถูกนำไปใช้งานที่ความถี่สูง

008491

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

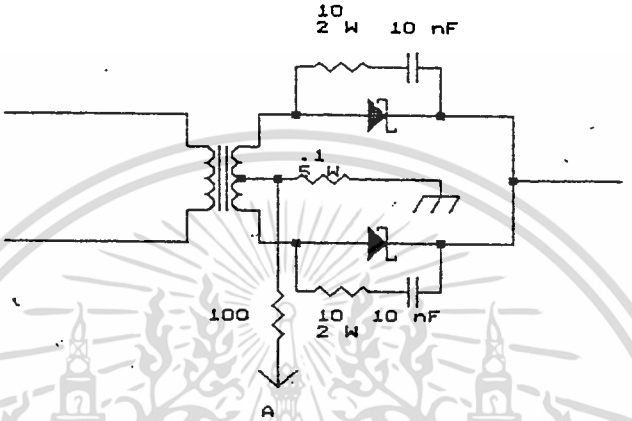
ภาคเอาท์พุท

โดยทั่วไปแล้วภาคเอาท์พุทของ Switching Power Supply ไม่ว่าจะเป็นแบบ Single or Multiple DC output จะประกอบไปด้วย ภาค rectify และ filter แต่ที่แตกต่างออกไปคือ แรงดันก่อนที่จะผ่านการ rectify นั้นเป็น คลื่น square wave ความถี่สูงซึ่งทำให้ต้องการอุปกรณ์พิเศษออกไป เช่น ไดโอด แบบ Schottky หรือ fast recoveryคาปาซิเตอร์ ที่มีค่า ESR(Equivalent Series Resistance)ต่ำ และอินดัคเตอร์ เพื่อให้เอาท์พุทมีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด

การออกแบบไดโอดที่จะใช้ใน Switching Power Supply นั้น จะต้องมีแรงดันตกคล่อมที่รอยต่อ p-n ขณะ forward bias ต่ำ และเป็นไดโอดที่มีลักษณะ fast recovery ไดโอดที่เหมาะสมได้แก่ Schottky Diode ซึ่งจะมีแรงดันตกคล่อมประมาณ 0.5 โวลท์เท่านั้น ไม่ว่ากระแสเอาท์พุทจะเปลี่ยนไปอย่างไรก็ตาม และสามารถที่จะทำงานที่ความถี่สูงได้ โดยที่พาหะส่วนน้อยไม่มีต่อไดโอดชนิดนี้ แต่ว่าไดโอดนี้ไม่สามารถที่จะทนแรงดันได้สูงมาก (100 โวลท์)และจะเกิดปรากฏการณ์ thermal runaway เมื่อมีกระแสรั่วไหลย้อนกลับมากๆ ปัญหาเหล่านี้สามารถเลี่ยงได้ด้วยออกแบบการป้องกัน transient overvoltage และเลือกจุดทำงานของไดโอดที่อุณหภูมิตรงรอยต่อมีค่าต่ำๆ

การออกแบบป้องกัน transient overvoltage ทำได้โดยการใช้ RC snubber ซึ่งจะมีหน้าที่กำจัด transient ดังรูป ในหน้าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4

นอกจากนี้เรายังสามารถคำนวณหาค่ากระแส peak ที่ไหลผ่านไดโอดได้จากสมการดังนี้

$$I_{FM} = \frac{2I_{OUT}}{1 - D_{MAX}}$$

เมื่อ D_{MAX} คือ converter's maximum duty factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน Switching Power Supply ทั่วๆไปนั้น จะมีขดลวดเหนี่ยวนำ หรือ inductorในภาค filter โดยจะมีหน้าที่อยู่ 2 อย่าง คือ จะเก็บพลังงานขณะที่ converter off เพื่อที่กระแสเอาท์พุทจ่ายให้โหลดอย่างต่อเนื่อง อย่างที่สองก็คือ ช่วยให้แรงดันเอาท์พุทเรียบโดยเฉลี่ยให้เท่ากันตลอด มีค่า ripple อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับแกนที่นิยมใช้นั้นก็จะเป็นแกนเฟอร์ไรท์,แกนเหล็กผงอัดแน่น หรือ molypermalloy (MPP) แกนเหล่านี้เหมาะสมอยู่หลายๆประการ ไม่ว่าจะราคาม,น้ำหนัก,การใช้งานหรือคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่แกนเหล็กผงและMPP มักจะเป็นแกนแบบ toroid ส่วนแกนเฟอไรท์หรือแกนอื่นนั้น จะมีช่องว่างเพราะว่ามีความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กต่ำ ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และม้กจะมีขนาด ใหญ่ แต่ว่าแกนเฟอไรท์จะพันง่ายกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเส้นลวดมีขนาดใหญ่ เราสามารถคำนวณค่าของ inductor ได้โดยสมการ

$$L = \frac{E_{OUT} t_{OFF}}{0.25 I_{OUT}}$$

เมื่อ $$t_{OFF} = \frac{1-(E_{OUT}-E_{IN})}{2f}$$

สำหรับการเลือกใช้คาปาซิเตอร์ในภาค filter นั้น ขึ้นอยู่กับ converter ที่ใช้อยู่รวมทั้งกระแสสูงสุดที่ใช้และความถี่ที่ใช้ด้วย ในปัจจุบันนิยมใช้คาปาซิเตอร์แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrolytics โดยเฉพาะอย่างยิ่งชนิดที่มีค่า ESR ต่ำ ค่า ESR ของคาปาซิเตอร์มีผลต่อ ripple ค่าเอาท์พุทและอายุการของตัวมันเองด้วย เราสามารถคำนวณค่าความจุที่น้อยที่สุดที่ใช้งานได้ของโดย

$$C_{OUT} = \frac{0.25 I_L}{8 f V_{OUT}}$$

เมื่อ V_{OUT} คือ ค่า ripple สูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ peak-peak

f คือ ค่าของความถี่ที่ใช้งาน

เพื่อความแน่นอนในค่า ripple ที่น้อยที่สุดเกิดขึ้นในแรงดันเอาท์พุท ค่า ESR ของคาปาซิเตอร์สามารถคำนวณได้โดย

$$ESR_{MAX} = \frac{V_{OUT}}{I_{OUT}}$$

การเลือกใช้ LC filter ที่ถูกต้องนั้นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง มีผลกระทบต่อ Switching Power Supply อยู่สองข้อ ข้อแรกคือ มีผลต่อทั้งหมดในระบบเสถียรภาพของลวิทชิ่ง อย่างเช่นการใช้ค่าของ L น้อยๆ และค่าของ C มากๆ ก็จะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงค่าimpedance ของ filter ของเอาท์พุทมีค่าน้อยลง นั่นหมายความว่า

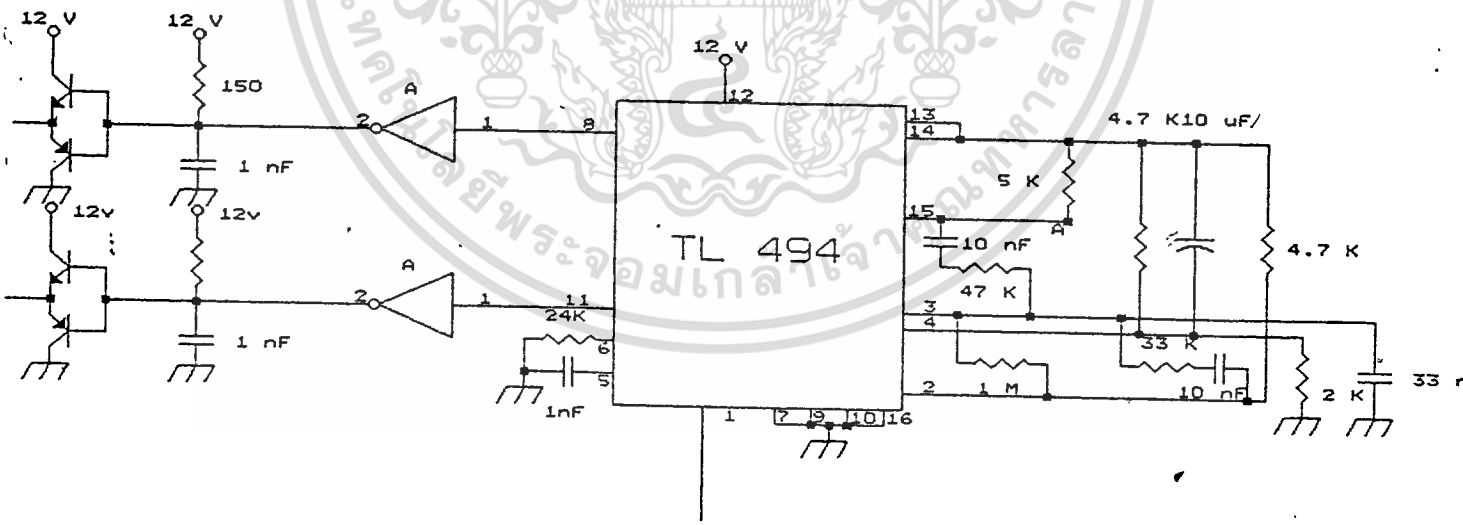
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power Supply นั้นเกิด transient น้อย เมื่อเกิดการเปลี่ยนโหลดแบบ step

<u>ภาคควบคุม</u>

ในปัจจุบันนี้ Switching Power Supplyส่วนใหญ่เป็นแบบ Pulse-Width-Modulated(PWM) ซึ่งการใช้เทคนิคการควบคุมแบบนี้ เราสามารถควบคุมช่วงเวลาและแรงดันตามที่เราต้องการได้ ถึงแม้ว่าจะมีวิธีอื่นก็ตาม แต่การใช้ PWM เป็นวิธีที่ดีที่สุด

การควบคุม Off-the-Line Switching Power Supply ซึ่งมีที่ใช้อยู่สองวิธี คือ ใช้หลักการ Optoisolation และอย่างที่สองก็เป็น Transformer Isolation ซึ่งแล้วแต่ผู้ออกแบบว่าจะใช้แบบ แต่ในโครงงานนี้ใช้แบบ Transformer Isolation ซึ่งใช้หม้อแปลงแกนเฟอไร์ ดังรูป 5(a)โดยที่ error amp,PWM และวงจรควบคุมจะใช้กราวนด์เดียวกันกับภาคเอาท์พุท โดยจะมีหม้อแปลงความถี่สูงแยกระหว่างภาคเอาท์พุทและอินพุทโดยหม้อแปลง T_1 และหม้อแปลง T_2 ที่ใช้ขับ Converter สำหรับแบบใช้ Opto นั้น จะขอไม่กล่าวถึงในที่นี้



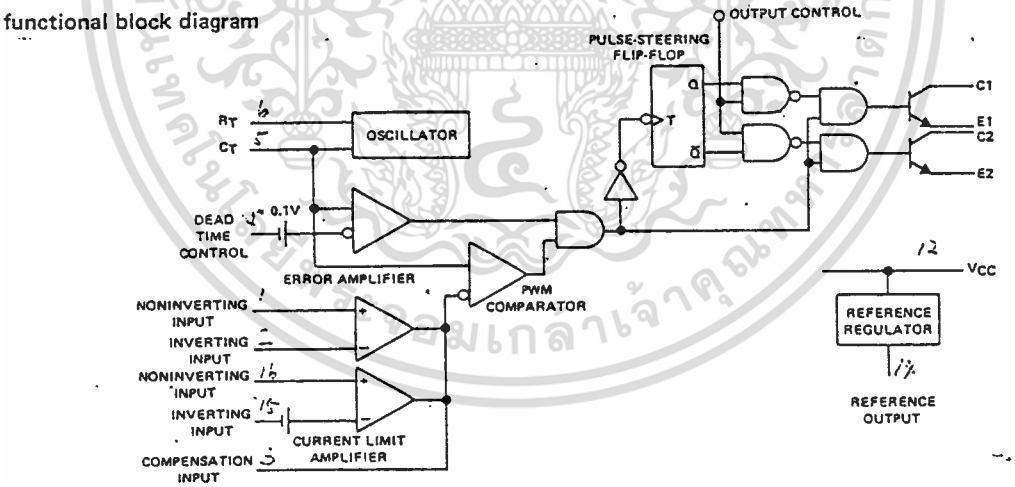
รูปที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ไอซี TL494 PWM ควบคุมนั้นทำได้โดยง่าย โดยที่TL494 มีลักษณะที่สามารถปรับค่าความถี่ได้ และยังได้รวมเอาวงจรพื้นฐานในการควบคุม Switching Power Supply เข้าไว้ ดังในรูปที่ 6 โดยค่าความถี่หาได้จากสมการ

$$f_{osc} = \frac{1.1}{R_t C_t}$$

โครงสร้างของ TL494 มีลักษณะวงจรต่อไปนี้

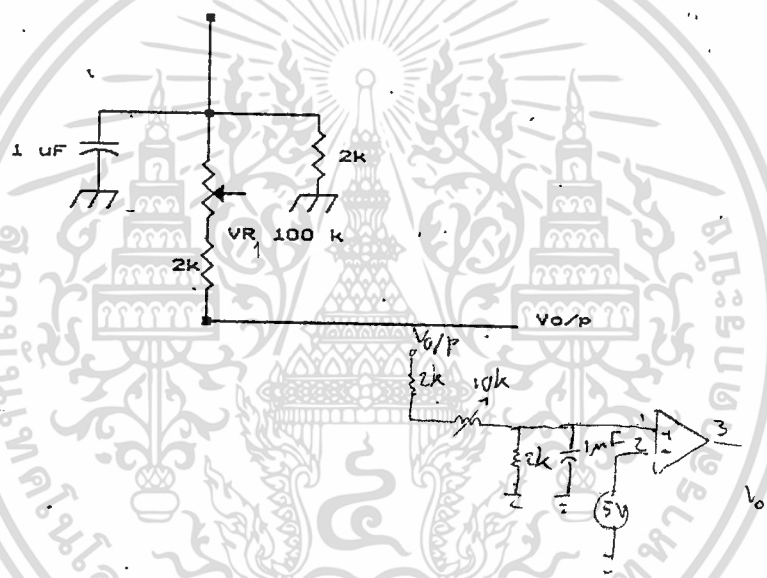


รูปที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนปรับค่าแรงดันเอาท์พุท

ในโครงการนี้เอาท์พุทสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตั้งแต่10-200 โวลท์ โดยเอาท์พุทนี้เราสามารถปรับได้โดย VR 1 ที่ต่อในลักษณะตามรูปเป็นการนำหลักของโวลท์เตจดิไวเดอร์มาใช้ ซึ่งขา1ของ TL 494 จะมีค่าเท่ากับ 5 โวลท์ตามขา 2 ซึ่งขาทั้งสองของ TL 494 เป็นขาอินพุทของopampใน IC ซึ่งขาสองมีV_{ref} เท่ากับ5โวลท์



เมื่อเราปรับVRจะได้เอาท์พุทดังนี้

$$Vout = 5 \times \left(1 + \frac{VR + 3.3K}{2K}\right)$$

เมื่อเรากำหนดให้ VR = 100K

เพราะฉะนั้นจะได้ V_{out} = 10 ถึง 200 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆในวงจร</u>

<u>ภาคอินพุท</u>

1. ไดโอดที่ใช้ในวงจร rectify เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน เลือกไดโอดที่ทนแรงดันได้สูง แต่ค่ากระแสไม่ต้องมากก็ได้ เนื่องจากเป็นภาคอินพุท ไม่ต้องการกระแสสูงมาก

2. ค่า Capacitor Filter ที่คำนวณได้จากสูตร

$$C = \frac{It}{\tilde{V}}$$

โดยที่ I คือ กระแสที่จ่าย

t คือ เวลาที่ C สะสมกระแส

$\tilde{V}$ คือ ค่า ripple ที่ยอมให้เกิดขึ้น

3. R ที่ใช้ขนานกับ C นั้น ใช้ค่าที่สูงๆ ที่ใช้ในวงจร ประมาณ 200 K-Ohms โดยนำ C ค่า 100 K-Ohms สองตัวมาต่ออนุกรมกัน

4. ตัว Converter ใช้ MOSFET เบอร์ IRF830 ซึ่งจะทนแรงดันและกระแสได้สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคเอาท์พุท

1. การคำนวณค่า L filter

$$L = \frac{E_{OUT} t_{OFF}}{0.25 I_{OUT}}$$

เมื่อ

$$t_{OFF} = \frac{1 - E_{OUT}/E_{IN}}{2f}$$

$$= 3.2 \text{ mH}$$

โดยที่ค่า E_{OUT}/E_{IN} สามารถใช้ค่าอัตราส่วนของหม้อแปลงได้

4. การคำนวณค่า C filter

$$C = \frac{0.25 I_L}{8 f \sim V_{OUT}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ~V คือค่า ripple ใช้ประมาณ 1 โวลท์
เพราะฉนั้นจะได้ค่า C ได้ว่า

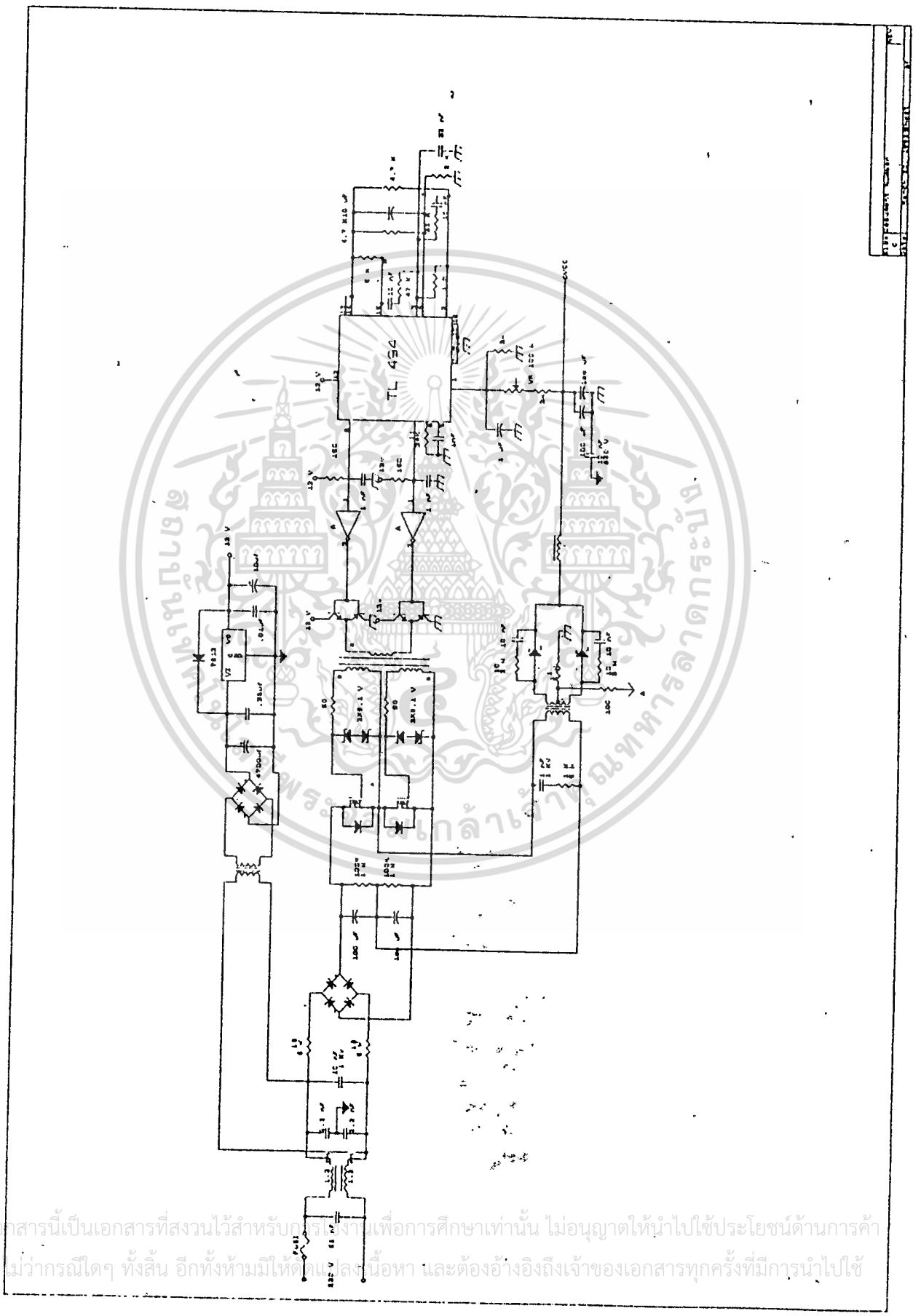
$$C = 1.25 \times 10^{-6} \text{ Farad}$$

แต่การใช้จริงเราสามารถใช้ค่าที่สูงกว่า ก็จะใช้ 200 uF

5. ไดโอดที่ใช้ เป็น Schottky Diode เบอร์ MR 854 ซึ่งจะทนแรงดันได้สูง

สำหรับไดโอดภาคเอาท์พุทนี้ จะมีชุดป้องกันและลด ringing ขณะที่ FET turn off โดยมีหลักการที่ว่า ค่า C ที่ใช้จะอยู่ในช่วง 0.01-0.1 uF ส่วนค่า R ที่นำมาต่ออนุกรมกับ Cนั้น มีที่มาของสมการที่ค่อนข้างยุ่งยาก ในที่นี้ใช้ค่าประมาณ 10 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบอินเวอร์เตอร์

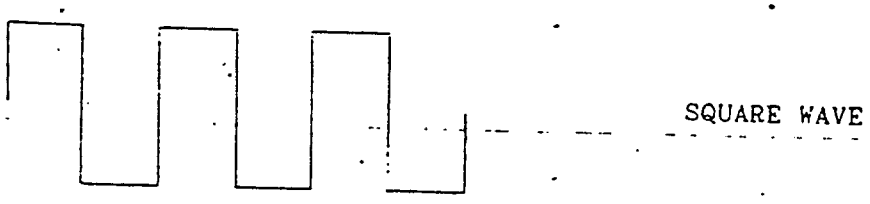
3.1 ระบบ Inverter

วงจรอินเตอร์เวอร์ เป็นการเปลี่ยนกำลังไฟทางด้านอินพุท ซึ่งเป็นไฟกระแสตรง (DC) จากแหล่งจ่ายไฟ ให้เป็นกำลังไฟสลับ (AC) ที่มีแรงดันและความถี่ตามต้องการ โดยในที่นี้ต้องการความถี่ 50 Hz. แรงดันไฟ AC จะเป็นสัญญาณที่ใกล้เคียงกับคลื่นซายน์ และมีขนาด 220 โวลท์ ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้ MOSFET เป็นอุปกรณ์ Switching

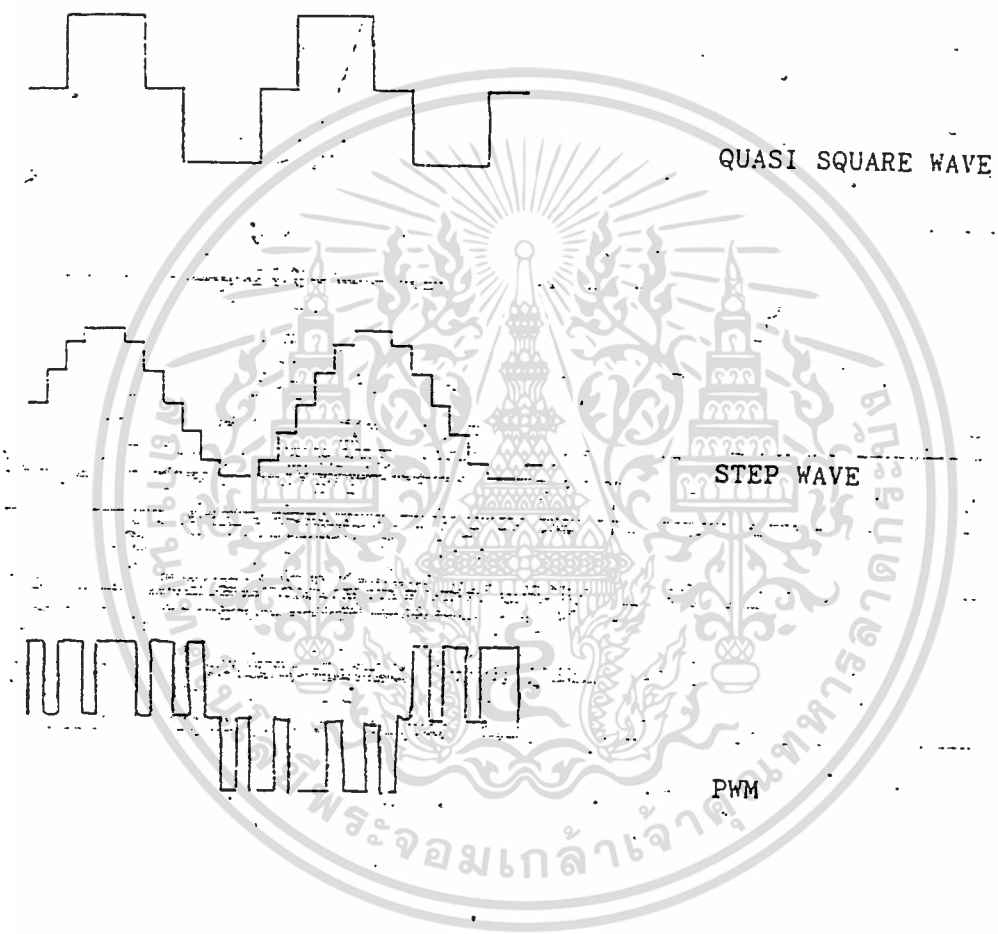
3.2 วงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรอินเวอร์เตอร์นั้น เอาท์พุทที่ได้จากวงจร ยังไม่ได้เป็นคลื่นซายน์ ถ้าหากยังไม่ได้มีการกรองความถี่ รูปคลื่นที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์จะมีลักษณะประกอบไปด้วย ผลรวมระหว่างความคลื่นความถี่หลักมูล กับ องประกอบฮาร์โมนิคส์ ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล

วงจรอินเวอร์เตอร์ เมื่อพิจารณาตามลักษณะของรูปคลื่นเอาท์พุท จะมีอยู่ด้วยกันหลายแบบดังแสดงในรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงรูปคลื่นเอาท์พุทแบบต่าง ๆ ของวงจรอินเวอร์เตอร์

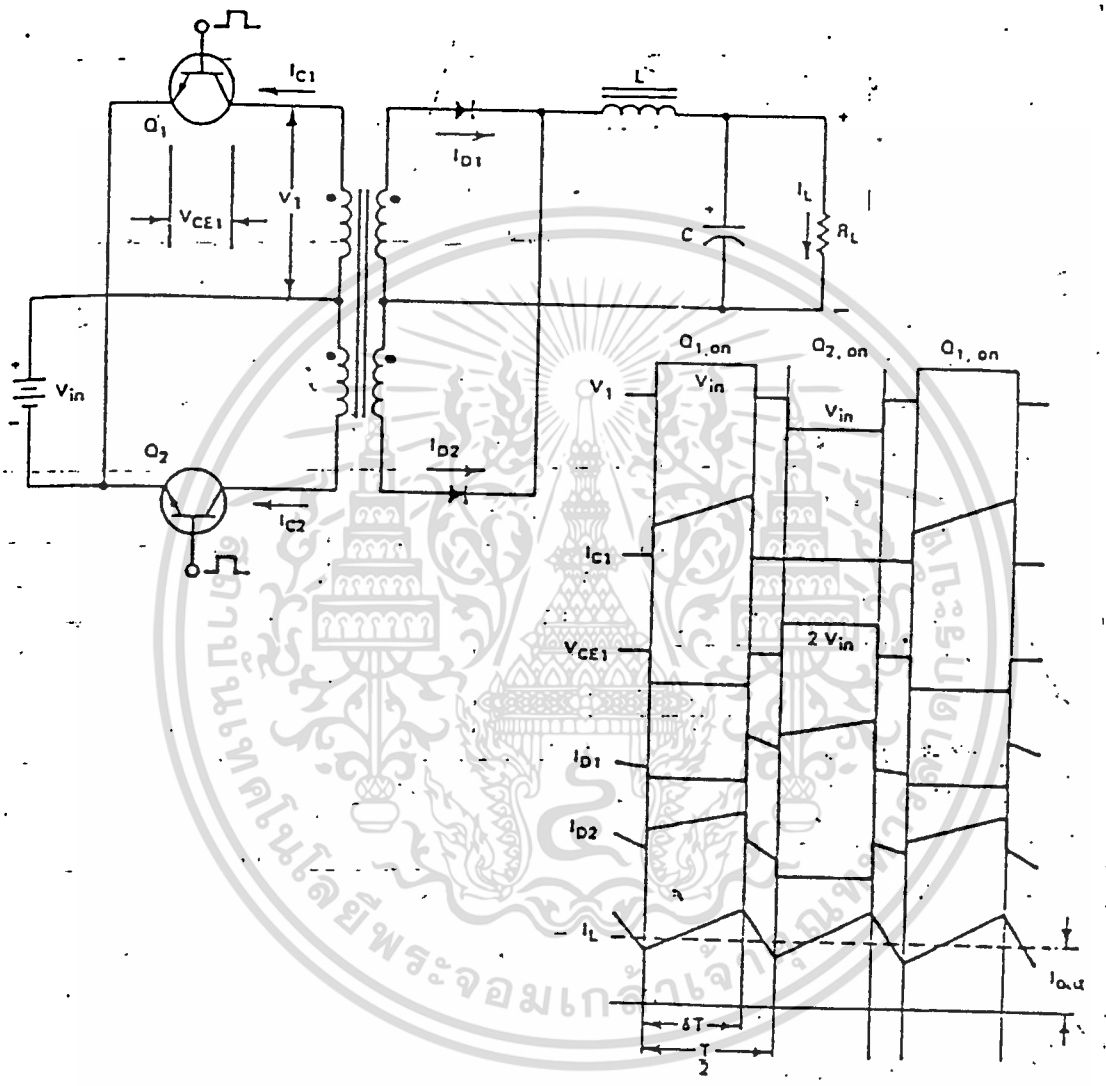
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสวิทชิ่งอินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้กันมีหลายแบบ แต่ละแบบจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมทั้งคุณสมบัติของอุปกรณ์ในแต่ละวงจร และขนาดของอุปกรณ์ก็จะแตกต่างกันไปด้วย วงจรอินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้ได้แก่ วงจรพุชพูล (Push pull) วงจรฮาฟบริดจ์ (Half Bridge) วงจรฟูลบริดจ์ (Full Bridge) ซึ่งเราสามารถเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของ Inverter แบบต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.2.1 วงจรพุชพูล (Push Pull)

วงจรพุชพูลนี้ การทำงานจะเสมือนว่ามีวงจร Forward 2 วงจร ผลัดกันทำงานคนละครึ่งไซเคิล (cycle) ดังรูป 2.2 จะแสดงถึงการทำงานในแต่ละไซเคิลของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรพุชพูล (Push Pull) และ wave form ที่จุดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฉลี่ยที่ผ่านอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของกระแสในวงจร Forward Convertor ตัวอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิทช์เอง ก็ต้องทนแรงดันเป็น 2 เท่า

ข้อดีของวงจรพุชพูลนั้น จะอยู่ในจุดของวงจรไม่ยุ่งยาก วงจรไดร์ฟจะไม่ซับซ้อนและไม่ต้องมีการแยกกราวด์ (Isolated Drive-Circuit) กระแสพิกัดจะต่ำกว่าปกติครึ่งหนึ่ง

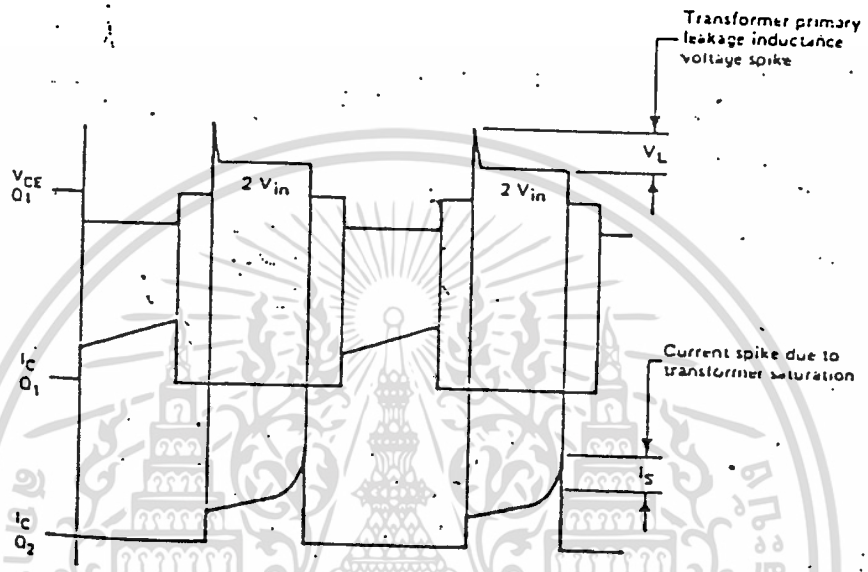
ข้อจำกัดของวงจรพุชพูล

1. ข้อจำกัดทางด้านขนาดของอุปกรณ์ เช่น การทนต่อพิกัดศักดา สำหรับวงจรพุชพูล พิกัดศักดาของอุปกรณ์ที่เป็นตัวสวิทช์ จะต้องทนได้ประมาณสองเท่าของศักดาอินพุท และกรณีที่เกิดศักดาสไปค์ซึ่งเป็นผลมาจาก leakage อินดัคแตนซ์ของหม้อแปลง ก็ยิ่งทำให้อุปกรณ์นั้นต้องทนโวลท์สูงขึ้นไปอีก

2. ปัญหาการอิ่มตัวของแกนที่ใช้เป็นหม้อแปลง ปัจจุบันนิยมใช้แกนเฟอร์ไรท์กันอย่างกว้างขวาง ในกรณีที่สวิทช์ชิ่งที่ความถี่สูง ๆ ประมาณ 20 kHz ขึ้นไป จะเกิด Loss มากเมื่อใช้แกนอื่น การที่เฟอร์ไรท์มีจุดอิ่มตัวของแกนสูง เพราะมีความหนาแน่นของฟลักซ์ต่ำประมาณ 3000 Gauss

การเกิดปัญหาแกนหม้อแปลงอิ่มตัวมาจาก เมื่ออุปกรณ์ที่ใช้เป็นสวิทช์เริ่มนำกระแสฟลักซ์จะเพิ่มในทิศของ B-H curve และจะกลับทิศเมื่ออุปกรณ์ตัวแรกหยุดนำกระแส อุปกรณ์ตัวที่สองนำกระแสแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 รูปคลื่นของศักดาและกระแสไปค์

การที่บริเวณ 2 บริเวณของ Flux density จะเท่ากันได้ อุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวสวิทช์จะต้องมีคุณลมบัติในการสวิทชิ่งเหมือนกัน และทำงานในลักษณะที่พอดีกัน เพราะถ้าหากคุณลมบัติในการสวิทชิ่งไม่เหมาะพอดีแล้ว จะเกิด Flux Walking ไปทิศทางหนึ่งของ B-H curve ซึ่งจะทำให้แกนอิ่มตัวได้ กรณีที่เป็นทรานซิสเตอร์กำลัง แกนอิ่มตัวจะหมายถึง เกิดกระแสไปค์ของคอลเล็คเตอร์ (collector) ทำให้ทราน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิสเตอร์ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว คุณสมบัติต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์จะเสียไป หรือพังไปในที่สุด (Thermal Runaway)

การแก้ปัญหาในส่วนที่เกิดขึ้นนี้ สามารถทำได้โดย

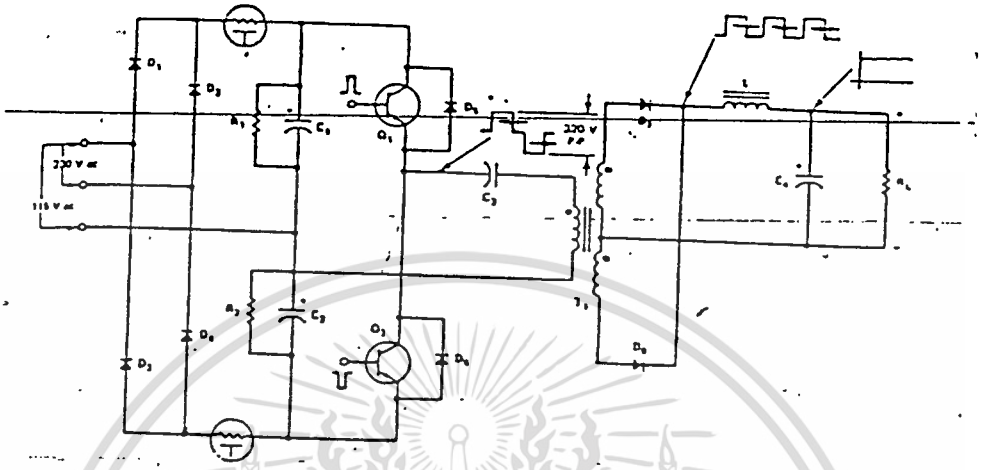
1. สร้างแกปให้กับแกนหม้อแปลง (Gap Core) เพื่อเป็นการลด leakage อินดัคแตนซ์ แต่จะมีผลให้การ transfer พลังงานลดลง

2. ติดวงจร Snubber เพื่อจำกัดขนาดของ ศักดาสไปค์

3.2.2 วงจรฮาร์ฟบริดจ์ (Half Bridge Circuit)

วงจรฮาร์ฟบริดจ์ จะเป็นการสลับกันทำงานทีละครึ่งไซเคิลของอุปกรณ์สวิทช์ โดยที่หม้อแปลงไม่มีการแทป ศักดาที่คร่อมอุปกรณ์เหล่านั้นจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของศักดาอินพุท การที่สวิทช์ตัวที่ 1 ทำงาน จะทำให้กระแสไหลผ่านหม้อแปลงในทิศทางหนึ่ง เมื่ออุปกรณ์อีกตัวหนึ่งทำงานกระแสก็จะไหลผ่านหม้อแปลงในทิศตรงข้ามกับตอนแรก ทำให้เกิดไฟสลับไปมาเป็นไซเคิล ดังในรูป 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรพื้นฐานฮาร์ฟบริดจ์

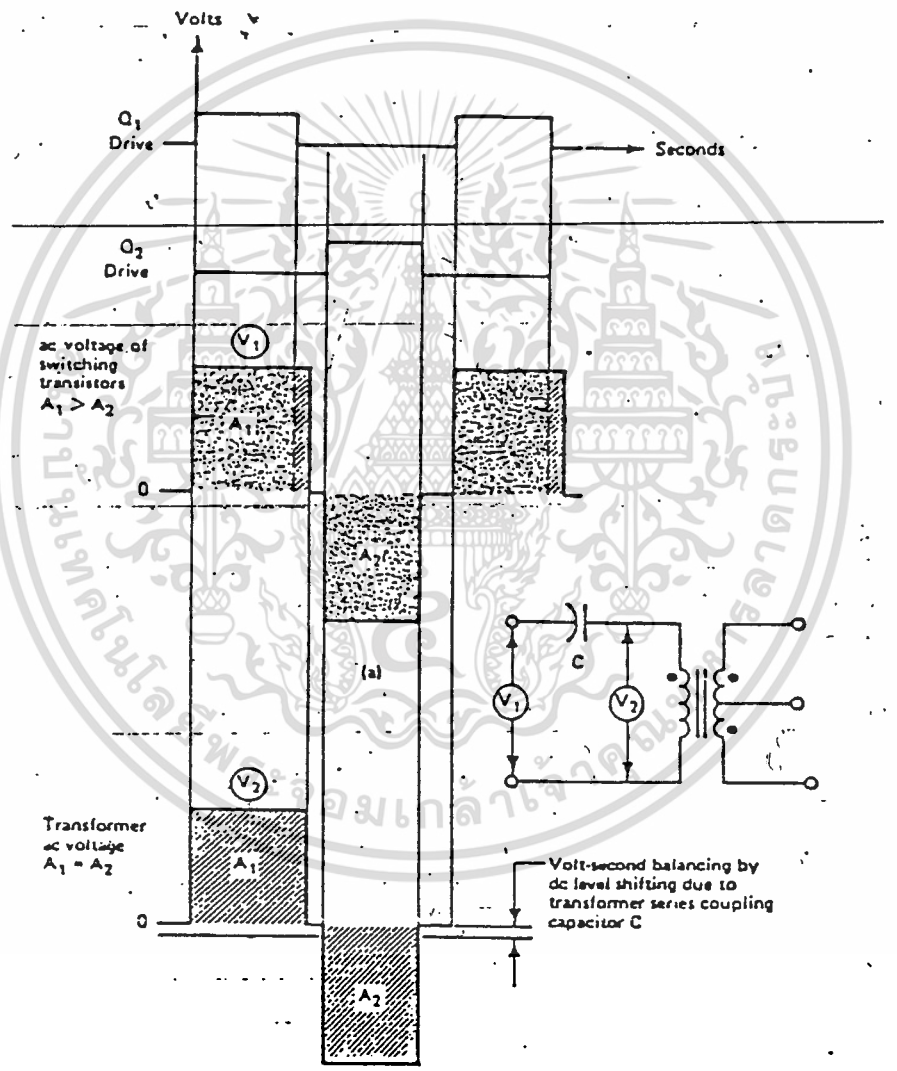
ข้อดีของวงจรฮาร์ฟบริดจ์

นอกจากสามารถลดขนาดของหม้อแปลง เนื่องจาก คักดาลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของคักดาอินพุทแล้ว วงจรฮาร์ฟบริดจ์ยังสามารถทำให้คักดาของเอาท์พุทเกิดความสมดุลย์กันได้อีก แต่สำหรับกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์สวิทช์จะสูงขึ้นกว่าปกติ โดยถ้าเราสมมติว่า วงจรมีประสิทธิภาพ 80% และมีค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) = 0.8 จะได้กระแสที่ขณะทำงาน

$$Ic = 3Pout/Vin$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่เกิดศักดาที่ไม่สมดุลย์กัน แล้วนำไปผ่านเข้าหม้อแปลง จะทำให้เกิด Flux Walking ซึ่งจะมีผลต่อไป ทำให้แกนหม้อแปลงเกิดอิ่มตัว และกระแสจำนวนมากมายจะเกิดขึ้น เช่นเดียวกับวงจรพุชพูล



รูปที่ 3.5 a) แสดงรูปคลื่นที่ไม่สมดุลย์

b) แสดงรูปคลื่นเมื่อใส่ C-Coupling เพื่อแก้ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ไข

1. เราสามารถแก้ไขการเกิดปัญหานี้ โดยการต่อ C-Coupling เข้าไป ดังแสดงในรูปโดยต่ออนุกรมเข้าไปกับหม้อแปลงด้านไพรมารี่ ซึ่งจะยกระดับ DC ขึ้นมา

2. อีกวิธีหนึ่งก็คือ การลดเวลา turn-off ของทรานซิสเตอร์ โดยการใช้ BakerClamp Diode ในวงจรขับเบส

การคำนวนค่า C-Coupling

การคำนวณจะเกี่ยวข้องกับ ค่าอินดัคแตนซ์ในส่วนของวงจรกรองทางด้าน Secondary ของหม้อแปลง ดังแสดงในสูตร

$$f_R = 1/2 \quad L_R C$$

เมื่อ f_R = Resonance Frequency , kHz

C = Coupling Capacitance , uF

L_R = Reflected Filter Inductance , uH

โดยที่

$$L_R = L(N_p/N_s)^2$$

N_p/N_s = Turn Ratio

L = Output Inductance

เมื่อแทนค่า L ลงในสมการแรกจะได้

$$C = 1/4\ ^2 f_R^{\ 2} (N_p/N_s)^2 L$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะให้การชาร์จประจุของ C-Coupling เป็นไปอย่างลิเนียร์ จึงควรเลือกความถี่ Resonance ประมาณ 1/4 เท่า ของความถี่ในการสวิทชิ่งหรือ

$$f_R = 0.25 f_s$$

โดยที่

f_s = ความถี่ที่ใช้ในการสวิทชิ่ง

สำหรับการคำนวณค่า Input Filter Capacitance เราสามารถที่จะคำนวณได้จากสูตร เพื่ออ้างอิงสำหรับการเลือกใช้งานจริงต่อไป

สูตรคำนวณค่า C

$$C = It / V$$

เมื่อ I = load current

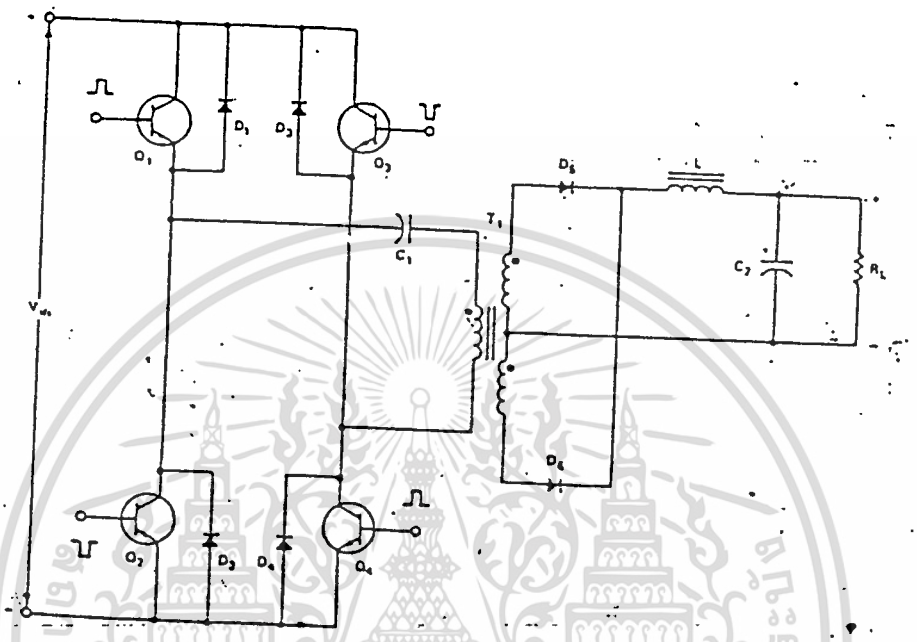
V = Voltage Ripple

R_1, R_2 = เป็นค่าความต้านทานที่จะรับประจุจาก C เมื่อหยุดนำกระแส

3.2.3 วงจรฟูลบริดจ์ (Full Bridge Circuit)

วงจรฟูลบริดจ์ เป็นวงจรที่เหมาะสำหรับการสวิทช์ที่พิกัดสูงขึ้น เพราะถ้าใช้วงจรพุชพูล หรือ ฮาร์ฟบริดจ์ ปัญหาจะมีมากกว่า ลักษณะการทำงานของวงจรคือ จะผลัดกันนำกระแสทีละคู่ ดังแสดงในรูป 3.6 ในที่นี้ Q_1 จะทำงานพร้อมกับ Q_4 และ Q_3 จะทำงานพร้อมกับ Q_2 สลับกันไปทีละครึ่งไซเคิลโดยที่ Q_1 และ Q_2 จะทำงานพร้อมกันไม่ได้ เพราะจะทำให้เกิดการ Short Through เช่นเดียวกันกับ Q_3 และ Q_4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์

ในที่นี้ถ้าหากสมมติว่า ประสิทธิภาพของวงจร 80% และ duty cycle = 0.8 จะได้ว่ากระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ขณะทำงาน

$$Ic = 1.6\ Pout/Vin$$

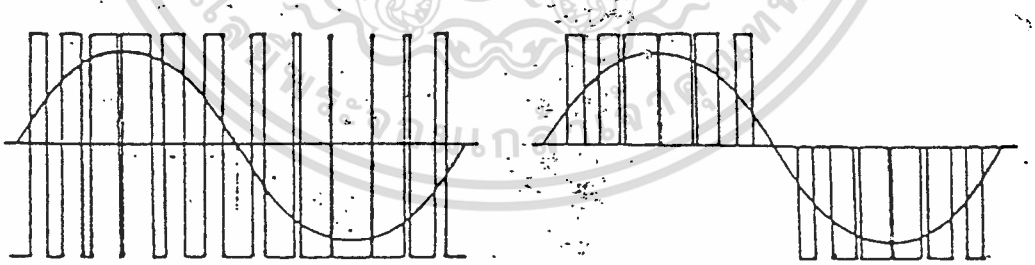
ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าลักษณะการต่อ Inverter แบบฟูลบริดจ์ ให้ power ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากที่สุด ในขณะที่อินพุทเท่ากันดังนั้นในระบบนี้จึงได้ Inverter แบบฟูลบริดจ์ และการสร้างสัญญาณทริกจะใช้แบบ พัลส์วิดมอดูเลชั้นซึ่งเราจะกล่าวถึงพื้นฐานโดยละเอียดต่างไป

3.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพัลส์วิดมอดูเลชั่น

การมอดูเลตความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation) เป็นเทคนิคการแบ่งรูปคลื่นใน 1 คาบ ออกเป็นพัลส์ย่อยหลาย ๆ พัลส์ โดยที่แต่ละพัลส์อาจมีความกว้างของพัลส์ไม่เท่ากัน ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงรูปคลื่น พีดับบลิวเอ็ม ชนิดต่าง ๆ รวมทั้งเทคนิคในการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มในแนวความคิดต่าง ๆ



รูปที่ 3.7 แสดงรูปคลื่น PWM (ก) แบบ 2 ระดับ (ข) แบบ 3 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มแบบ 2 ระดับ และ 3 ระดับ

รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ชนิดที่นำมาใช้มากที่สุด และเป็นชนิดพื้นฐานที่สุดได้แก่ แบบ 2 ระดับ และ แบบ 3 ระดับ

- PWM 2 LEVEL เป็นรูปคลื่นที่มีการสวิทช์ ระหว่างระดับอ้างอิงสองระดับคือ E , -E

- PWM 3 LEVEL เป็นรูปคลื่นที่มีการสวิทช์ ระหว่างระดับอ้างอิงสามระดับ คือ E , 0 , -E

ในรูปที่ 3.7 ข้างต้น เป็นการแสดงรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มเปรียบเทียบคลื่นความถี่หลักมูล (Fundamental) ของรูปคลื่น พีดับบลิวเอ็มนั้น

การสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม

รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม สามารถสร้างขึ้นมาได้โดยวิธีต่าง ๆ ได้แก่

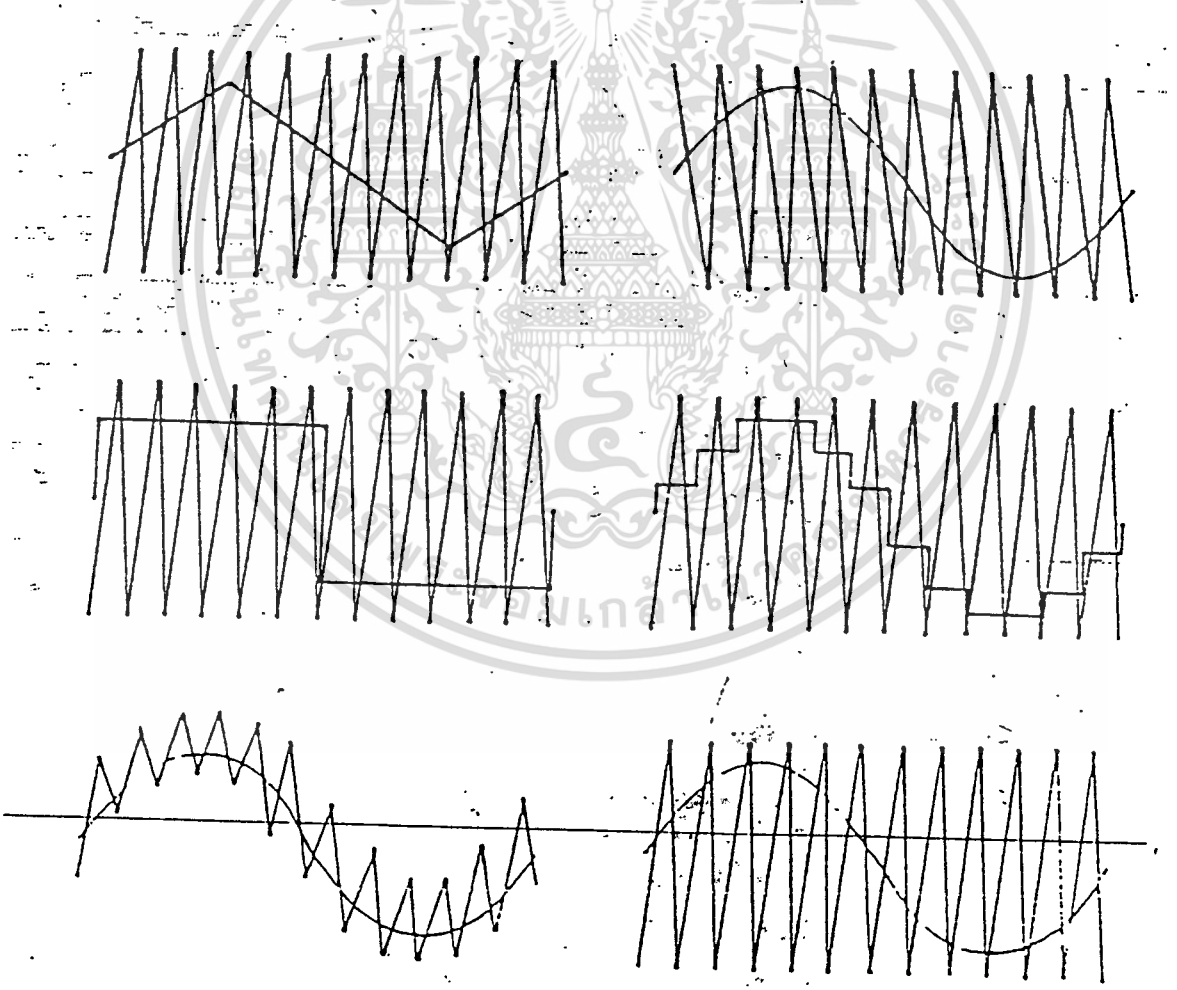
1. การใช้ไมโครโปรเซสเซอร์

ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการโปรแกรมให้ไมโครโปรเซสเซอร์ ส่งสัญญาณซึ่งสอดคล้องกับมุมสวิทชิ่งผ่านทางพอร์ทเอาท์พุท (OUTPUT PORT) ซึ่งวิธีนี้ต้องมีการคำนวณหรือกำหนดค่ามุมสวิทช์มุมต่าง ๆ ออกมาเสียก่อน แล้วจึงเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำ ไมโครโปรเซสเซอร์จะอาศัยข้อมูลในหน่วยความจำนั้นเพื่อสร้างรูปแบบ (Pattern) สัญญาณพีดับบลิวเอ็มขึ้นมาแล้วจึงส่งผ่านพอร์ทเอาท์พุทออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โดยการใช้วงจรอิเล็คทรอนิคส์

การสร้าง PWM จากวงจรอิเล็คทรอนิคส์นี้ วิธีที่สะดวกที่สุดคือใช้วงจรเปรียบเทียบ (Comparator) เช่น ไอซีเบอร์ LM339 , LM311 เป็นต้น ซึ่งสามารถทำได้โดยป้อนสัญญาณอินพุท 2 สัญญาณ เข้าสู่วงจรเปรียบเทียบ คือ สัญญาณอ้างอิง (Reference Signal) กับสัญญาณแคร์เรียร์ (Carrier Signal) สัญญาณอ้างอิงจะมีความถี่เท่ากับรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม ส่วนสัญญาณแคร์เรียร์จะมีความถี่สูงกว่า ในโครงการนี้ ใช้วิธีเปรียบเทียบโดยวงจรอิเล็คทรอนิคส์ในการสร้างสัญญาณ วิธีนี้ มุมสวิทช์ของรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มก็คือจุดตัดของสัญญาณทั้งสอง การสร้างโดยอาศัยวงจรเปรียบ



รูป 3.8 ตัวอย่างการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มโดยการใช้วงจรเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มแบบเนเทอรอลและแบบเรกูลาร์

การสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มโดยการใช้วงจรเปรียบเทียบ จะมีองค์ประกอบ 2 ประการที่จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม ได้แก่

1. อัตราส่วนความถี่ของสัญญาณแคร์เรียร์ ต่อสัญญาณอ้างอิง (Frequency Ratio)

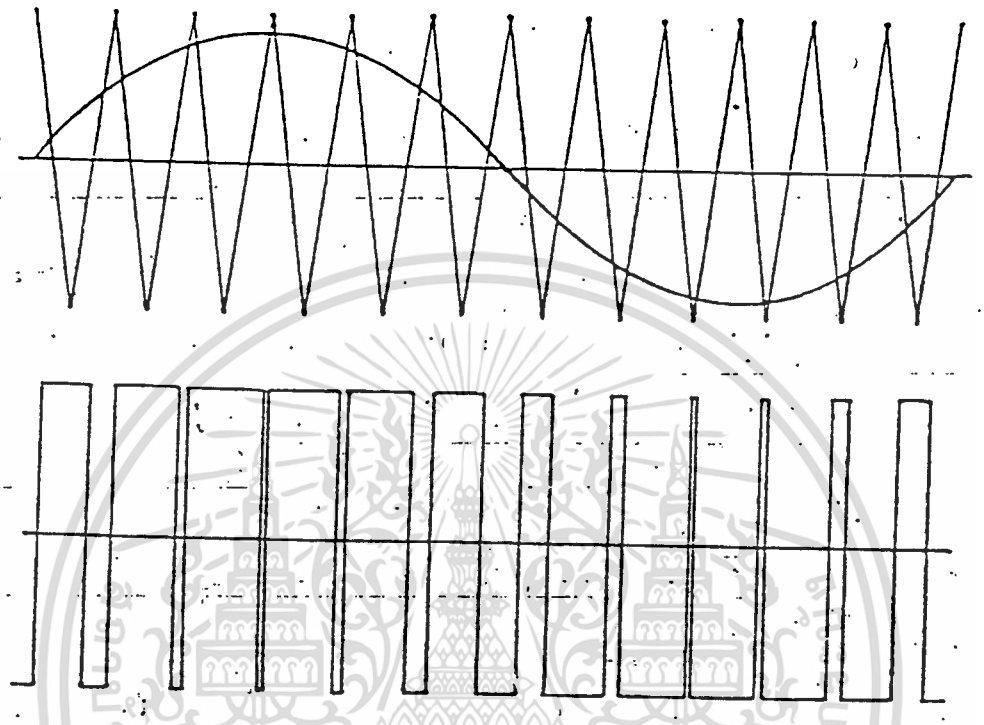
2. อัตราส่วนแอมปลิจูด ของสัญญาณอ้างอิงต่อสัญญาณแคร์เรียร์ หรืออัตราส่วนการมอดูเลชั่น (Modulation Ratio,K)

จากทฤษฎีและข้อมูลเก่าที่มีการคำนวณและศึกษามา ได้นำค่า K,N ไปวิเคราะห์องค์ประกอบฮาร์โมนิคส์จะได้ว่า โดยปกติแล้วค่าอัตราส่วนการมอดูเลชั่นจะใช้ค่าอยู่ในช่วงไม่เกิน 1 ค่านี้จะเป็นตัวกำหนดความกว้างของพัลส์แต่ละพัลส์ โดยความกว้างของพัลส์จะมากขึ้น ถ้าค่า K มีค่ามากขึ้น ส่วนค่าอัตราส่วนความถี่จะเป็นตัวกำหนดจำนวนพัลส์ ให้มีจำนวนเท่ากับ ค่า N และจำนวนมุมสวิทชิ่งจะมีจำนวน 2N มุม ทั้งนี้ต้องอยู่ในกรณีค่า K ไม่เกิน 1

ก. การสร้างรูปคลื่นแบบเนเทอรอลแซมพลิ่ง

การสร้างแบบนี้จะใช้คลื่นซายน์เป็นสัญญาณอ้างอิง และคลื่นสามเหลี่ยมเป็นสัญญาณแคร์เรียร์ โดยสามารถสร้างได้ทั้งแบบ 2 ระดับ และแบบ 3 ระดับ การสร้างแบบ 2 ระดับ จะใช้คลื่นซายน์ และคลื่นสามเหลี่ยมเต็มรูปคลื่น ช่วงที่ซายน์มากกว่าสามเหลี่ยมจะเป็นบวก และช่วงที่คลื่นซายน์มีขนาดน้อยกว่า จะเป็นลบ วิธีนี้ใช้ในส่วนวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์ของโครงการที่ทดลอง

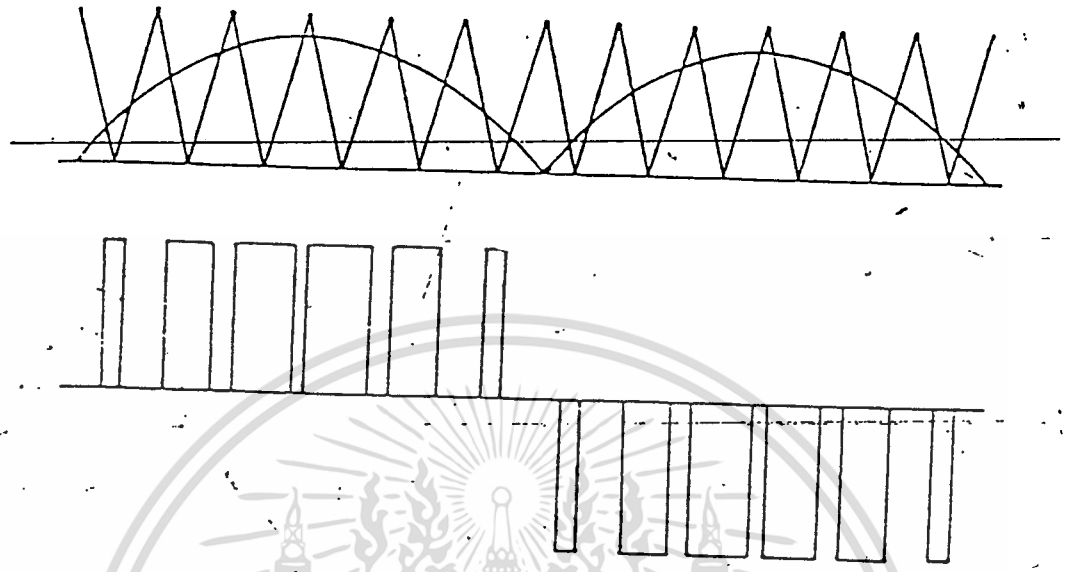
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การสร้างรูปคลื่นแบบเนเทอรอลแชมพลิ่งชนิด 2 ระดับ

สำหรับการเปรียบเทียบแบบ 3 ระดับนั้น จะใช้คลื่นซายน์ที่เรคติฟายขึ้นไปเป็นคลื่นฟูลเวฟ เปรียบเทียบกับคลื่นสามเหลี่ยมที่ถูกยกระดับขึ้นไปเหนือเส้นกราวด์ (Ground) ช่วงที่คลื่นฟูลเวฟ มีขนาดมากกว่าในครึ่งคาบแรก การสวิทช์จะมีค่าเป็นบวก และเป็นลบในครึ่งคาบหลัง ส่วนช่วงที่คลื่นฟูลเวฟมีขนาดน้อยกว่าการสวิทช์จะมีค่าเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

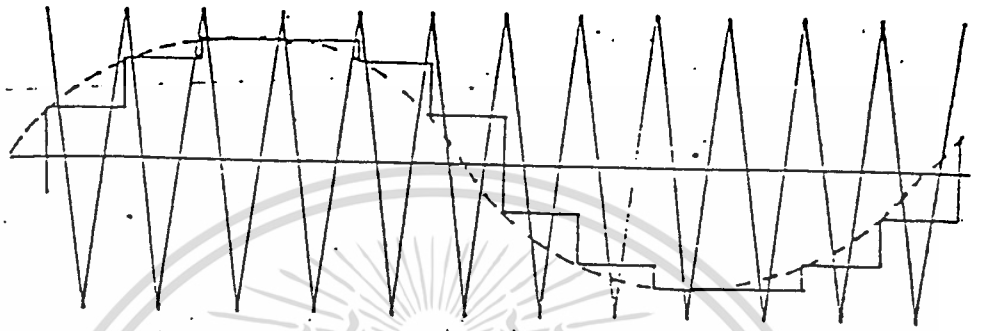


รูปที่ 3.10 การสร้างรูปคลื่นแบบเนเทอรอลแซมพลิงชนิด 3 ระดับ

ข. การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แซมพลิง

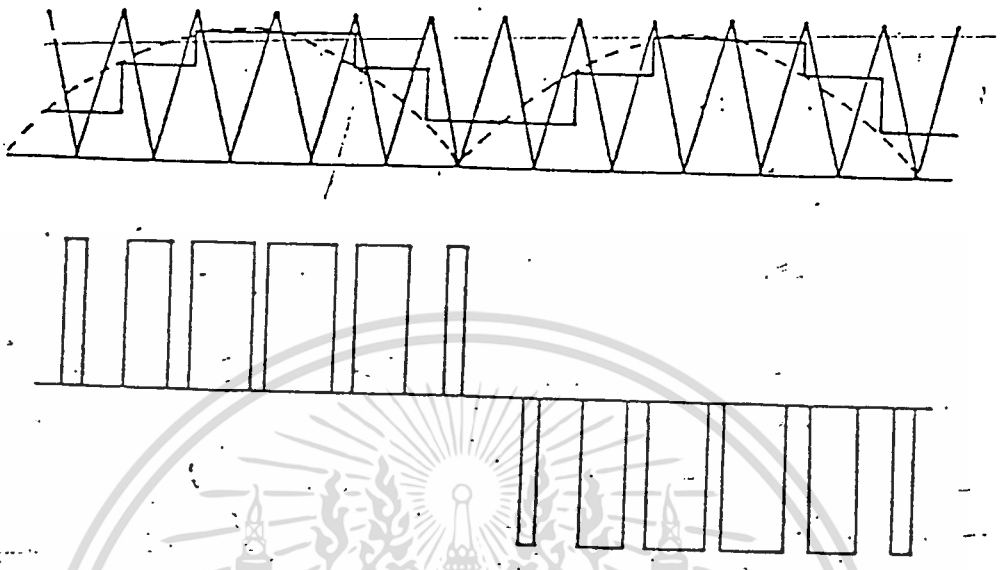
การสร้างแบบนี้ใช้หลักการแบบเดียวกันกับแบบเนเทอรอล โดยดัดแปลงมาจากแบบเนเทอรอล เนื่องจากการเปรียบเทียบแบบเนเทอรอลนั้น ระหว่างเปรียบเทียบแต่ละครั้ง ส่วนของชายน์จะไม่เป็นเชิงเส้น การเปรียบเทียบแบบเรกูลาร์จะนำคลื่นชายน์ผ่านวงจรแซมเพิล และไฮลด์ (Sample and Hold) ที่มีความถี่การแซมเพิลเท่ากับความถี่ของคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระหว่างการเปรียบเทียบแต่ละช่วงจะเป็นเชิงเส้น การเปรียบเทียบแบบเรกูลาร์สามารถทำได้ทั้ง แบบ 2 ระดับ และ แบบ 3 ระดับ เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



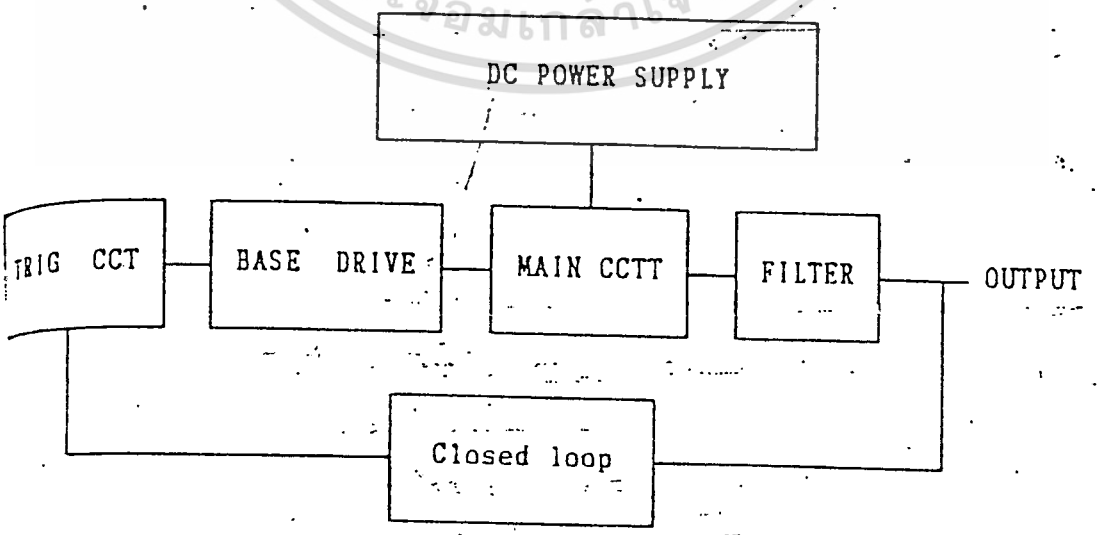
รูปที่ 3.11 การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แซมพลิ่ง ชนิด 2 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แซมพลิ่ง ชนิด 3 ระดับ

วงจร PWM sine wave inverter ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของวงจรได้แก่

1. วงจรสร้างรูปแบบสัญญาณ PWM หรือวงจรสร้างสัญญาณทริก (Trig circuit) เป็นวงจรสร้างสัญญาณควบคุม G1 - G4 สำหรับการควบคุมการปิด/เปิดกระแสของอีเลคทรอนิคส์สวิทช์แต่ละชุดเพื่อให้ได้แรงดันเป็นรูปคลื่น PWM ที่ภาระ

2. วงจรขับ (Gate drive circuit) เป็นวงจรขยายกำลังของสัญญาณ G1-G4 ที่สร้างจากวงจรทริกให้มีกระแสมากพอที่จะขับ GTO (Gate Turn off Thyristor) ให้เข้าสู่สภาวะนำกระแสได้ โดยจะต้องมีส่วนแยก (isolate) สำหรับแยกกราวด์ของสัญญาณทริกแต่ละสัญญาณออกจากกัน

3. วงจรกำลัง (Power circuit or Main circuit) ประกอบด้วย GTO 4 ชุดที่ติดแบบฟูลบริดจ์และหม้อแปลงเพิ่มแรงดัน (Step up transformer)

4. วงจรกรองความถี่ (Filter) ทำหน้าที่กรององค์ประกอบฮาร์มอนิคส์ความถี่สูงออกไปให้เหลือเพียงความถี่หลักมูล (Fundamental) 50 Hz ผ่านไปได้เท่านั้น

5. วงจรควบคุมลูปปิด (Closed loop circuit) ทำหน้าที่ควบคุมระดับแรงดันเอาท์พุทรูปไซน์ให้คงที่ที่ภาระต่างๆ

6. แหล่งจ่ายไฟตรง (DC Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่วงจรกำลังซึ่งในโครงการนี้ใช้แบตเตอร์รี่แรงดัน 12 โวลต์ ขนาด 90 แอมป์-ชั่วโมง (Ampare Hour) จำนวน 10 ลูก นอกจากนี้ยังต้องไฟจากแบตเตอร์รี่ให้แก่สัญญาณทริก, วงจรควบคุมลูปปิดและวงจรขับ

จากการสร้างสัญญาณที่ได้กล่าวมาแล้วหลายลักษณะ จะเลือกเพียงรูปแบบเดียวที่มีความเหมาะสมมากที่สุดนำมาใช้และปรับปรุง จากการทดลองสัญญาณแบบ 3 ระดับ สามารถกรองเป็นคลื่นไซน์ได้เรียบกว่าแบบ 2 ระดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบฮาร์มอนิค แบบ 3 ระดับ จะมีขนาดองค์ประกอบฮาร์มอนิคลำดับต่ำน้อยกว่าแบบ 2 ระดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้การเปรียบเทียบแบบ 3 ระดับ จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบฮาร์มอนิคของคลื่น 3 ระดับ จะเห็นว่าแบบเนเทอรอลและแบบเรกูลาร์ ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน แบบเนเทอรอลค่อนข้างจะดีกว่าเล็กน้อย และมีวิธีสร้างที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง่ายกว่า ดังนั้นจึงจะใช้การเปรียบเทียบแบบเนเทอรอล ส่วนค่าอัตราส่วนความถี่จะใช้เท่ากับ 20 เพราะสามารถกำจัดฮาร์มอนิคลำดับต่ำออกไปได้พอสมควร และอุปกรณ์สวิทช์ไม่มีการสวิทช์บ่อยครั้งเกินไป

สรุปได้ว่าจะเลือกใช้การเปรียบเทียบแบบเนเทอรอลชนิด 3 ระดับ ค่าอัตราส่วนความถี่เท่ากับ 20 นอกจากนี้ยังได้ปรับปรุงวิธีการสร้างสัญญาณแบบใหม่ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยใช้สัญญาณแคร์เรียร์ที่มีความถี่เพียงครึ่งหนึ่งของการเปรียบเทียบแบบเดิม วิธีการสร้างแบบนี้มีข้อดีคือ

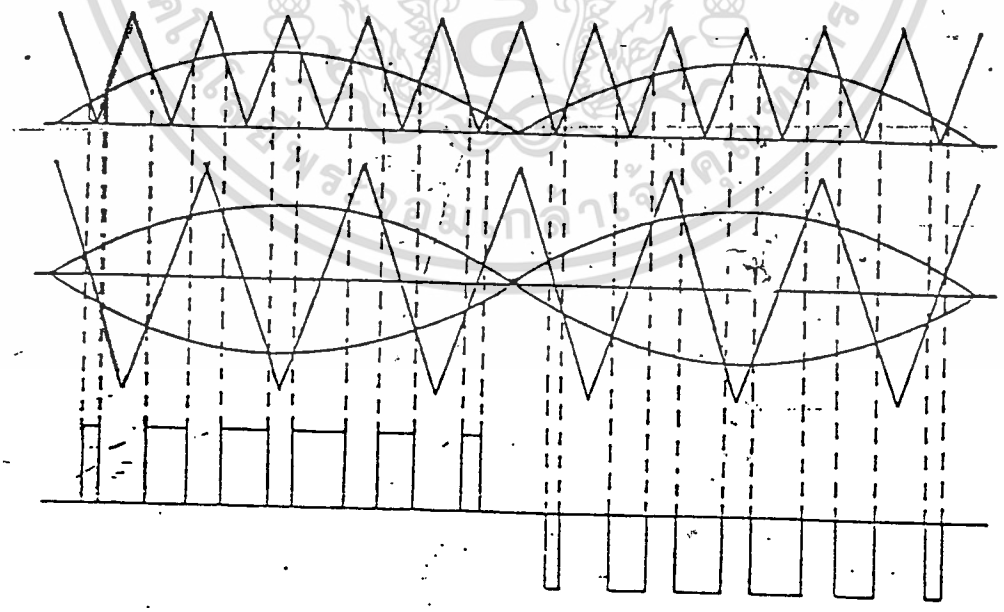
1. ให้ผลลัพธ์รูปคลื่นรูปพีดับบลิวเอ็มที่ภาระเหมือนกับแบบเดิมทุกอย่าง

2. สัญญาณทริกแต่ละสัญญาณมีความถี่เท่ากันทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังแต่ละชุดทำงานเท่าเทียมกัน

3. ลดจำนวนครั้งของการสวิทช์ลง โดยสัญญาณทริกแบบนี้จะมีจำนวนครั้งของการสวิทช์เพียงครึ่งหนึ่งของแบบ 2 ระดับ ที่อัตราส่วนความถี่เดียวกัน

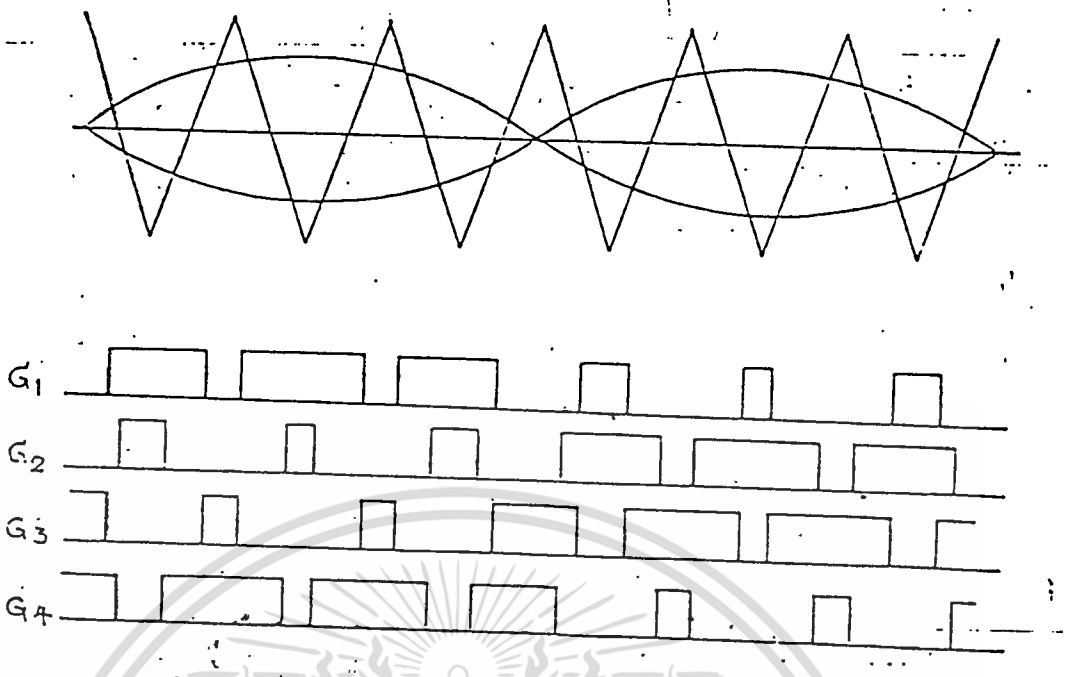
4. ไม่ต้องมีส่วนกระทำโลจิก

สัญญาณทริก G1-G4 จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.14 และวงจรสร้างสัญญาณทริกแสดงได้ดังบล็อกดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.13 แสดงการเปรียบเทียบแบบ 3 ระดับ วิธีเดิมและวิธีใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงสัญญาณทริก G1-G4 ที่สร้างโดยวิธีการเปรียบเทียบแบบใหม่

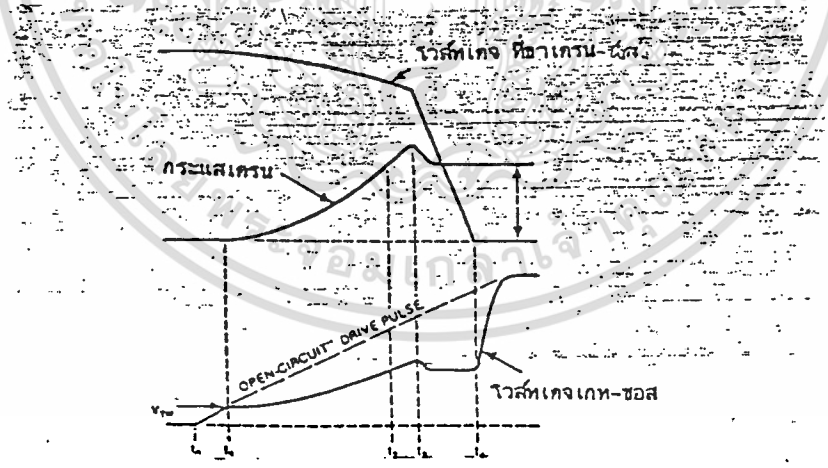
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

หลักการใช้เพาเวอร์มอสเฟท

เพาว์เวอร์มอสเฟทมีคุณสมบัติหลายประการแตกต่างไปจากอุปกรณ์ซึ่งปกติต้องการสัญญาณแรงดันต่ำ แต่กระแสสูงในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟทต้องการสัญญาณแรงดันสูงไดสิ่งกระแสอินพุทต่ำมาก (ไม่กี่นาโนแอมป์) อีกประการหนึ่ง แหล่งสัญญาณไฟสลับต้องสามารถ charge และ discharge แก่ตัวเก็บประจุไม่ฟ้าทางขาเกท ทั้งนี้เนื่องจากpower mosfetใช้พื้นที่chipค่อนข้างใหญ่ ค่าความจุทางขาเกทจึงสูง เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ของวงจรขับเกทก็เป็นแหล่งก่อเกิดปัญหาหากว่ามีค่าสูงเกินไป การสั่งเฟทให้ปิดวงจรอาจทำได้ไม่แน่นอน การใช้ซีเนอร์ป้องกันไว้ทางขาเกทในลักษณะวงจรแคล้มป์แรงดันอาจช่วยได้พอสมควร แต่แนวทางป้องกันที่ดีที่สุดคือต้องระวังเรื่องการออกแบบวงจรขับเกท

จะเกิดอะไรขึ้นหากว่าวงจรขับเกทมีค่าเอาท์พุทอิมพีแดนซ์สูงเกินไป พิจารณารูปคลื่นต่างๆ ในรูปที่ 4.1 โดยในรูป 4.1a เป็นกรณีเลวร้ายที่สุดโดยวงจรจะมีโหลดแบบขดลวดที่ถูกแคล้มป์ไว้ด้วยไดโอดและมีค่าความเหนี่ยวนำหลงเหลืออยู่ด้วยในวงจร เพื่อความง่ายเข้าจะพูดถึงในกรณีอิมพีแดนซ์ของวงจรขับเกทเป็นความต้านทานบริสุทธิ์

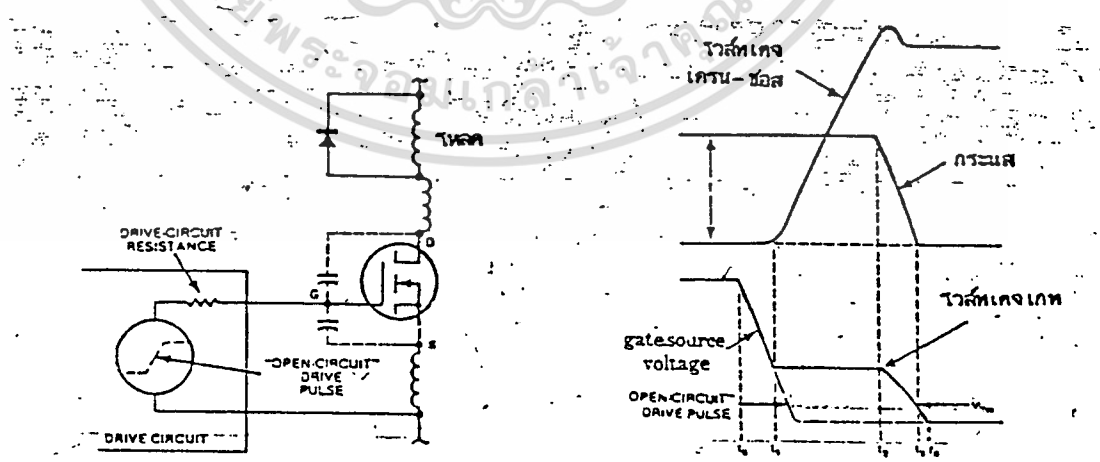


รูปที่ 4.1 แสดงการขับขาเกทและสัญญาณที่ขาเดรน-ซอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลาสั่งปิดวงจร (TO) ห้วงแรงดันจากภาคขับเกทจะเริ่มไต่แรงดันสูงขึ้นที่เวลา t1 จะไต่สูงจนเท่ากับแรงดันจุดเริ่มทำงานของมอสเฟท และกระแสเดรนจะเริ่มมีค่าสูงขึ้น ในขณะนี้รูปของแรงดันเกท-ซอสจะเอียงไปจากทิศทางที่ควรจะเป็น ประการแรกขดลวดที่อนุกรมกับขาซอสจะสร้างแรงดันเหนี่ยวนำอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของกระแสซอส แรงดันนี้จะไปหักล้างกับแรงดันขับเกททำให้อัตราการเพิ่มของแรงดันคร่อมขาเกท-ซอสช้าลง ส่งผลให้อัตราการเพิ่มกระแสซอสลดลงขึ้นแล้วไปสร้างแรงดันให้หักล้างกับแรงดันเกท เกิดการต้านความเปลี่ยนแปลงของกระแสดังกล่าว

องค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างที่เกี่ยวกับแรงดันเกท-ซอสคือผลของมิลเลอร์ ในช่วงเวลา t1 ถึง t2 จะเกิดแรงดันตกคร่อมแก่ขดลวดหลงเหลือในวงจรซึ่งอนุกรมกับขาเดรน ทำให้แรงดันเดรน-ซอสมีแนวโน้มลดลง อันนี้จึงส่งผลต่อค่าความจุไฟฟ้าในระหว่างเดรน-เกทโดยตรง โดยจะดึงเอาประจุไฟฟ้าผ่านตัวมัน จึงส่งผลให้เกิดคาปาซิทีฟโหลดสูงขึ้นแก่วงจรขับเกท ซึ่งก็ส่งผลให้แรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์ของวงจรขับเกทสูงขึ้นและไปลดอัตราการไต่แรงดันที่ปรากฏระหว่างขาเกทกับซอส โดยแท้จริงแล้วหากอิมพีแดนซ์ของภาคขับเกทต่ำลง ผลดังกล่าวนี้จะน้อยลง การเพิ่มกระแสในเดรนทำให้แรงดันเดรน-ซอสลดลง ทำให้แรงดันเกท-ซอสเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และจึงไปต้านการเพิ่มของกระแสเดรน



รูปที่ 4.2 แสดงช่วงการ off ของ TMOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

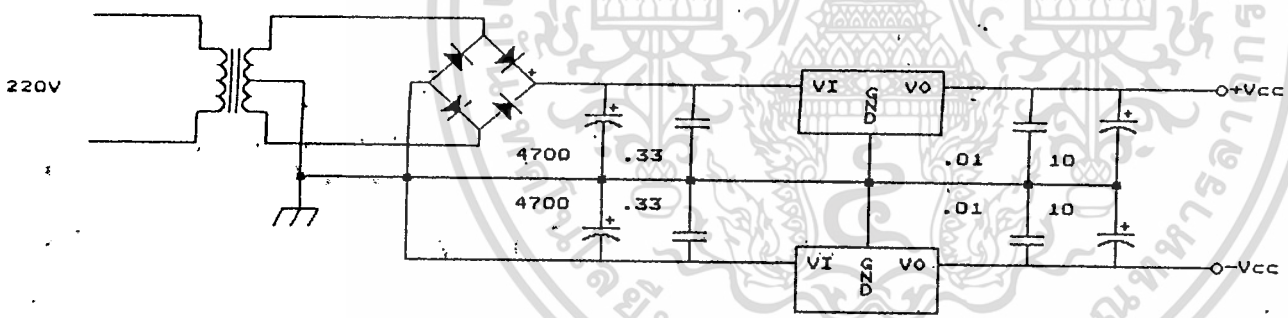
ปรากฏการณ์เช่นนี้จะเกิดอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงพีเรียด t2 ถึง t3 กระแสจะสูงขึ้นถึงระดับ Imax และไหลผ่านพีวีลงไดโอด ปัญหานี้จะยังคงต่อเนื่องมาจนถึงช่วงพีเรียด t2 ถึง t2 กระแสจะสูงขึ้นด้วยเนื่องจากแบ่งผ่านส่วนหนึ่งไปในไดโอดมากขึ้น

ที่เวลา t3 เมื่อไดโอดมีแรงดันสูงถึงจุดทำงานกระแสเดรนในมอสเฟทและแรงดันเดรนจะเริ่มลดลง ขณะนี้ผลของมิลเลอร์จะมาเกี่ยวกับอัตราการลดของแรงดันเดรนวงจรเข้าสู่ภาวะสมดุลแรงดันเดรนจะตกลงในอัตราที่จำเป็น เพียงเพื่อให้แรงดันระหว่างขั้วเกท-ซอลไปควบคุมกระแสที่ไหลผ่านโหลด จริงๆแล้วหากอิมพีแดนซ์ของวงจรขับเกทมีค่าต่ำลงก็จะทำให้เกิดกระแสดิสชาร์จใหญ่กว่าผ่านทางลดค่าความจุไฟฟ้าระหว่างเดรน-เกท และทำช่วงเวลาตก (FALL TIME)ของแรงดันเดรนสั้นกว่า

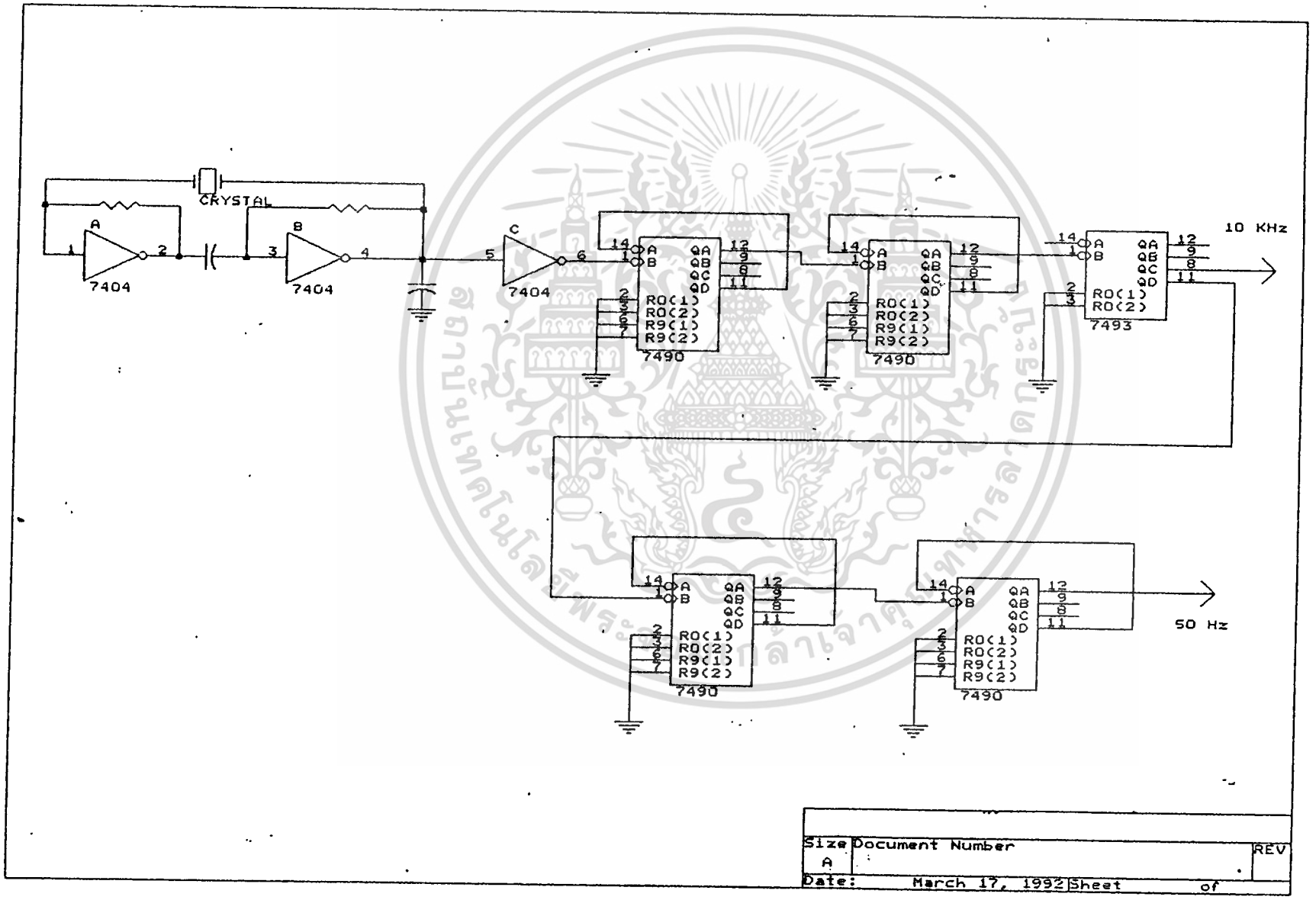
จุดสุดท้ายคือ t4 เป็นกรณีที่มอสเฟทนำไฟฟ้าโดยสมบูรณ์แรงดันเกท-ซอลจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเข้าใกล้ค่าที่เกิดขึ้นในขณะเปิดวงจร

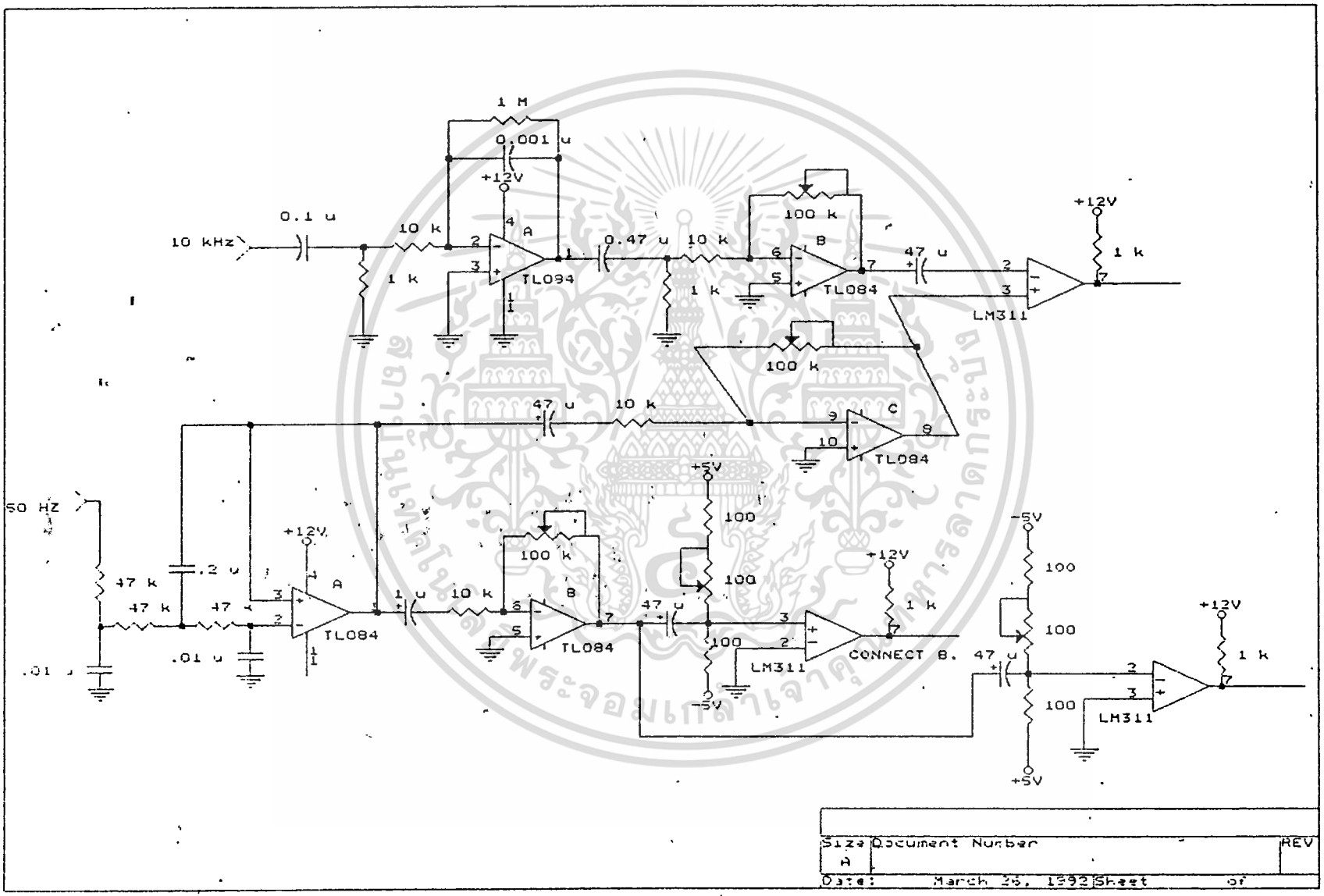
ในทำนองเดียวกัน อาจพิจารณาช่วงเวลาสั่ง off ได้ในรูป4.2ที่เวลาt0 แรงดันขับเกทจะเริ่มลดลงจนกระทั่ง แรงดันเกทจะเท่ากับจะเท่ากับระดับที่คงค่ากระแสเดรน ไว้พอดีทำให้อุปกรณ์มอสเฟททำวานแบบลีเนียร์จากนั้นแรงดันเดรน-ซอลไว้ในระดับกระแสเดรนค่าหนึ่งๆ และก็เช่นเดียวกับกรณีอื่นๆ หากลดอิมพีแดนซ์ของวงจรขับเกทลงกระแสชาร์จะใหญ่ขึ้น เวลาการได่ขึ้น เวลาการได่ขึ้นของแรงดันเดรนจะสั้นลง ที่เวลา t3 แรงดันเกทกับกระแสเดรนจะลดลงในอัตราหนึ่งที่จำกัดไว้โดยค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรด้านเกท-ซอล

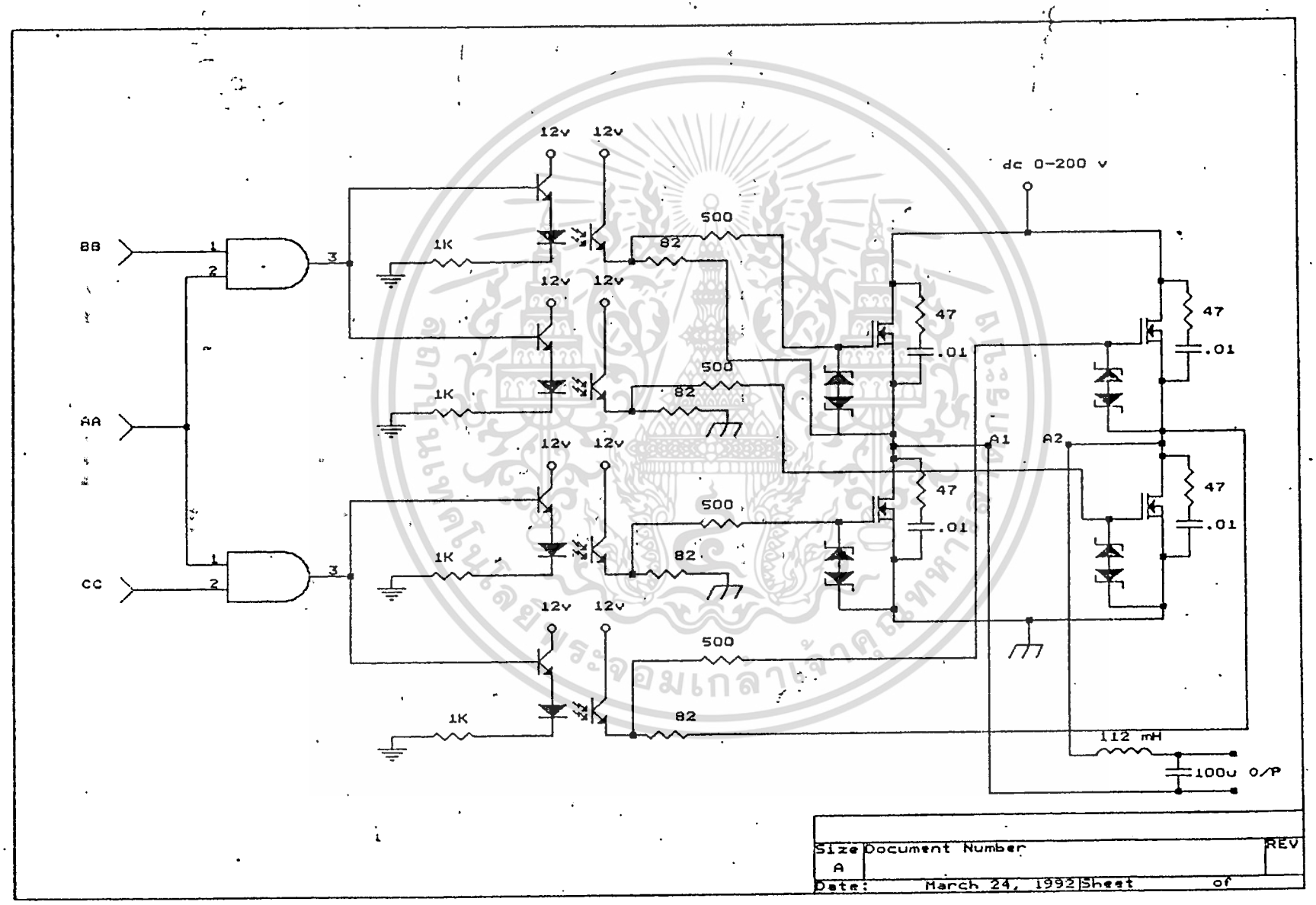
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

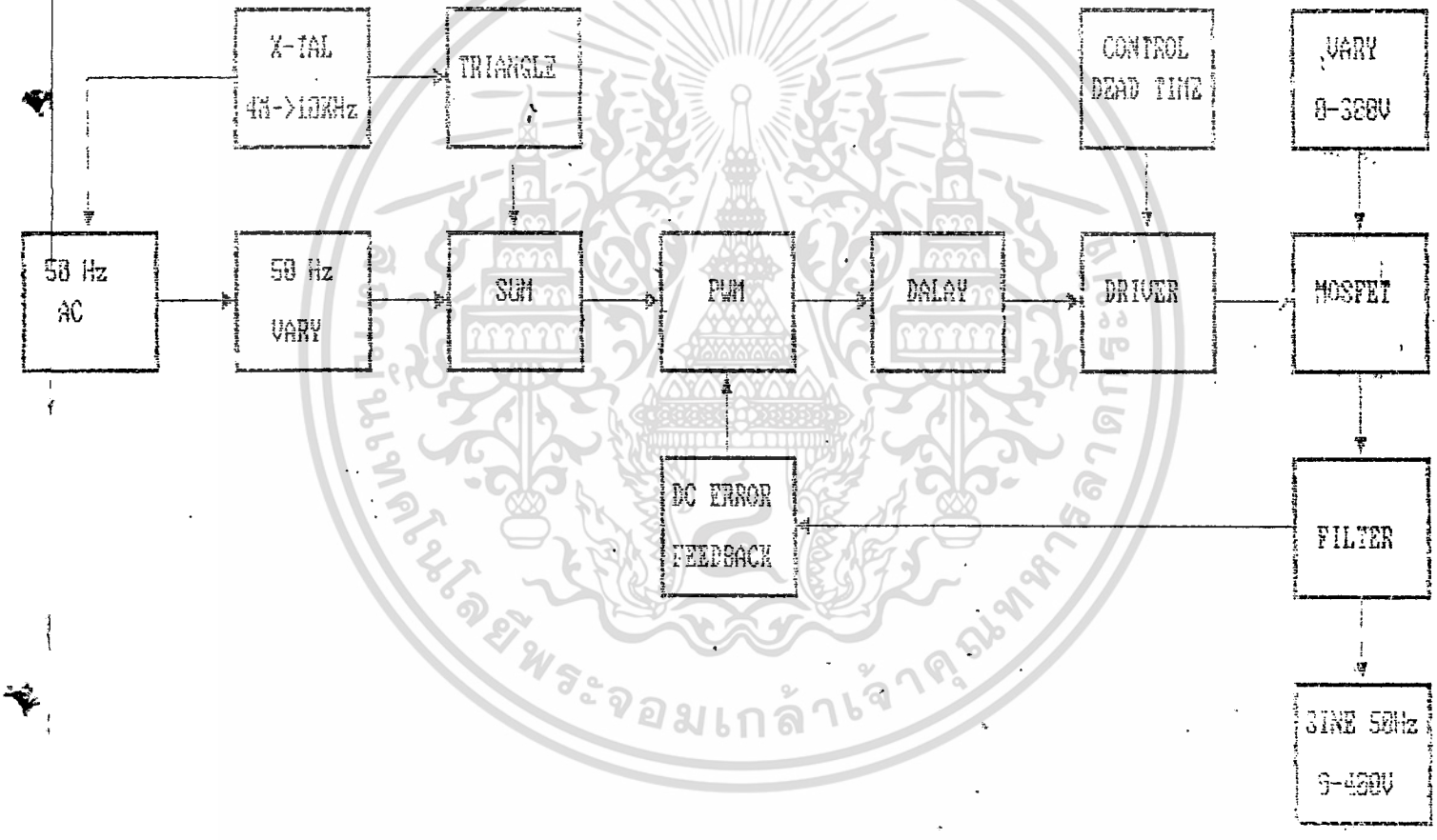


Size	Document Number	REV
A		
Date:	March 21, 1992	Sheet of


CRYSTAL
A
B
C
7404
7404
7404
7490
7490
7493
7490
7490
RO(1)
RO(2)
R9(1)
R9(2)
QA
QB
QC
QD
10 KHz
50 Hz
Size
A
Document Number
REV
Date: March 17, 1992
Sheet of


1 M
0.001 u
+12V
0.1 u
10 kHz
10 k
1 k
4 A
TL084
0.47 u
10 k
1 k
100 k
B
TL084
47 u
+12V
1 k
LM311
100 k
47 u
10 k
C
TL084
50 HZ
47 k
47 k
.2 u
47 k
.01 u
.01 u
+12V
A
TL084
1 u
10 k
100 k
B
TL084
+5V
100
100
47 u
100
LM311
CONNECT B.
+12V
1 k
-5V
100
100
100
47 u
+12V
1 k
LM311
+5V
Size
A
Document Number
REV
Date: March 25, 1992 Sheet of


BB
AA
CC
1
2
3
12v
1K
500
82
47
.01
dc 0-200 v
A1
A2
112 mH
100u O/P
Size
A
Document Number
REV
Date:
March 24, 1992
Sheet
of



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

จุดประสงค์ทั้งหมดที่กล่าวมาของวงจร CONVERTER คือการสร้างไฟ DC 10-200 V เพื่อนำไปใช้ขับ มอสเฟท (Mosfet) ร่วมกับภาคอินเวอร์ทเตอร์ โดยสามารถควบคุมกระแส และเปลี่ยนแปลงขนาดสัญญาณ AC ไดมาเทเอาท์พุทได้โดยมีหลักการดังนี้

เริ่มต้นจากในภาค Converter โดยต่อไฟ 220 โวลท์ AC ผ่านภาค RFI เพื่อกรองความถี่ที่ปนมากับไฟ 220 โวลท์ 50 เฮิร์ท ออกไปก่อนแล้วเข้าสู่ภาคเรคติฟาย เพื่อทำเป็น DC 320 โวลท์ หลังจากนั้นจะผ่านเข้าสู่วงจร สวิทช์ซึ่งซึ่งใช้มอสเฟทสองตัวทำหน้าที่เป็นสวิทช์ โดยต่อกันแบบ พุชพูล (push-pull) แบบ อาฟบริดจ์ (Half Bridge) พัดกันสวิทช์ DC โดยขา จีเอส ซึ่งเป็นสัญญาณคอนโทรซึ่งมาจาก TL494 ซึ่งเป็นตัวควบคุมวงจรให้จ่าย โวลท์เตจและกระแส ตามที่ต้องการโดยเปลี่ยนค่า ดิวตี้เซอร์เคิล (Duty circle) ซึ่งมีความถี่ที่กำหนดค่าคงที่ไว้ประมาณ 25 kHz หลังจากที่ทำการสวิทช์ ดีซี ให้ออกมาในรูป AC แล้วก็นำสัญญาณไปผ่าน Transformer แกนเฟอร์ไรท์ในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นผ่านภาค rectify อีกครั้งเพื่อให้ได้ DC ซึ่งนำไปฟิลเตอร์โดยใช้วงจร LC เพื่อให้ได้ Ripple น้อยที่สุดจากนั้นนำเอาท์พุทที่ได้ไป Feedback ไปยังวงจรควบคุมเพื่อให้ครบวงจรควบคุมทั้งหมด

และในภาค Inverter นั้นเป็นการแปลงไฟ ดีซี ไปเป็น เอซี โดยใช้ไฟ DC จากวงจร Converter ซึ่งปรับค่าได้จาก 10-200 โวลท์โดยใช้ PWM ช่วงของ Deadtime เป็นตัวทริกขาเกทซึ่งจะทำให้ได้สัญญาน PWM ของ Fundamental 50 Hzซึ่งเมื่อเข้าวงจร FILTER แล้วเราจะได้สัญญานไฟ AC 50 Hzปรับค่าได้ตามสัญญาน DC ที่ Converter ป้อนให้

สัญญาน Control ขาเกทโดยมีช่วง Deadtime ในรูปของ PWM ควรระวังสัญญาน Trig ขาเกทควร reference กับขา Source ของ FET แต่ละตัวและในการ Trig ขาเกทของแต่ละคู่นั้นเราไม่ควรใช้ Transformer เป็นตัวส่งต่อเพราะ L ใน Transtromer มีผลต่อสัญญานความถี่ 10 kHz ดังนั้นในโปรเจคนี้เราจะใช้ Opto coupler 4 ตัวเป็นตัวส่งต่อเพื่อไม่ให้ค่า L ในTransformer มีผลกับวงจรและในส่วน Filter เราจะใช้ LC Filter โดย LC ต่ออนุกรมกัน โดยคำนวนจากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$f_c = 1 / 2\pi\sqrt{LC}$ เมื่อเราให้ค่า C 100 uF เราจะคำนวนค่า L จากสูตรได้ 101.3 mH ซึ่งความถี่ 50 Hz นั้นผ่านได้ ซึ่งเมื่อผ่านวงจร Filter แล้วเราจะได้สัญญาณ AC 50 Hz ป้อนค่าไปตาม DC จาก Converter ที่ป้อนให้วงจร Fullbridge แล้วเราจะเข้า Transformer แกน Iron เพื่อ Step up ไปจ่ายให้กับเครื่องใช้แรงดันสูง AC 50 Hz เช่นเครื่องสังเวยเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล ที่กรุณาช่วยให้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ และอุปกรณ์ในการทำโครงงานครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณ คุณ เกียรติศักดิ์ ศรีพิมานวัฒน์ นักศึกษาปริญญาโทที่ช่วยดูแลให้คำแนะนำมาโดยตลอด สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุกๆผู้ที่ได้เอ่ยนามและผู้ที่ไม่ได้เอ่ยนามมา ณ. ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

Net Mohan,'Power electronics:Converter Application and Design',John Wiley & Sons ,1989

Jacob Millman,'MICROELECTRONIC :DIGITAL AND ANALOG CIRCUIT AND SYSTEM ',McGAW-HILL,1983

David E.Johnson,John L. Hillbern and Johny R.Johnson ,'BASIC ELECTRIC CIRCUIT ANALYSIS ',Printic-Hall ,1984 ,Chapter 15

George Chryssis , 'HIGH-FREQUENCY SWICTHING POWER SUPPLY :Theory and Design ',McGAW-HILL in the united State ,1989

Otmar Kilgenstien ,'SWITCHED-MODE POWER SUPPLIES IN PRACTICE ',John Wiley & Sons ,1976

Dayanani and Gobin ,' PRINCIPLE OF ACTIVE NETWORK SYSTHESIS AND DESIGN 'John wiley & Sons ,1976

W.K. Chen ,' PASSIVE AND ACTIVE FILTER Theory and implement -ation ',John Wiley & Sons ,1989 ,Chapter 9

Ander Broms , ' UNINTERUPTED POWER SYSTEM PRINCIPLE,Feature and future trends ', การประชุมทางวิชาการทางสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ,2528

S.B. Dewan and P.D. Ziogas ,' Optimum Filter Design For A Single Phase Solid-State UPS System ', IEEE transaction on industrial application , vol IA-15, No.6 , NOVEMBER/DECEMBER 1979

ALAN H.,Weinberg and Jan Schreuders ,' A HIGH-POWER HIGH VOLTAGE DC-DC Conerter for Space Aplication ', IEEE transaction and electronics vol PE.1,No.3 ,JULY 1986

Phoivos D. Zilogus and Guy Oliver ,' A HIGH-FREQUENCY OFF LINE SMR Converter WITH- IMPROVE CHARACTERISTRICS ', IEEE transaction on industrial applications vol 25, No.6 ,NOVEMBER /DECEMBER 1989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้