ปีการศึกษา 2533

สวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลายแบบโปรแกรมได้

โดย

ทวีพล โสธะโร

วสุ มั่งคั่ง

อาคม โชติพันธวานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2533

เรื่อง สวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลายแบบโปรแกรมได้

ผู้จัดทำ

1. นาย ทวีพล โสธะโร
2. นาย วสุ มั่งคั่ง
3. นาย อาคม โชติพันธวานนท์

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ วิทยา ทิพย์สุวรรณพร)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

028751

สวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลายแบบโปรแกรมได้

PROGRAMMABLE SWITCHING POWER SUPPLY

นายทวีพล โสธะไร
นายวสุ มั่งหั่ง
นายอาคม โชติพันธวานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ วิทยา ทิพย์สุวรรณพร
ปีการศึกษา 2533

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการวิจัยและพัฒนาสร้าง สวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลายแบบโปรแกรมได้ (Programmable Switching Power Supply) โดยใช้ Microprocessor ขนาด 8 บิท เบอร์ 8032 สามารถควบคุมแรงดันได้ตั้งแต่ 0-30 V 3 A ไมโครโปรเซสเซอร์จะเป็นตัวควบคุมแรงดันเอ้าท์พุท โดยแสดงผลด้วย LED 7 Segment การโปรแกรมแรงดันจะโปรแกรมผ่านทางคีย์บอร์ด นอกจากนี้ยังมีวงจรป้องกันการลัดวงจร (overload protection) ในกรณีที่เอ้าท์พุทถูกลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAMMABLE SWITCHING POWER SUPPLY

TANEEPOL SODHARO
VASU MANGKANG
ARKOM CHOTIPHANTHAWANON

ADVISER
VITTAYA TIPSUWANPORN
ACADEMIC YEARS 1990

ABTRACT

THIS PROJECT PRESENT A DEVELOPMENT OF A PROGRAMMABLE SWITCHING POWER SUPPLY USING 8-BITS 8032 MICROCONTROLLER, IT CAN PROGRAMMABLE OUTPUT VOLTAGE 0-30 V. 3 A. THE OUTPUT VOLTAGE IS CONTROL BY MICROPROCESSOR AND SHOW ON THE LED 7 SEGMENT. TO USE THE KEYBOARD FOR ENTER VALUE. POWER SUPPLY HAS THE OVERLOAD PROTECTION WHEN OUTPUT SHORT CIRCUIT.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เนื้อเรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของสวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย	1
1.2 สวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย	1
1.3 การทำงานของสวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย	2
1.4 โครงสร้างพื้นฐานของสวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีการทำงานของสวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย	7
บทที่ 3 หลักการทำงานและการสร้าง	25
บทที่ 4 ส่วนประกอบและการใช้งาน	34
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	39
ภาคผนวก	40
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

สวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็คทรอนิคส์ ที่ทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรง เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรอิเล็คทรอนิคส์ ในงานอิเล็คทรอนิคส์เพาว์เวอร์ซัพพลายเป็นสิ่งสำคัญ ถ้ามีคุณภาพดีก็จะทำให้วงจรอิเล็คทรอนิคส์ทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่เราได้ออกแบบไว้ ถ้าวงจรอิเล็คทรอนิคส์มีขนาดใหญ่ จะต้องการพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟมาก แต่อุปกรณ์บางชนิด เช่น ไมโครคอมพิวเตอร์ มีข้อจำกัดในด้านพื้นที่ และยังต้องการแหล่งจ่ายกระแสไฟที่มีคุณภาพดี จึงจำเป็นต้องใช้สวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าและมีน้ำหนักเบากว่าแบบธรรมดา

1.1 ความเป็นมาของสวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย

เป็นเวลานานหลายปีมาแล้วที่รู้กันมาว่า มีการแบ่งแยกออกเป็น 2 ภาค ในขบวนการสัญญาณทางด้านอิเล็คทรอนิคส์ นั่นคือสำหรับแต่ละปัญหา ดูเหมือนว่าเราจะมองกันให้อยู่ในแง่ของดิจิตอล และอนาล็อก สำหรับนักประดิษฐ์เมื่อเผชิญกับปัญหาทางด้านออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟ การแก้ไขแบบง่ายที่สุดคือการใช้ไอซีรักษาไฟตรงแบบต่อเนื่อง ชนิด 3 ขา เป็นตัวอย่างที่มองเห็นได้ วงจรไอซีชิ่งอยู่บนชิพเดียวกันนี้ ทำให้การออกแบบแหล่งจ่ายไฟเป็นไปได้ง่ายขึ้น แหล่งจ่ายไฟชนิดอนุกรม(series - pass)หรือขนาน(shunt) หรือลิเนียร์(linear) ง่ายต่อการใช้และยังมีสัญญาณรบกวน เหตุผลเหล่านี้เองทำให้สามารถครองอยู่ในตลาดได้เป็นเวลานาน

ในไอซีรักษาไฟตรงแบบต่อเนื่อง เพาว์เวอร์ทรานซิสเตอร์(Power transister) จะต้องทำงานอยู่ตลอดเวลาไม่มีการหยุดพัก ดังนั้นจะสิ้นเปลืองพลังงานสูงมากถ้าต้องการกระแสไฟสูง ประสิทธิภาพของเครื่องจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ Vout/Vin สำหรับกรณีที่ Vout คงที่ ประสิทธิภาพจะลดลงในขณะที่แรงดันอินพุทเพิ่มขึ้น และเมื่อเกิดความแตกต่างระหว่าง Vout กับ Vin จะทำให้เพาว์เวอร์ทรานซิสเตอร์และแผ่นระบายความร้อน(Heat sink) มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ในไอซีรักษาแรงดันไฟตรงแบบต่อเนื่อง ยังมีความจำเป็นที่ว่า แรงดันขาออกจะต้องอยู่ระหว่างศักดาการาวน์ด(ground potential) และระดับไฟขาเข้า ทำให้ซีรีส์พาสทรานซิสเตอร์(series - pass transistor) ต้องการหม้อแปลงไฟและคาปาซิเตอร์สำหรับกรองกระแสที่มีขนาดใหญ่

1.2 Switching Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

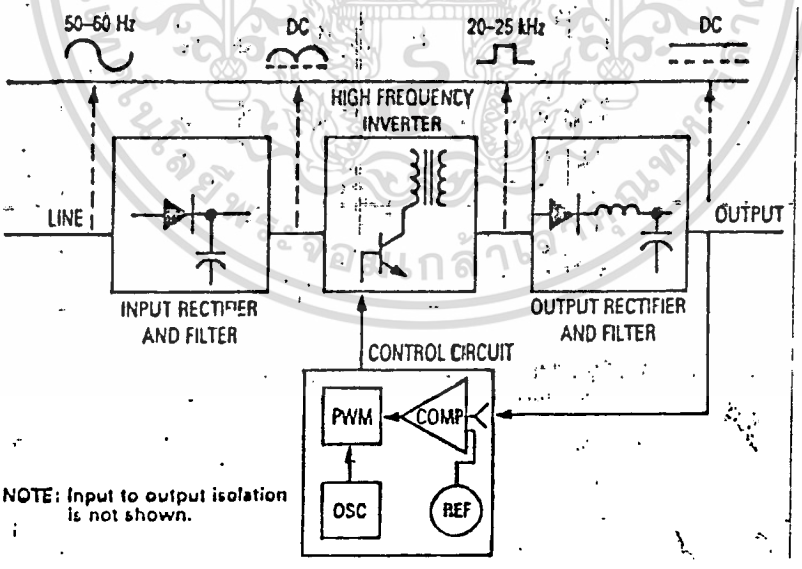
ปัจจุบันนี้อุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ ส่วนมากมักจะต้องการ DC Power Source มากกว่าหนึ่งระดับซึ่งวิธีที่จะได้ DC Supply นั้น จะได้มาจากการเปลี่ยน AC Supply เป็น DC Supply ซึ่งการรักษาระดับ DC ที่ได้นั้น จะต้องมีการ regulate ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ Linear regulator และ Switchingregulator

Linear regulator power supply จะประกอบไปด้วย power transformer, rectifier และ filter สำหรับ switching power supply ไม่ต้องมี line transformer ACinput จะถูก rectifier และ filter เมื่อได้ไฟ DC มาแล้วก็จะ chopped โดย frequency transformer และถูกนำมาผ่าน rectifier แล้วนำมาทำการ filter อีกครั้ง Switching power supply ส่วนมากจะนิยมใช้ใน งานอุตสาหกรรม คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ทางทหาร และอวกาศ เพราะมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพสูง

1.3 Basic operation of switching power supply

ตามรูปที่ 1.1 เป็น Block diagram ของ switching power supply ซึ่งประกอบด้วย4 ภาคหลัก คือ

1. Input rectifier and filter
2. High frequency inverter
3. Output rectifier and filter
4. Control circuit



รูปที่ 1.1 แสดง Block diagram basic switching power supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.1 ลักษณะของการทำงานตาม Block diagram

AC line voltage จะเข้ามาทาง input rectifier และ filter circuit จะทำให้เกิด DC voltage ขึ้น และถูก chopped โดย transistor ด้วยความถี่สูง(10K - 100KHz) ในส่วนของวงจร high frequency inverter และพลังงานจะถูกส่งผ่านโดย high frequencytransformer ซึ่งจะได้ Output voltage ตามต้องการ

Output จากวงจร high frequency จะส่งผ่านเข้าไปในส่วนของ output rectifierและ filter ซึ่งในส่วนนี้จะมีการตรวจสอบแรงดัน เพื่อส่งไปยังวงจรควบคุม

สำหรับวงจรควบคุมจะประกอบด้วยวงจร oscillator วงจร pulse width modulator(PWM) วงจร error amplifier วงจร precision voltage reference output จาก erroramplifier จะถูกเปรียบเทียบกับ input reference voltage ซึ่งได้มาจากส่วนของ outputrectifier และ filter เมื่อ load มีค่ามากขึ้น voltage จะลดลง error amplifier sensorจะมีค่าลดลง ซึ่งจะทำให้วงจร PWM สร้าง pulse ที่มี period กว้างขึ้น ทำให้ช่วงของการ ON ของ transistor นานขึ้น ส่งผลให้สามารถยกระดับแรงดัน DC output ขึ้นมาได้ ดังนั้น output ของวงจรจะมีค่าคงเดิม

1.3.2 ข้อดีของ Switching regulator

ข้อดีของ Switching regulator คือ มีประสิทธิภาพสูงและมีขนาดเล็ก ซึ่ง recgulator แบบ linear (ทั้งแบบ series และ shunt) การทำงานของ transistor จะอยู่ใน active modeคือมีกระแสไหลต่อเนื่องตลอดเวลา ทำให้เกิดการสูญเสียมาก ทำให้มีประสิทธิภาพประมาณ 40% - 50%และหาก input และ output ต่างกันมาก ประสิทธิภาพอาจจะต่ำกว่า 40%

แต่ Switching regulator จะมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 60% - 90% ซึ่งสูงกว่า linearregulator Switching regulator มีประสิทธิภาพสูงเกิดจาก factor 3 อย่างคือ

1. Power transistor จะทำงานเป็น switch คือ ON และ OFF ตลอดเวลา ซึ่งทั้งสองสภาวะนี้ คือช่วง ON จะมี voltage ตกคร่อมต่ำมาก(เท่ากับ Vsat) และ OFF จะมีกระแสไหลผ่านตัวมันต่ำ ทำให้ power ที่สูญเสียในตัว transistor ต่ำ
2. มีค่า regulation ดี และสามารถใช้กับ input ที่มีช่วงกว้าง
3. ประสิทธิภาพสูงจากการที่มันสามารถรักษาแรงดันคงที่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกระแสโหลด

Switching regulator ใช้การ ON < OFF Duty cycle ของ transistor switching ทำการ regulate output voltage และ current โดยใช้ความถี่ของการ switch สูงกว่า line frequency(ประมาณ 10kHz - 100kHz) transformer chocker, capacitor และอุปกรณ์ filter อื่น ๆ จะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาและราคาถูก การที่มันมีอุปกรณ์ขนาดเล็กจะทำให้power ที่สูญเสียในแต่ละตัวจะน้อยกว่าอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่กว่าใน linear regulator

1.3.3 ข้อเสียของ Switching regulator

Switching regulator จะทำให้เกิด Electromagnetic Interferrence (EMI) และRadio Frequency Interferrence (RFI) Noise ระหว่างที่ช่วงการ switch ความเร็วสูง และช่วงขาขึ้นและช่วงขาลงของ pulse ใช้เวลาน้อย ทำให้เกิดความถี่ที่สูงขึ้นกว่าความถี่เดิม(100 kHz -500 kHz) แต่ก็ filter ได้ง่าย

แต่ในการใช้งานจริง ๆ จะมีค่า impedance สูงระหว่าง supply และตัว regulator เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสอย่างรวดเร็ว ย่อมจะทำให้เกิด noise ขึ้นอย่างแน่นอน ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ เราสามารถแก้ไขหรือลด noise ลงได้ ตามลำดับดังนี้

1. ลดค่าของ series impedance
2. เพิ่มเวลาของการ switching
3. ทำการ filter ที่ input และ output ของตัว regulator

Switching regulator ซึ่งมีความถี่คงที่ ง่ายต่อการ filter กว่าวงจรซึ่งสามารถปรับความถี่ได้ เพราะว่า noise ที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นแน่นอนที่ความถี่ใดความถี่หนึ่ง วงจร regulator ซึ่งปรับความถี่ได้ แต่คงที่ช่วงเวลา ON - การเพิ่มหรือลดลงความถี่ให้เหมาะสมกับ load ซึ่งเปลี่ยนแปลง สำหรับวิธีนี้จะเป็นการยากในการ filter noise

1.4 Basic Switching Regulator Architecture

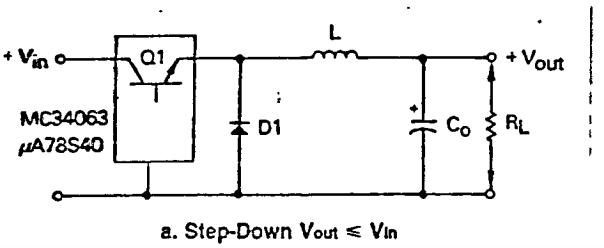
วงจร switching regulator มีวงจรพื้นฐานและใช้กันแพร่หลายมีอยู่ 3 ชนิดคือ

1. Step up or Buck regulator
2. Step down or Boost regulator
3. Inverting or Flyback regulator (ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็น Boost regulator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.1 Step down regulator

ตามรูปที่ 1.2 จะแสดงถึงวงจรพื้นฐานของ step down regulator Output voltage ที่ได้จะมีค่าน้อยกว่า input voltage



รูปที่ 1.2 แสดง Step down or Buck switching regulator

ในวงจรแบบ buck นั้น Switching จะถูกต่อ series กับ DC input ซึ่ง switching transistor จะเป็นตัวกำหนดให้ DC ที่ไปปรากฏทางด้าน output โดยจะขึ้นอยู่กับความกว้างของpulse ที่ควบคุม transmittor อีกทีหนึ่ง เมื่อ switch "closed" DC ทาง input ก็จะไปปรากฏที่วงจร filter และมีกระแสไหลผ่าน inductor ไปยังโหลด เมื่อ switch "open" พลังงานที่ถูกเก็บไว้ในสนามแม่เหล็กของ inductor จะถูกปล่อยผ่านโหลดและ diode

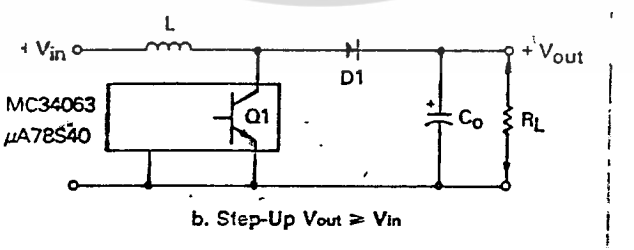
ในวงจรชนิด buck นี้ กระแสสูงสุด(peak current) จะเป็นค่าที่พอดีกับ load current และ output voltage สามารถหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$Vo = Vi.t_{on}/t_{on}+t_{off}$$

หรือ $$= Vi.Duty\ cycle$$

1.4.2 Step up regulator

วงจรพื้นฐานของ regulator ชนิด boost นี้ แสดงดังในรูปที่ 1.3 ซึ่งเป็นชนิดหนึ่งของวงจรประเภทนี้ Voltage output ที่ได้จะสูงกว่า input voltage



รูปที่ 1.3 แสดงวงจรพื้นฐานของ switching regulator ชนิด step up หรือ boost

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร boost นี้ เมื่อแรกเริ่ม inductor ก็จะเก็บพลังงานไว้ เมื่อมีกระแสไหลไปยังโหลด เมื่อ switch "close" กระแสก็จะไหลออกจาก inductor ผ่าน switch แต่ในช่วงนี้จะไม่มีกระแสไหลไปยังโหลด เมื่อ switch "open" แรงดันที่ตกคร่อมโหลดจะเท่ากับ DC inputvoltage รวมกับ charge store ที่เกิดขึ้นใน inductor และทำให้มีกระแสไหลผ่านไปยังโหลดอีกครั้ง

สำหรับ peak switching current จะไม่มีผลต่อ load current และ power output ของวงจร boost จะหาได้จากสมการดังข้างล่างนี้

$$Pout = LI^2f/2$$

โดยที่ Pout = Power output

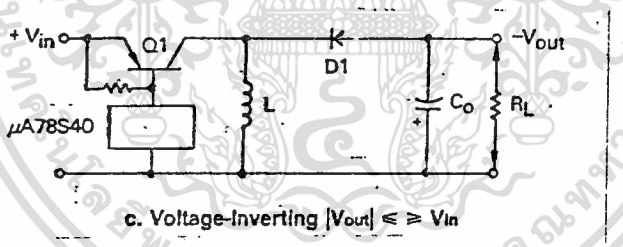
L = Inductance

I = Peak current

f = Operating frequency

1.4.3 Inverting regulator

วงจร switching regulator ชนิดที่ 3 นี้ จะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า flyback regulator ซึ่งวงจรชนิดนี้ จะมีลักษณะการทำงานคล้าย boost regulator ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงวงจรพื้นฐานของ inverting หรือ flyback switching regulator

Flyback regulator นี้ เป็นการดัดแปลงมาจากวงจรชนิด boost regulator ซึ่งจะใช้วิธีเก็บพลังงานไว้ใน inductor เมื่อ switch "close" จะมีกระแสไหลผ่าน inductor แต่จะไม่ไหลไปยังโหลดเพราะ diode ต่อแบบ reverse bias เมื่อ switch "open" blacking diode จะได้รับ forward bias จากพลังงานที่เก็บไว้ใน inductor และจะถูกส่งไปยังโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

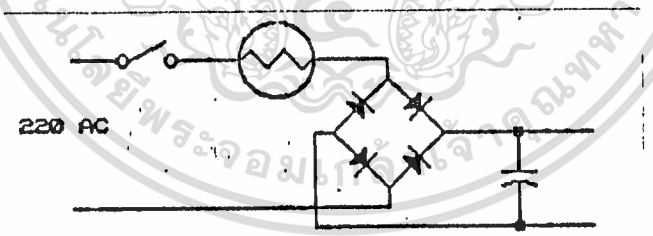
ทฤษฎีการทำงานของสวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย

การทำงานของสวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย จะเริ่มจากการนำเอาไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ 50 Hz มาแปลงให้เป็นไฟฟ้าศักดาเรียบ จากนั้นทำการแปลงไฟฟ้าศักดาเรียบที่ได้ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เพื่อผ่านหม้อแปลงความถี่สูงทำให้สามารถลดขนาด และน้ำหนักของเพาว์เวอร์ซัพพลายลงได้มาก การผ่านหม้อแปลงความถี่เพื่อเปลี่ยนระดับแรงดัน จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้าศักดาเรียบอีกครั้งหนึ่ง เพื่อนำไปใช้ตามความต้องการต่อไป

เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ เราจะแบ่งหลักการทำงานของสวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย ออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ภาคเรียงกระแสขาเข้า (Input section)
2. ชุดวงจรเรียงไฟกระแสสลับ (Switcher circuit)
3. หม้อแปลงความถี่สูง (High frequency transformer)
4. ภาคเรียงกระแสขาออก (Output section)
5. ส่วนผลิตสัญญาณควบคุม (Switching control circuit)
6. ส่วนป้อนกลับ (Feedback part)
7. ชุดวงจรแยกและขยายสัญญาณควบคุม

1. ภาคเรียงกระแสขาเข้า (Input section)



รูปที่ 2.1 ภาคเรียงกระแสขาเข้า

ในส่วนของวงจรชุดนี้ เป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับ ให้เป็นไฟกระแสตรงที่เรียบ จะแบ่งการทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. ไดโอดเรียงกระแส (Rectifier bridge diode) ทำหน้าที่เรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full wave rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัวเก็บประจุภาคไฟเข้า (Input capacitor) เป็นตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ มีหน้าที่กรองให้ศักดาเข้าเป็นไฟกระแสตรงที่เรียบ สามารถคำนวณหาขนาดความจุของตัวเก็บประจุโดยเป็นไปตามความสัมพันธ์ของ ค่ากระเพื่อมของศักดา (ripple voltage) ค่ากระแสที่ตัวเก็บประจุต้องจ่ายออก และคาบเวลาของการจ่ายกระแส

$$Ic = C.dV/dt \qquad (1)$$

และเมื่อวงจรเป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

$$C = Ic/(V_R.2f) \qquad (2)$$

3. ส่วนป้องกันกระแสกระชากและป้องกันแรงดันเกิน(Input protection) จากสมการ (1) เราจะเห็นได้ว่ากระแสกระชากมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ dV/dt และค่าความจุของตัวเก็บประจุ ช่วงเวลาที่จะเกิดกระแสกระชากสูงสุด คือช่วงเริ่มต้นของการทำงาน ซึ่งค่าของกระแสกระชาก อาจทำความเสียหายให้กับวงจรได้ ซึ่งมีวิธีป้องกันใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

- การป้องกันโดยใช้ตัวต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ(Thermistor)ซึ่งเป็นแบบความต้านทานผกผันกับอุณหภูมิ(NTC Thermistor) เพื่อจำกัดกระแสเริ่มต้น และค่าความต้านทานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จึงทำให้เวลาวงจรทำงานปกติมีการสูญเสีย(loss) ต่ำ

- การป้องกันโดยใช้ชุดวงจรหน่วงเวลา เมื่อเริ่มต้นให้กระแสไหลผ่านความต้านทานค่าหนึ่ง แล้วลัดวงจรตัวต้านเมื่อวงจรทำงานในภาวะปกติ(Steady state)

- การป้องกันโดยใช้สวิทช์ศูนย์(Zero switch) จากสมการ (1) เราจะเห็นว่าถ้าแรงดันเป็นศูนย์ กระแสกระชากจะไม่เกิดขึ้น เราจึงอาศัยหลักการนี้มาใช้ เนื่องจากแรงดันเข้าเป็นคลื่นรูป Sine จึงเลือกช่วงเวลาที่แรงดันเป็นศูนย์ทำการปิดวงจร

การป้องกันแรงดันเข้าเกิน จะใช้เมตัลออกไซด์วาริสเตอร์(MOV) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับซีเนอร์ไดโอด 2 ตัวต่อกลับขั้วกันอยู่ เมื่อแรงดันเกิน MOV จะนำกระแส ทำให้แรงดันถูกจำกัดอยู่ที่ค่าหนึ่ง

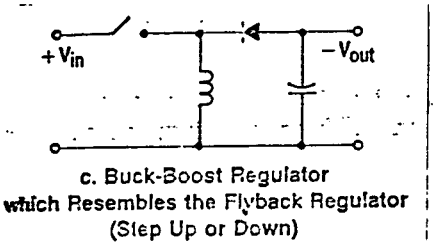
2. ชุดวงจรเรียงไฟกระแสสลับ (Switcher circuit)

เป็นวงจรที่แปลงไฟฟ้าแรงดันเรียบ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เพื่อผ่านหม้อแปลงความถี่สูง(High frequency transformer) ซึ่งมีวงจรหลายแบบ ตัวอย่าง เช่น

2.1 วงจรฟลายแบ็ค (Flyback converter) เมื่อปิดวงจร กระแสจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ(Inductor) L ไดโอดจะถูก reverse bias ทำให้ไม่มีแรงดันตกคร่อมโหลด R_L และเมื่อวงจรเปิด การเหนี่ยวนำกระแสของตัวเหนี่ยวนำ จะทำให้ไดโอดอยู่ในภาวะ forward

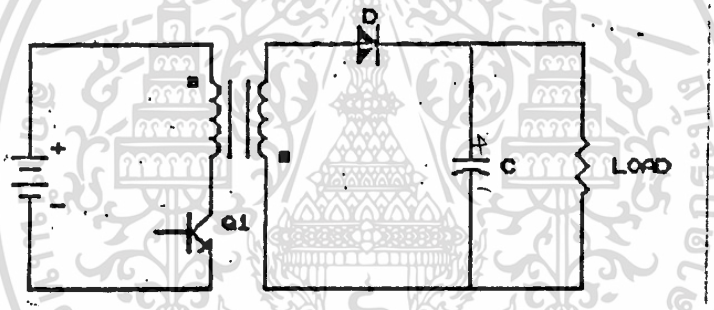
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

bias ค่าแรงดันที่ตกคร่อมโหลด R_L จะขึ้นกับแรงดันที่จ่ายให้วงจร



รูปที่ 2.1 วงจร Flyback

วงจรฟลายแบ็คแบบนี้ยังไม่ค่อยปลอดภัย เนื่องจากไม่มีการแบ่งแยก (Isolated) ส่วนของแหล่งจ่ายออกจากโหลด จึงทำการดัดแปลงโดยการใส่หม้อแปลง(Transformer) เข้าไปเพื่อแยกทั้งสองส่วนออกจากกัน ซึ่งมีข้อดีคือ เพิ่มความปลอดภัยและสามารถเลือกระดับแรงดันที่จะจ่ายให้กับโหลดได้

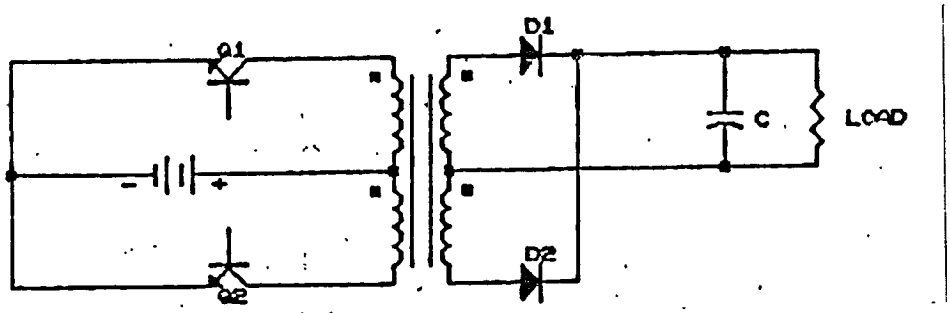


วงจร Flyback แบบแบ่งแยก (Isolated flyback)

2.2 วงจรพุชพูล (Push pull converter) ทำงานโดยให้ทรานซิสเตอร์ ผลัดกันนำกระแส ผลของการเหนี่ยวนำที่ด้านปฐมภูมิ จะไปปรากฏที่ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ข้อดีของวงจรแบบนี้คือ สามารถทำการควบคุมได้โดยง่าย แต่ก็มีข้อเสียหลายประการคือ การใช้ทรานซิสเตอร์ที่ไม่เต็มพิกัด เนื่องจากวงจรแบบนี้ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมทรานซิสเตอร์เป็น 2 เท่าของแรงดันที่ปรากฏที่หม้อแปลง และที่สำคัญคือ การไม่เท่ากันของขดลวดด้านปฐมภูมิ ทำให้เกิดฟลักซ์รั่ว(Leakage flux) ซึ่งผลทำให้เกิดการอิ่มตัวของแกนหม้อแปลง เกิดความร้อน และยังทำให้เกิดแรงดันรบกวน(Spike voltage) จึงจำเป็นต้องมีวงจรป้องกันทรานซิสเตอร์(Snubber)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

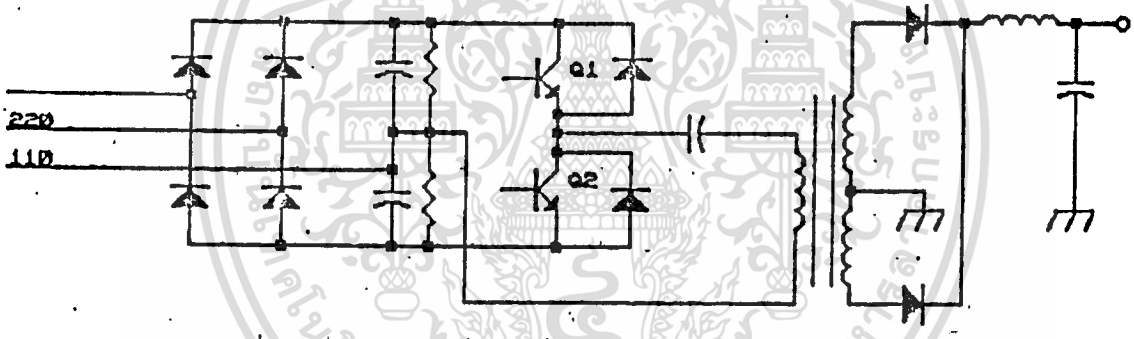
028751



รูปที่ 2.2 วงจรพุชพูล(Push pull converter)

2.3 วงจรฮาล์ฟบริดจ์(Halfbridge converter) วงจรแบบนี้มีข้อดีหลายอย่าง เช่น ไม่มีปัญหาของฟลักซ์รั่ว สามารถใช้แรงดันเข้าได้ 2 ระดับ แต่การควบคุมจะยุ่งยากมากขึ้น และใช้ทรานซิสเตอร์ไม่เต็มพิกัด ลักษณะของวงจรฟจะมีปลายข้างหนึ่งของหม้อแปลงต่ออยู่ระหว่างตัวเก็บประจุ 2 ตัว ทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัว จะผลัดกันนำกระแส เราสามารถคำนวณค่ากระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ได้ดังนี้

$$Ic = 3.Pout/Vin \qquad (2.1)$$



รูปที่ 2.3 วงจรฮาล์ฟบริดจ์(Halfbridge converter)

อุปกรณ์อีกชนิดที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ คือ Series coupling capacitor ซึ่งต่ออนุกรมอยู่กับหม้อแปลงความถี่สูง ทำหน้าที่เฉลี่ยแรงดันทางชีกบวก และทางชีกลบของหม้อแปลงให้มีขนาดพื้นที่เท่ากัน เป็นการป้องกันการอิ่มตัวของแกนหม้อแปลงความถี่สูง

คอมมิวเตติ้งไดโอด(Commutating diode) เป็นไดโอดที่ต่อคร่อมคอลเล็คเตอร์(Collecter) กับอีมิตเตอร์(Emitter) เพื่อประโยชน์ 2 ประการคือ

1. เมื่อทรานซิสเตอร์ OFF คอมมิวเตติ้งไดโอด จะนำพลังงานที่เกิดจากลีคเกจอินดัคแตนซ์ของหม้อแปลงกลับสู่ DC Bus ซึ่งเป็นการลดทอนแรงดันรบกวน(Spike voltage)

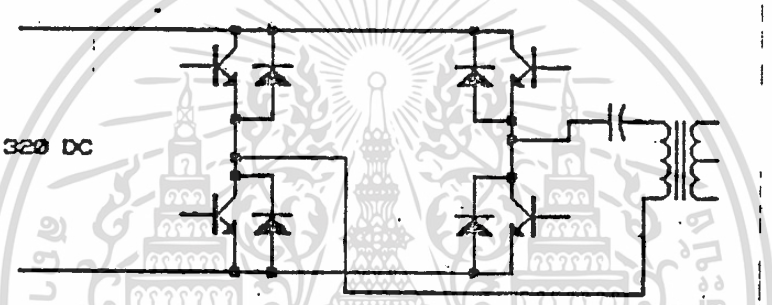
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คอมมิวเตติ้งไดโอด ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แรงดันตกคร่อม คอลเล็คเตอร์กับอีมิตเตอร์เป็นลบ ซึ่งจะความเสียหายให้กับทรานซิสเตอร์ได้

คอมมิวเตติ้งไดโอด จะต้องเป็นไดโอดชนิดที่นำกระแสเร็ว (Fast recovery diode) และทนแรงดันได้อย่างน้อย 2 เท่าของแรงดันคอลเล็คเตอร์กับอีมิตเตอร์เมื่อทรานซิสเตอร์ OFF

2.4 วงจรฟูลบริดจ์(Full bridge convertor) จากวงจรฮาล์ฟบริดจ์ ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ ต้องใช้พิกัดกระแสที่สูงขึ้น ซึ่งทำให้ราคาแพง การใช้วงจรฟูลบริดจ์ทำให้กระแสที่ผ่านทรานซิสเตอร์น้อยกว่าวงจรฮาล์ฟบริดจ์ครึ่งหนึ่ง นอกจากนี้ยังนำข้อดีด้านแรงดันที่มีแรงดันรบกวนน้อย และข้อดีของวงจรพุชพูลทางด้านกระแสมารวมกัน สามารถคำนวณกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ได้ดังนี้

$$Ic = 1.6\ Pout/Vin \qquad (2.2)$$



รูปที่ 2.4 วงจรฟูลบริดจ์(Full bridge converter)

การเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ มีขีดจำกัดด้านความถี่ คือสามารถใช้ความถี่สูงในการสวิทช์ชิ่ง(Switching frequency) ได้ประมาณ 50 kHz และมีการสูญเสียในการสวิทช์ชิ่ง (Switching loss) มากกว่าแบบมอสเฟต (MOSFET) ซึ่งสามารถใช้ได้ในย่านความถี่สูงสุดประมาณ 200 kHz แต่มีราคาแพงกว่า นอกจากนี้โครงสร้างของมอสเฟตที่มีใช้ในท้องตลาดได้บรรจุคอมมิวเตติ้งไดโอดไว้ร่วมกันด้วย การใช้ความถี่ที่สูงขึ้นจะทำให้ขนาดของเพาว์เวอร์ซัพพลายมีขนาดเล็กลง

3. หม้อแปลงความถี่สูง (High frequency transformer)

จากความสัมพันธ์เบื้องต้นของหม้อแปลง คือ

$$N_P/N_S = V_P/V_S \qquad (3.1)$$

และความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e = 10^{-8} N.Ae.dB/dt \qquad (3.2)$$

ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก หน่วยเป็นเกาส์ (Gauss)

$$1 \text{ เกาส์} = 10^{-4} Wb/m^2$$

และค่าของพื้นที่ หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร และจากสมการที่ได้จากการประมาณค่า

$$Bmax = 10^{8} (Vp.T)/(N.Ae) \qquad (3.3)$$

โดยที่ Bmax มีหน่วยเป็นเกาส์ และ Ae มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร

วัสดุที่ใช้ทำแกนหม้อแปลงความถี่สูง มีวัสดุหลายชนิดที่สามาถใช้ทำแกนหม้อแปลงความถี่สูง แต่ที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ เฟอร์ไรท์(Ferrite) ซึ่งมีค่าความหนาแน่นฟลักซ์ประมาณ 3,000 - 5,000 เกาส์ และมีการสูญเสียในแกน (core loss) ต่ำเมื่อความถี่สูง และยังง่ายต่อการพันลวดและการประกอบ ลักษณะรูปร่างของแกนที่นิยมใช้ ได้แก่ แกนรูป E-E, E-I, E-C, พ็อทคอร์ (pot core) สำหรับแกนพ็อทคอร์ นิยมใช้กับระดับการจ่ายกำลังต่ำ 20-200 W เนื่องจากมีฟลักซ์รั่วต่ำ แต่มีการระบายความร้อนที่ไม่ค่อยดีนัก ส่วนแกนรูปอื่นจะใช้ในระดับกำลังที่สูงกว่านี้ การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง นอกจากการเลือกแกนแล้ว ยังต้องออกแบบการพันขดลวดด้วย การออกแบบอาจจะแบ่งเป็นขั้นตอนย่อย เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจดังนี้

1. เลือกชนิดของแกนและขนาดของแกนที่จะใช้
2. เลือกระดับความหนาแน่นฟลักซ์ (Flux density) ที่จะใช้งาน โดยที่ไม่ทำให้แกนอิ่มตัว สำหรับเฟอร์ไรท์อยู่ที่ Bmax ต่ำกว่า 3,000 เกาส์
3. คำนวณกระแสด้านปฐมภูมิสูงสุด
4. คำนวณขนาดแกนพันลวด (Bobbin) ว่ามีขนาดเพียงพอหรือไม่ จากสูตร

$$Ae.Ac = 0.68 * Pout.D.10^{3}/(f.Bmax) \qquad (3.5)$$

พื้นที่หน้าตัดหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กหน่วยเป็นเกาส์ ค่า D เป็นความหนาแน่นของกระแส หน่วยเป็น circular mils / amp ซึ่งค่าที่ปลอดภัยควรสูงกว่า 200 c.m./A

ค่า D นี้ เราเป็นผู้เลือกเองใส่ในสูตร ซึ่งค่าทางซ้ายของสมการควรสูงกว่าค่าทางขวาอย่างน้อย 50% จึงจะถือว่าพอเพียง

5. คำนวณจำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ ก่อนอื่นจะต้องหาขนาดของลวดก่อน ตัวอย่าง เช่น กำหนดค่า D = 400 c.m./A กระแส 1.19 A. ดังนั้นต้องการพันขดลวดขนาด 1.19*400 = 476 c.m./A ซึ่งดูได้จากตารางขนาดขดลวดมาตรฐาน เป็นลวดเบอร์ AWG 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นคำนวณจำนวนรอบจากสมการ

$$Nr = 10^{8}Vp/(4f.Bmax.Ae) \qquad (3.6)$$

6. ตรวจสอบค่า Bmax และ Vin(max) เพื่อไม่ให้เกิดการอิ่มตัวของแกนจากสมการ (3.4)

$$Bmax = 10^{8}Vin(max)/(4N.f.Ae) \qquad (3.7)$$

7. คำนวณชั้นของการพันขดลวด ตัวอย่าง เช่น ความกว้างของแกนพันลวดเท่ากับ 0.509 นิ้ว ขนาดลวดเบอร์ AWG 23 เฉลี่ย 0.025 นิ้ว จะพันได้ชั้นละ 0.509/0.025=20 รอบ ถ้าจำนวนรอบเท่ากับ 40 รอบ จะพันเท่ากับ 2 ชั้น

8. คำนวณจำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ จากความสัมพันธ์

$$Ns = Np.Vs/Vp \qquad (3.8)$$

9. คำนวณขนาดลวดด้านทุติยภูมิ และจำนวนชั้นของการพัน

10. ตรวจสอบว่าแกนพันลวด สามารถพันขดลวดทั้งหมดได้หรือไม่

4. ภาคเรียงกระแสขาออก (Output section)

หน้าที่การทำงานของส่วนนี้คือ การแปลงไฟกระแสสลับที่ได้จากขดลวดทุติยภูมิ ของหม้อแปลงความถี่สูง ให้เป็นไฟกระแสตรงเพื่อจ่ายให้แก่โหลดต่อไป และเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ จะแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ไดโอดเรียงกระแส ทำหน้าที่เรียงกระแส จะต้องมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (Recovery time) ต่ำ และมีแรงดันตกคร่อมเมื่อ forward bias ต่ำ ทำให้ไดโอดธรรมดาไม่สามารถนำมาใช้ได้ ไดโอดที่ใช้เป็นไดโอดประเภทนำกระแสเร็ว ไดโอดนำกระแสเร็วมาก (Schottky diode)

2. ตัวเหนี่ยวนำ ทำหน้าที่ 2 ประการคือ ทำหน้าที่หน่วงกระแสให้กระแสไหลอย่างต่อเนื่อง และทำหน้าที่ในการช่วยให้แรงดันที่ได้เรียบขึ้น มีวัสดุหลายชนิดที่สามารถใช้ทำเป็นตัวเหนี่ยวนำได้ ที่นิยมใช้กันมากได้แก่ แกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite core), แกนผงเหล็ก (Iron powder) และแกนโมลีเพอร์มาลอยด์ (MPP) แกนผงเหล็กและ MPP มักจะทำอยู่ในรูปทอรอยด์ (Toroid) และสามารถใช้งานได้ดี

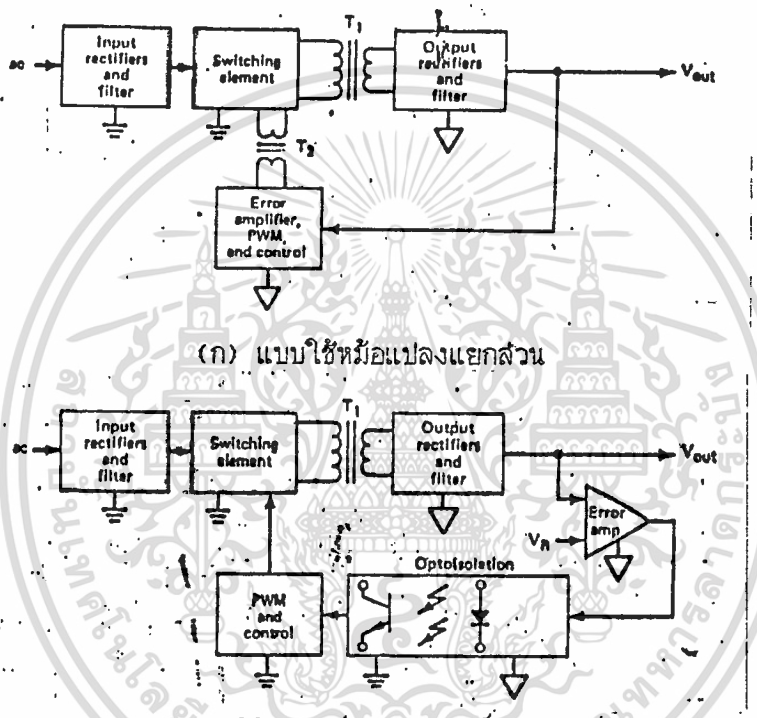
3. ตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่ให้แรงดันเรียบ การเลือกตัวเก็บประจุขึ้นอยู่กับวงจรสวิทช์ชิ่ง ขนาดของกระแสที่ต้องการจ่ายออก ซึ่งโดยมากจะเป็นตัวเก็บประจุชนิดอิเล็คโตรไลติกที่มีค่าความต้านทานเสมือน ESR ต่ำ ค่า ESR มีความสำพันธ์โดยตรงกับค่าแรงดันกระเพื่อมและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า ESR นี้ จะเป็นตัวบ่งบอกถึงอายุการใช้งานของตัวเก็บประจุ เนื่องจากเป็นตัวบ่งถึงค่าความสูญเสียภายในตัวเก็บประจุ ถ้าค่า ESR สูง ในการใช้งานจะเกิดการสูญเสียมาก ทำให้เกิดความร้อน ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

5. ส่วนผลิตสัญญาณควบคุม (Switching control circuit)

ในปัจจุบันส่วนสร้างสัญญาณควบคุม มักจะใช้เทคนิคของ PWM และเทคโนโลยีการผลิต ไอซีได้พัฒนาไปมาก สามารถผลิตไอซีสร้างสัญญาณควบคุมได้ในอุปกรณ์ชิ้นเดียว เราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรม ของส่วนต่าง ๆ ของวงจรสวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลายได้ดังนี้



(ก) แบบใช้หม้อแปลงแยกส่วน

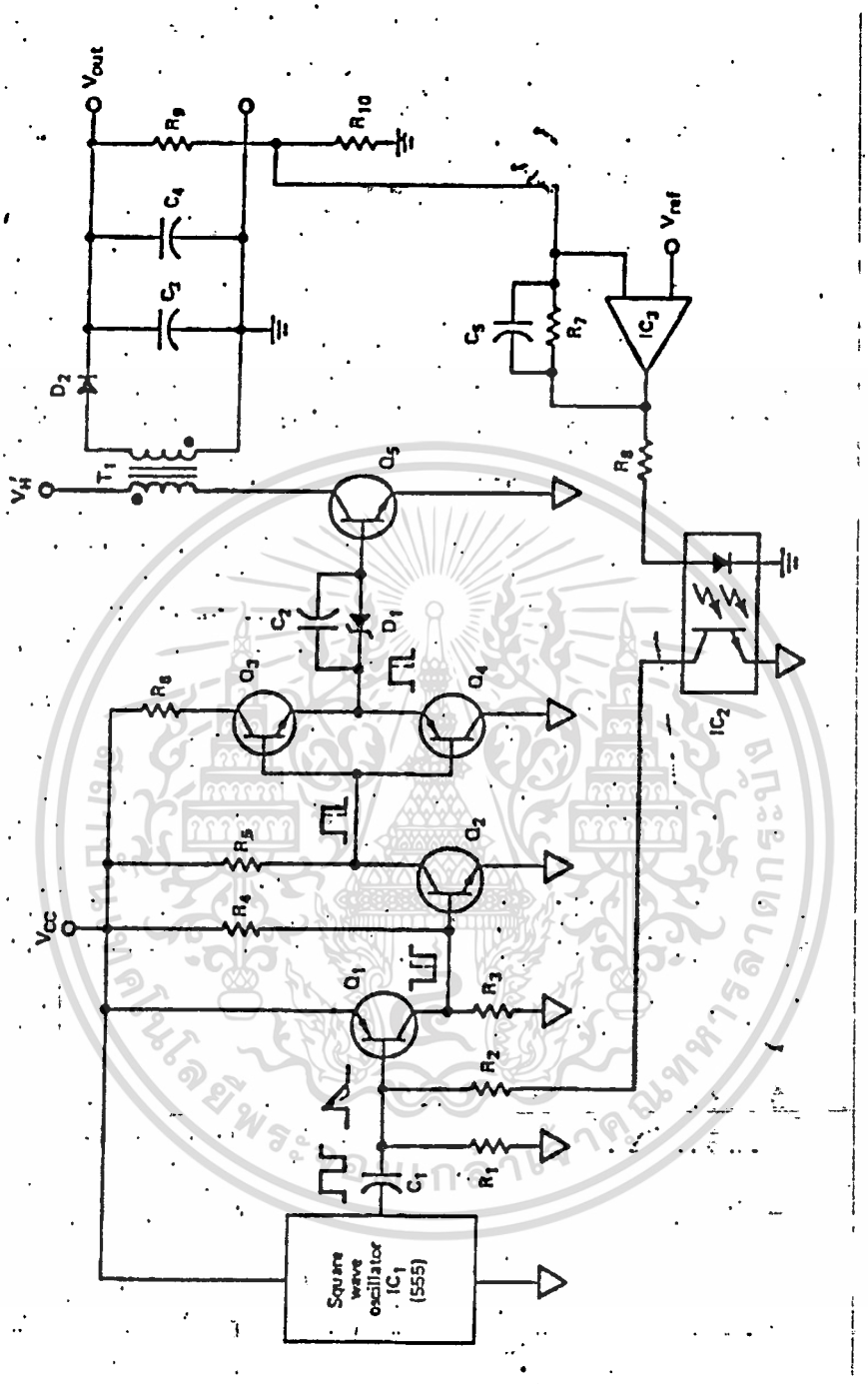
(ข) แบบใช้อุปกรณ์แบ่งแยกอิเล็คทรอนิคส์

รูปที่ 5. แสดงบล็อกไดอะแกรมของสวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย

5.1 การควบคุมอย่างง่ายโดยใช้ไอซี LM 555

ใช้ควบคุมเพาว์เวอร์ทรานซิสเตอร์เพียงตัวเดียว เมื่อทำการตั้งความถี่ใช้งานโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยการขยายสัญญาณควบคุมเป็นช่วง จาก Q1, Q2, Q3-Q4 เพื่อควบคุม Q5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

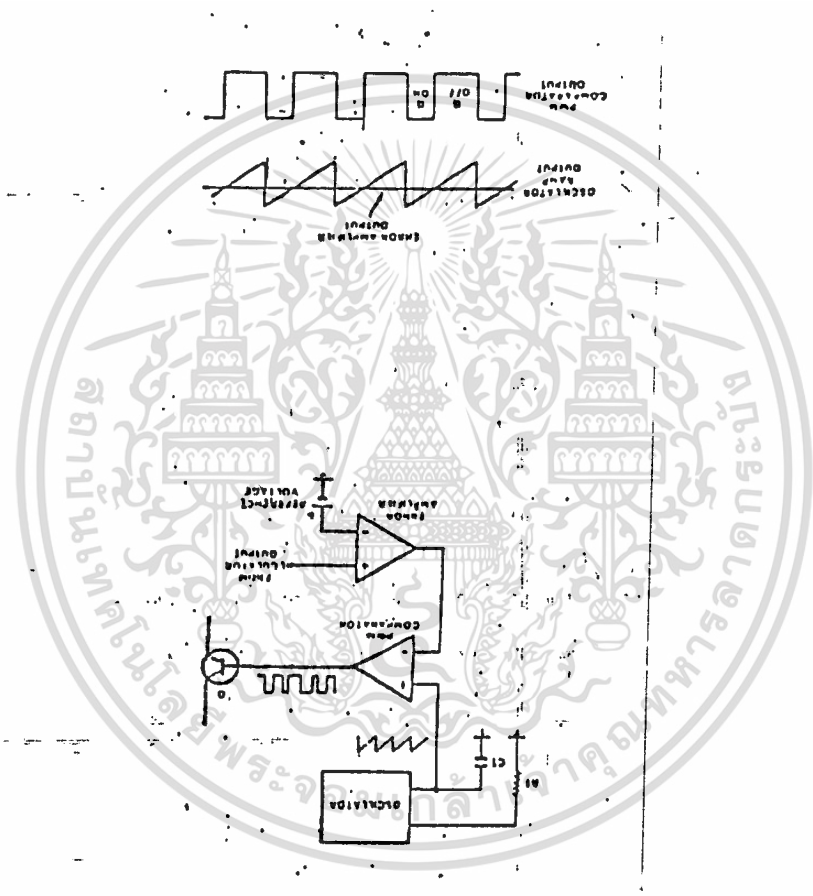


รูปที่ 5.1 วงจรที่ใช้ LM 555 สร้างสัญญาณควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สวิทช์ชิ่งเร็คกูเรเตอร์ TL 494

ในส่วนของชุดควบคุมนี้ ถือว่าเป็นหัวใจของวงจรทั้งหมด เพราะสัญญาณที่จะนำไปกระตุ้น power transistor นั้น ต้องไม่มีโอกาสที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียได้ และการทำงานของวงจรจะดีหรือไม่ดี ก็ขึ้นอยู่กับชุดควบคุมนี้ ดังนั้นเราจึงใช้วิธีการควบคุมแบบ PWM ซึ่งแสดง Block diagram ตามรูปที่ 5.2.1



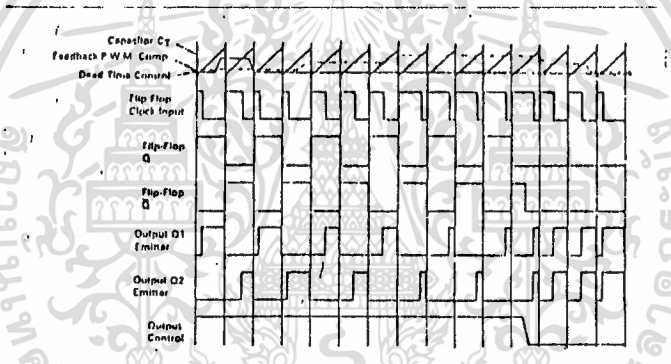
รูปที่ 5.2.1 แสดงชุดควบคุมแบบ Pulse Width Modulate

การทำงานของวงจรควบคุม (PWM) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.2.1 จะประกอบด้วยชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างสัญญาณฟันเลื่อย (saw tooth wave form) ซึ่งจะนำเอาสัญญาณฟันเลื่อยมาทำการเปรียบเทียบกับ error voltage ซึ่งได้มาจากวงจรขยายความแตกต่าง (error amplifier) สัญญาณ output ที่ได้จาก PWM Comparator จะเป็น square wave ที่มีความกว้างของ pulse เปลี่ยนแปลงไปตาม control signal

Error amplifier ในวงจร PWM จะทำหน้าที่เหมือนกับวงจร error amplifier ใน linear regulator power supply คือเอา Output voltage มาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง (reference voltage) จะทำให้ได้ error voltage ขึ้นค่าหนึ่ง ซึ่งค่า error voltage นี้ จะถูกขยายโดย error amplifier และจะมีระดับของ DC voltage เปลี่ยนแปลงตามระดับของสัญญาณที่นำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณฟันเลื่อย ทรานซิสเตอร์ก็จะ ON และในทางตรงกันข้าม เมื่อระดับของสัญญาณ error amplifier มีระดับสัญญาณสูงกว่าทรานซิสเตอร์ก็จะ OFF ซึ่งจะดูได้จาก timing diagram ดังแสดงในรูปที่ 5.2.2



รูปที่ 5.2.2 แสดง timing diagram ของ IC เบอร์ TL494 หรือ UA 494

TL 494 ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ทางด้าน PWM โดยเฉพาะ การควบคุมความถี่ PWM จะใช้ควบคุมความถี่คงที่ โดยผลิตความถี่ saw tooth ขึ้นภายในตัวไอซี ความถี่นี้จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบภายนอก 2 ตัว คือ R_T และ C_T ซึ่งจะต่ออยู่กับขา 6 และขา 5

แรงดันตกคร่อม C_T จะเป็นลักษณะของรูป saw tooth หรือบางทีเรียกว่าสัญญาณแรมป์ (ramp) สัญญาณนี้จะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณจาก error amplifier และสัญญาณจาก dead time control

NOR gate เป็นตัวขับ transistor output Q1 และ Q2 โดย Q1 และ Q2 จะสลับกันทำงาน สัญญาณนาฬิกาของ flip flop มีสภาวะเป็นระดับต่ำ (LOW) เมื่อสัญญาณของ C_T มีระดับสูงกว่าสัญญาณ feedback-pwmcomp และสัญญาณ dead time control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ ON ของ Q1 และ Q2 จะขึ้นอยู่กับสัญญาณ output mod control ถ้า output mod control เป็น Hi สัญญาณควบคุม Q1 และ Q2 จะขึ้นอยู่กับสัญญาณของ ck และสัญญาณ output ของ filp flop ถ้า output mod control เป็น Low สัญญาณควบคุม Q1 และ Q2 จะขึ้นอยู่กับสัญญาณ ck เพียงอย่างเดียว

ที่ขา dead time control จะมีแรงดันต่ออยู่ประมาณ 0.1 โวลท์ แรงดัน off set อันนี้ จะป้อนเข้าที่ขา inverting input ของวงจร dead time control ดังนั้นเมื่อแรงดันตกคร่อม C_T สูงกว่า 0.1 โวลท์ Comparator จะให้ output เป็น High และทุกไซเคิ้ล การ oscillator C_T จะคายประจุและแรงดันต่ำกว่านี้ในตอนต้นของสัญญาณแรมพ์ทุกลูก ทาง output ของ comparator จะมีช่วงเป็น Lo เสมอ ทำให้ทรานซิสเตอร์หยุดทำงาน และด้วยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของทรานซิสเตอร์ จะทำงานแบบสวิทช์ซึ่งทุกตัวในช่วง ON จะมีการสะสมประจุในเบส ถ้าหากว่าช่วง OFF ไม่นานพอ(ที่จะทำให้ประจุนี้ลดลงได้) ทรานซิสเตอร์จะทำตัวเสมือนลัดวงจร ซึ่งเป็นลักษณะที่เราไม่ต้องการ วงจร PWM comparator ได้รับการออกแบบให้เปรียบเทียบแรงดันตกคร่อม C_T ซึ่งจะรวมกับแรงดัน offset อีก 0.7 โวลท์ กับแรงดันจาก output ของวงจร error amplifier จะเห็นว่าที่ขา inverting input ของ PWM com parator จะต่อกับวงจรดึงกระแสคงที่ 0.6 มิลลิแอมป์ Output ของ error amplifier แต่ละชุดจะมีไดโอดต่ออนุกรมอยู่ เพื่อทำตัวเป็น OR gate นั่นเอง ทำนองเดียวกัน แรงดันที่ขา 3 จะสามารถควบคุมผลทาง output เช่นเดียวกับส่วนของ dead time control

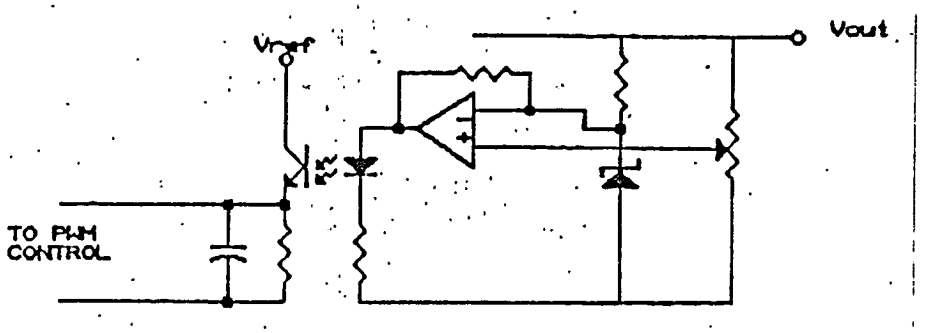
อีกส่วนหนึ่งที่เพิ่มเข้ามาคือวงจร regulate แรงดัน 5 โวลท์ เพื่อใช้สำหรับเป็นแรงดันอ้างอิง(วงจรนี้สามารถจ่ายกระแสได้ 20 mA) หรือจะจ่ายให้กับวงจรภายนอกก็ได้

6. ส่วนป้อนกลับ (Feedback part)

การป้อนกลับเพื่อทำการควบคุมความกว้างของสัญญาณควบคุม ซึ่งเป็นตัวกำหนดแรงดันขาออก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด เมื่อมีการดึงกระแสเพิ่มขึ้นส่วนป้อนกลับจะส่งสัญญาณกลับไปขยายความกว้างของสัญญาณควบคุม หรือเมื่อโหลดดึงกระแสลดลง ความกว้างของสัญญาณควบคุมจะแคบลง จุดประสงค์ของการป้อนกลับออกเป็น 2 อย่างคือ

1. การป้อนกลับเพื่อควบคุมแรงดัน

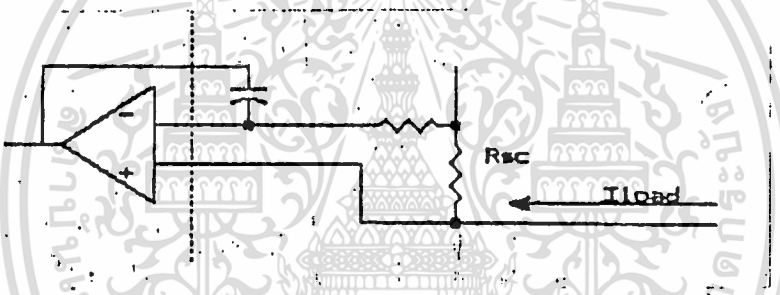
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 แสดงวงจรป้อนกลับเพื่อควบคุมแรงดัน

เมื่อแรงดันเปลี่ยนแปลง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันผลต่างที่ออปแอมป์ ส่งผลให้ระดับแรงดันที่ป้อนเข้าสู่ส่วนกำเนิดสัญญาณควบคุมเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ความกว้างของสัญญาณควบคุมเปลี่ยนแปลง

2. การป้อนกลับเพื่อป้องกันการใช้กระแสเกินและลัดวงจร



รูปที่ 6.2 แสดงวงจรป้อนกลับเพื่อป้องกันการลัดวงจร

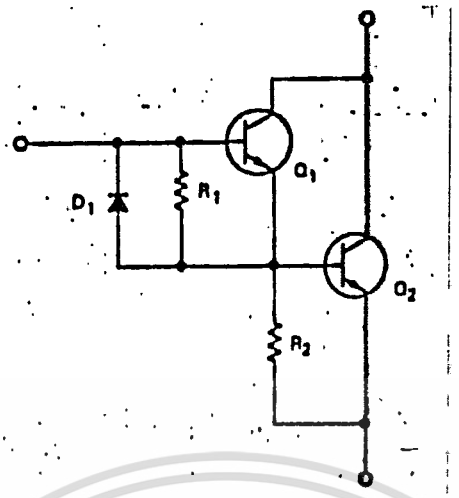
เมื่อกระแสโหลดเกินค่าที่กำหนด จะทำให้วงจรควบคุมไม่สร้างสัญญาณ

7. ชุดวงจรแยกและขยายสัญญาณควบคุม

เนื่องจากสัญญาณควบคุมที่ได้จากส่วนสร้างสัญญาณควบคุม อาจจะมีกำลังไม่เพียงพอที่จะขับให้เพาว์เวอร์ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ จึงอาจจะต้องขยายสัญญาณควบคุมให้มีกำลังที่สูงขึ้น

7.1 การต่อทรานซิสเตอร์แบบ Darlington

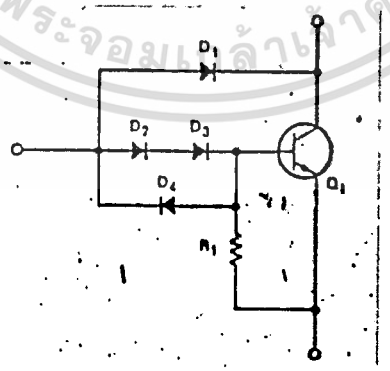
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1 วงจรขยายสัญญาณแบบดาร์ลิงตัน

การต่อทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตัน มักจะใช้กับเพาว์เวอร์ทรานซิสเตอร์ เป็นการเพิ่มเกนหรืออัตราขยายกระแส Ic/Ib ของทรานซิสเตอร์ เนื่องจากทรานซิสเตอร์กำลังสูงมักมีอัตราการขยายต่ำ ในอุปกรณ์เพาว์เวอร์ทรานซิสเตอร์บางตัว จะมีการต่อแบบดาร์ลิงตันสำเร็จรูปมาแล้ว

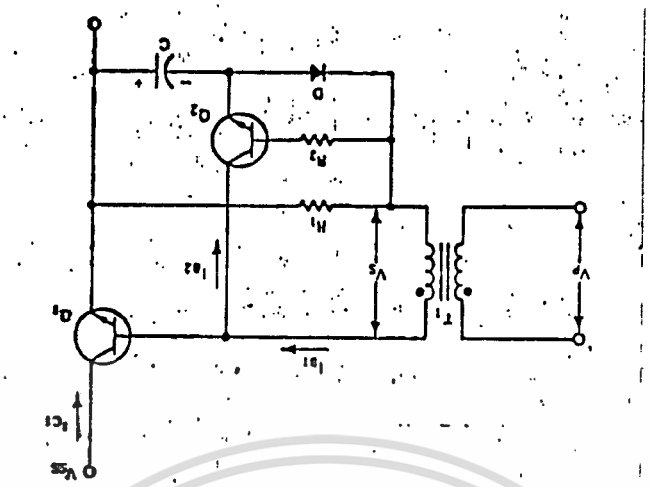
เนื่องจากทรานซิสเตอร์เมื่อนำกระแส และมีการอิ่มตัวอย่างเต็มที่ (Deep saturation) การทำให้หยุดนำกระแสสามารถทำได้โดยการดึงกระแสเบสออก แต่การอิ่มตัวอย่างเต็มที่ทำให้การหยุดนำกระแสทำได้ช้า การแก้ไขทำได้โดยทำให้ทรานซิสเตอร์อิ่มตัวแต่น้อย (Quasi saturation) โดยใช้วงจรเบเคอร์แคลมป์ (Baker clamp) สามารถทำให้ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแสได้เร็วขึ้น โดยไดโอดที่ต่อเข้าไปทำให้แรงดันขณะอิ่มตัวมีค่าเท่ากับที่ตกคร่อมไดโอด ซึ่งทรานซิสเตอร์จะอิ่มตัวไม่เต็มที่



รูปที่ 7.2 วงจรเบเคอร์แคลมป์ (Baker clamp)

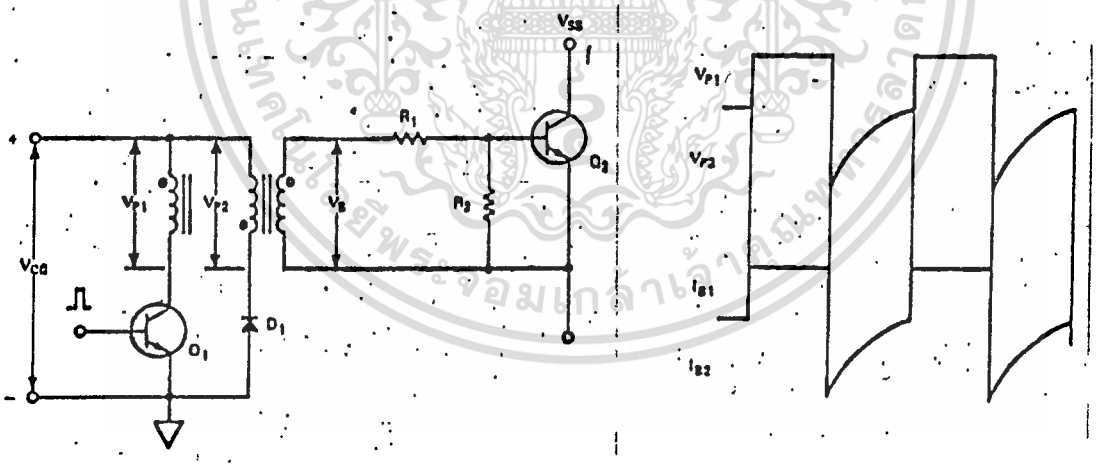
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ตัวอย่างการขยายสัญญาณควบคุมสำหรับทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์



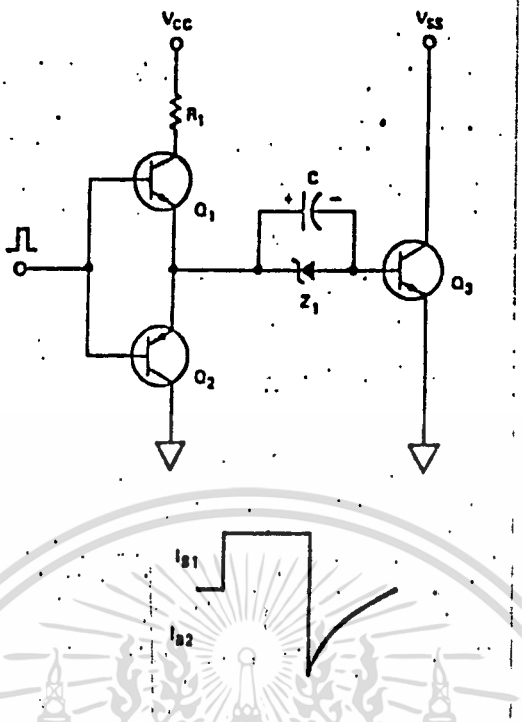
รูปที่ 7.3 แสดงวงจรชับกระแสเบส โดยการใช้หม้อแปลงแยกส่วนแบบหนึ่ง ตัวเก็บประจุที่ต่อเข้าไปเพื่อให้ดึงกระแสเบสออกมากขึ้น

พลังงานสะสมในขดลวด จะทำให้ดึงกระแสเบสออกได้มากขึ้น



รูปที่ 7.4 แสดงวงจรควบคุมโดยใช้ชุดหม้อแปลงขดลวดเหนี่ยวนำ (couple transformer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



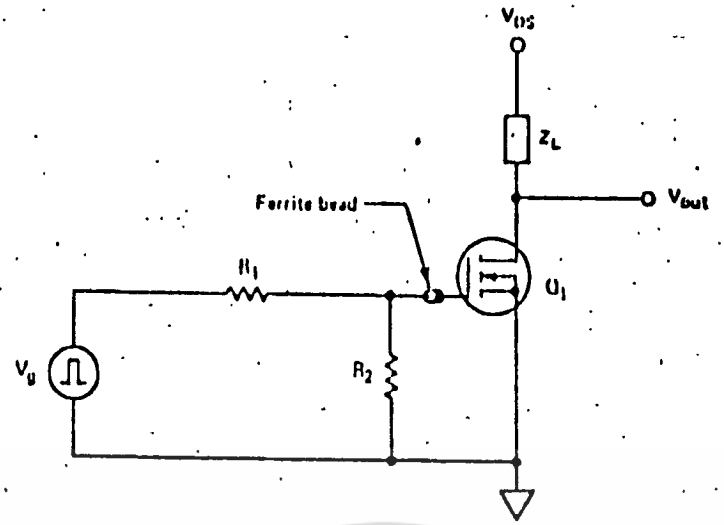
รูปที่ 7.5 แสดงวงจรขับกระแสเบส โดยใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่ช่วยดึงกระแสกลับมากขึ้น

7.3 การควบคุมทรานซิสเตอร์ชนิดมอสเฟต (MOSFET)

ทรานซิสเตอร์ชนิดนี้สามารถทำการควบคุมได้ด้วย แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างเกทและซอร์ส จึงง่ายต่อการควบคุมกว่าทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ การควบคุม MOSFET จะต้องคำนึงถึงข้อสำคัญ 2 ประการคือ

1. เพื่อป้องกันการออสซิลเลชั่น (Oscillation) เมื่อใช้งานที่ความถี่สูง จะต้องทำให้สายที่ต่อมาจากส่วนควบคุม มายังขาเกทของมอสเฟตสั้นที่สุด ถ้าไม่สามารถทำได้ให้ใช้เฟอร์ไรท์บีท (Ferrite bead) หรือใช้ค่า R1 ที่ต่ออนุกรมอยู่กับเกทให้มีค่าต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

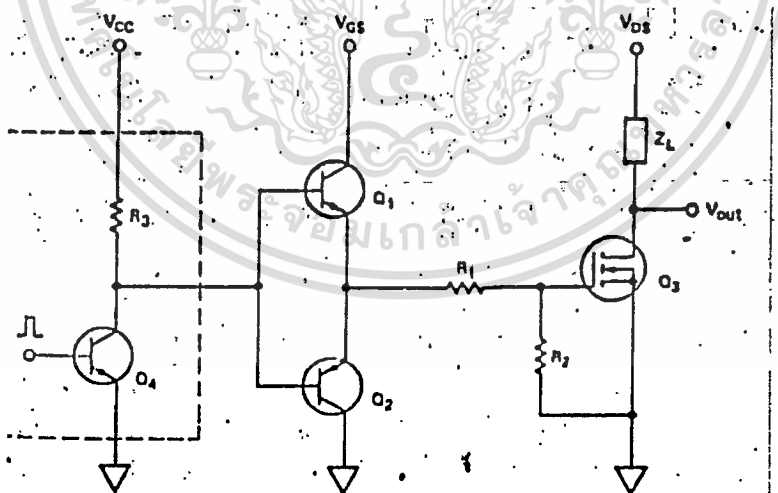


รูปที่ 7.6 การใช้เฟอร์ไรท์บีทเพื่อลดสัญญาณรบกวน

2. เนื่องจากทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ มีอินพุทอิมพีแดนซ์(input impedance) สูง ค่าอิมพีแดนซ์ของส่วนขับ (driving source impedance) จะต้องมีค่าต่ำ เพื่อป้องกันการเกิดการป้อนกลับแบบบวก (positive feedback) ซึ่งจะทำให้เกิดออสซิลเลชั่น ค่าดีซีอินพุทอิมพีแดนซ์ของมอสเฟตมีค่าสูงมาก แต่ค่าเอซีอินพุทอิมพีแดนซ์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ นั่นคือ ค่าเวลาไต่ขึ้น (rise time) ค่าเวลาไต่ลง (fall time) ขึ้นอยู่กับค่าอินพุทอิมพีแดนซ์

7.3.1 การขับมอสเฟตด้วยไอซีทีทีแอล

การขับมอสเฟตด้วยไอซีตระกูลทีทีแอลโดยตรง ไม่แนะนำให้ใช้ แต่ให้ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นบัฟเฟอร์เสียก่อน



รูปที่ 7.7 การขับด้วยไอซีตระกูลทีทีแอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.2 การขับมอสเฟตด้วยไอซีซีมอส

มอสเฟตมีอินพุทอิมพีแดนซ์สูง สามารถขับด้วยไอซีตระกูลซีมอสได้โดยตรง โดยมีช่วงเวลาไต่ขึ้น เวลาไต่ลง ประมาณ 60 นาโนวินาที แต่ถ้าต้องการความเร็วสูงกว่านี้ สามารถใช้ emitter follower buffer ได้ การใช้ซีมอสหลายตัวต่อขนานกัน ก็สามารถทำได้เมื่อต้องการกระแสในการขับสูงขึ้น

7.3.3 การขับมอสเฟตด้วยไอซีตระกูลลิเนียร์

ไอซีตระกูลลิเนียร์ เช่น ไอซีประเภทออปแอมป์สามารถทำการขับได้โดยตรง แต่มีข้อจำกัดทางด้านความถี่ คือ สามารถใช้ได้ในย่านความถี่ไม่เกิน 25 kHz การต่อผ่านบัฟเฟอร์ก็สามารถทำได้

7.3.4 การขับมอสเฟตในวงจรพูลบริดจ์และฮาล์ฟบริดจ์

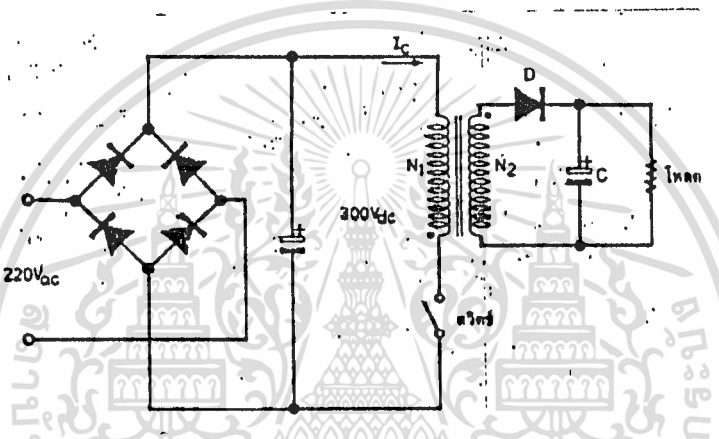
เนื่องจากวงจรเหล่านี้ ขาเกทของมอสเฟตอยู่ในระดับแรงดันที่ต่างกัน การขับมอสเฟตในวงจรเหล่านี้ จึงจำเป็นต้องต่อหม้อแปลงแยกส่วน(isolated transformer or pulse transformer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการทำงานและการสร้าง

สวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลายแบบ fly back นี้ มีหลักการทำงานในการถ่ายเทพลังงานแตกต่างจากแบบอื่น ๆ โดยสิ้นเชิง เพราะถึงแม้ว่าตัวเปลี่ยนแรงดันจากสูงมาเป็นต่ำนั้นจะดูคล้ายหม้อแปลงเหมือนกับแบบอื่น ๆ แต่ในความเป็นจริงแล้วเป็นตัวเหนี่ยวนำ ที่มีการเก็บพลังงานเข้าทางขดลวดขดหนึ่ง แล้วถ่ายพลังงานนั้นออกทางอีกขดหนึ่ง วงจรและหลักการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 หลักการเบื้องต้นของสวิทช์ชิ่งโหมดเพาว์เวอร์ซัพพลาย

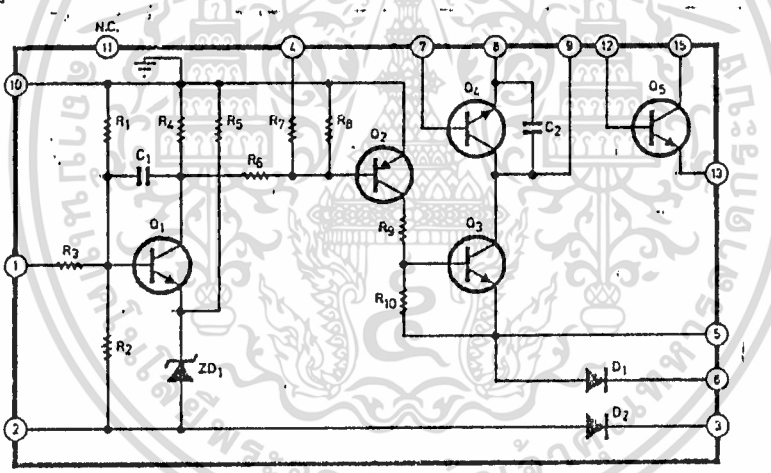
ในขณะที่สวิทช์ ON พลังงานจะถูกเก็บเข้าไปในขดลวด โดยกระแส Ic จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น โดยจะต้องสังเกตขั้วของขดลวดด้วย เพราะขณะที่สวิทช์ ON แรงดันทาง N_2 จะไบแอสกลับให้กับไดโอด D ทำให้ไม่มีกระแสไหล ไม่มีพลังงานผ่านไปที่ตัวเก็บประจุ C และโหลด ในช่วงเวลานี้ เมื่อสวิทช์ OFF ขดลวดจะคายพลังงานกลับออกมา แรงดันที่ขดทั้งสองจะกลับขั้วกัน ทำให้กระแสไหลผ่านไดโอด D ไปประจุตัวเก็บประจุ C และผ่านโหลด ส่วนที่ N_1 แรงดันจากขด N_1 จะเสริมกับแรงดัน 300 Vdc เดิม ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมสวิทช์มีค่าสูงประมาณ 700-800 V พลังงานที่ส่งไปจากการ ON และ OFF แต่ละครั้งขึ้นอยู่กับค่าเหนี่ยวนำของขดลวดและ Ic ซึ่งโหลดจะได้กำลังงานมากน้อย ก็ขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งในการส่งพลังงานต่อเวลา นั่นก็คือ ถ้าเราสามารถเปิด-ปิดสวิทช์ด้วยจำนวนครั้งต่อเวลามาก ก็จะได้กำลังงานมากเช่น ถ้าเราสามารถเก็บพลังงานเข้าและถ่ายออกจากขดลวดได้หนึ่งครั้งเท่ากับ 0.01 จูล และเปิด-ปิดสวิทช์ได้ 20,000 ครั้งต่อวินาที เราจะได้กำลังงานเท่ากับ 0.01*20,000 J/s หรือ 200 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี่เป็นการสมมติอย่างง่าย ๆ เพราะในความเป็นจริง พลังงานที่ใส่เข้าทาง N_1 ไม่สามารถส่งออกทาง N_2 ได้ทั้งหมด ขึ้นกับองค์ประกอบหลายตัวเช่น คุณสมบัติของแกนที่จะนำมาทำขดลวดหม้อแปลง หรือแม้แต่เทคนิคในการพันขดลวดด้วย

เมื่อพิจารณาที่สวิทช์อีกครั้งหนึ่ง จะเห็นได้ว่าสวิทช์ตัวนี้ที่จริงก็คือทรานซิสเตอร์นั่นเอง แต่ต้องเป็นทรานซิสเตอร์แบบสวิทช์ซึ่งที่ทนแรงดันได้สูง เพราะต้องทนแรงดันได้อย่างน้อยมากกว่า 700-800 V ดังกล่าวมาแล้ว และต้องทำงานได้เร็วมากกว่า 20,000 ครั้งต่อวินาที โดยต้องเกิดความสูญเสียน้อยอีกด้วย เหตุที่ต้องใช้ความถี่สูง เพราะจะได้ส่งกำลังงานได้มากและไม่ต้องการให้หูของเราได้ยินเสียงที่มาจากขดลวดด้วย

นอกจากหลักการพื้นฐานทั้งหมดที่กล่าวมาแล้ว เรายังต้องการวงจรขับทรานซิสเตอร์วงจรควบคุมการขับเพื่อให้ได้แรงดันเอ้าท์พุทคงที่ ทำให้การออกแบบสวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลายแบบ fly back มีความลำบากมากพอควร จึงเลือกใช้ไอซีเบอร์ STK7358 ซึ่งวงจรภายในของไอซีแสดงดังในรูปที่ 3.2

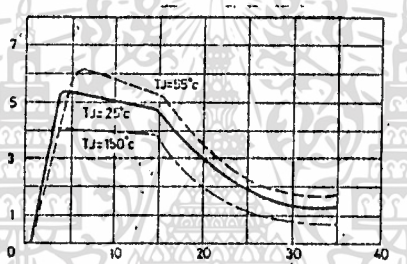


รูปที่ 3.2 วงจรภายในของ STK7358

โดยไอซีตัวนี้ได้รวบรวมวงจรควบคุมแรงดัน วงจรขับทรานซิสเตอร์ และสวิทช์ชิ่งทรานซิสเตอร์แรงดันสูง (800V) ไว้ในไอซีตัวเดียวกัน ทำให้ตัดปัญหาในการออกแบบไปได้มาก เพียงมีไอซีตัวนี้ และตัวเหนี่ยวนำกับวงจรอีกเพียงเล็กน้อย ก็สามารถสร้างสวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลายได้แล้ว ไอซีตัวนี้เหมาะกับงานที่ต้องการแรงดันคงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่ง แต่เราต้องการให้ได้แรงดันแบบปรับค่าได้ และปรับการจำกัดกระแสได้ด้วย เพื่อเป็นการง่ายเราจะใช้ซีรี่ส์เรกูเลเตอร์โดยใช้ไอซีปรับค่าแรงดันได้แบบ 3 ขา เบอร์ LM350K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

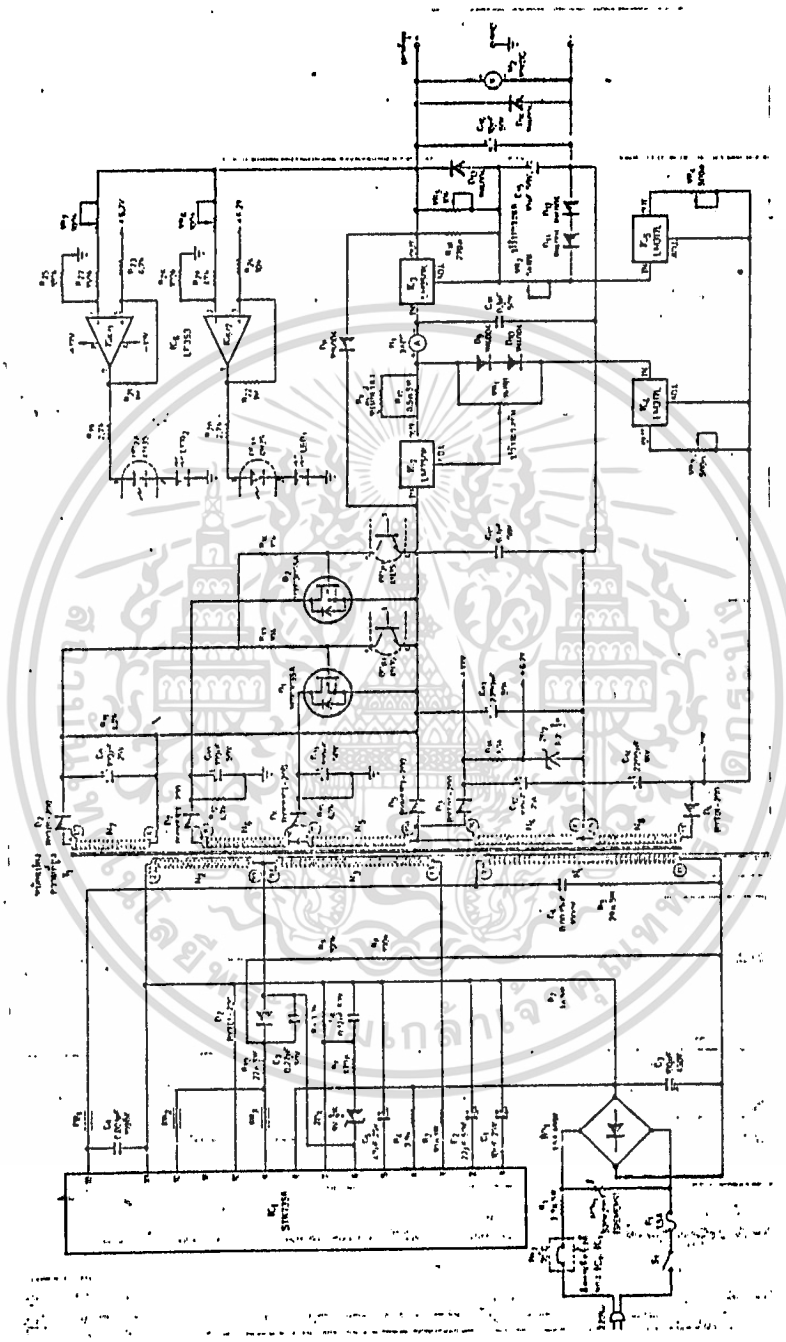
เราจะมาพิจารณากราฟแสดงความสามารถในการจ่ายกระแสกับแรงดันที่ตกคร่อมตัวมัน จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าที่ T_j = 150 °C (อุณหภูมิตัวถังประมาณ 46 °C) LM350K สามารถจ่ายกระแสได้ถึงประมาณ 4 A เมื่อแรงดันตกคร่อมมันอยู่ระหว่าง 5-15 V ถ้าเราสามารถจ่ายแรงดันก่อนเข้าไอซีได้เท่ากับแรงดันเอ้าท์พุทบวกด้วยแรงดันตกคร่อมไม่เกิน 17 V ตลอดเวลา ก็จะสามารถทำให้ไอซีนี้จ่ายกระแสได้สูงสุด 3 A ตลอดย่านการปรับแรงดัน แต่ถ้าเราจ่ายแรงดันเข้าคงที่ที่ 35 V แล้ว ปรับให้ไอซีจ่ายแรงดันที่ 5 V จะเห็นว่าที่ T_j = 150 °C LM350K ซึ่งบอกว่าจ่ายกระแสได้ 3 A นั้น จะสามารถจ่ายกระแสได้เพียง 800 mA เท่านั้น เราจึงต้องใช้หลักการของเพาว์เวอร์ซัพพลายแบบปรับช่วงอัตโนมัติ (auto range) คือจ่ายแรงดันให้แก่เรกูเลเตอร์เป็นช่วง ๆ โดยแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ 17 V, 26 V และ 37 V เมื่อแรงดันอินพุทอยู่ในช่วง 0-10 V, 10.5-19 V และ 19.5-28 V ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 แสดงถึงขีดจำกัดการจ่ายกระแสของ LM350K

วิธีการนี้จะใช้กับหม้อแปลงแบบความถี่ต่ำไม่ได้ เพราะถ้าเราต้องการให้ได้แรงดันไฟตรง 35 V เมื่อโหลดเต็มที่แล้ว แรงดันที่เข้าจริง ๆ ต้องเผื่อการกระเพื่อมของแรงดันที่ความถี่ 100 Hz ด้วย ซึ่งแรงดันยอดจะสูงอย่างน้อย 37 V และมากกว่า 50 V เมื่อไม่มีโหลด ทำให้ไอซีอาจจะพังเสียหายได้ถ้าปรับแรงดันไว้สูงสุด และจะถูกลัดวงจรเอ้าท์พุทโดยทันที ซึ่งทั้งนี้ยังไม่รวมถึงการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุทไฟสลับ ซึ่งโดยทั่วไปวงจรต้องทนได้เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นจากปกติ 10% แต่สำหรับวงจรภาคแรกสามารถให้เอ้าท์พุทได้ค่อนข้างคงที่ที่ 37-40 V เมื่อแรงดันอินพุทไฟสลับอยู่ในช่วง 170-255 Vac หรือ -22% ถึง +16% ของแรงดัน 220 V และความถี่ตั้งแต่ 47Hz ถึง 400Hz เมื่อนำเอาหลักการที่กล่าวมาทั้งหมดมาออกแบบวงจร ก็จะได้วงจรดังแสดงในรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรสวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลาย 0-30 V. 3 A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรสวิทช์ชิ่ง

จากวงจรในรูปที่ 6 BD_1 ทำหน้าที่เรียงกระแส โดยมีตัวเก็บประจุ C_3 เป็นฟิลเตอร์ และมี R_1 เป็นตัวลดกระแสกระชากในขณะที่เปิดเครื่อง ส่วน MOV_1 ใช้ป้องกันแรงดันอินพุทสูงเกิน แรงดันที่ตัวเก็บประจุ C_3 จะมีค่าประมาณ 300 Vdc

IC_1 จะเริ่มต้นการทำงานเมื่อมีกระแสผ่าน R_8, R_9 และ R_{10} เข้าสู่ขาเบสของเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์ใน IC_1 ทางขา 12 ทำให้มีกระแสไหลผ่านขด N_1 ผ่านขา15 และขา 13 ซึ่งเป็นคอลเล็กเตอร์และอีมิตเตอร์ของเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์ และผ่าน R_2 ซึ่งเป็นตัวตรวจวัดกระแสอินพุท

เมื่อเริ่มมีกระแสไหลผ่านขด N_1 จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นในขดต่าง ๆ แต่ในช่วงนี้จะไม่มีกระแสไหลผ่านขดอื่น ๆ เพราะไดโอดที่ต่ออยู่ในวงจรจะถูกไบอัสกลับทั้งหมด ยกเว้น N_2 ซึ่งจะมีกระแสไหลผ่าน D_1 และตัวเก็บประจุ C_7 ผ่าน R_{10} ป้อนกลับแบบบวกให้แก่เอ้าท์พุททรานซิสเตอร์ใน IC_1 กระแสในช่วงนี้จะค่อย ๆ สูงขึ้น ถือเป็นช่วงสะสมพลังงานจนกระทั่งมีแรงดันตกคร่อม R_2 สูงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ตัวขับนำกระแส และลัดวงจรเบสอีมิเตอร์ของเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์ให้หยุดนำกระแส ช่วงนี้ถือเป็นช่วงถ่ายพลังงานออกจากขดลวด L_1 โดยขด N_2 จะจ่ายกระแสเข้าทางขา 6 ผ่านไดโอดภายใน และไปประจุตัวเก็บประจุ C_5 ไว้สำหรับไปเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรภายในไอซี ส่วนขด N_2+N_3 จะจ่ายกระแสผ่าน R_3 เข้าที่ขา 3 ผ่านไดโอดภายในไปประจุตัวเก็บประจุ C_2 ไว้ เพื่อใช้ในการควบคุมแรงดันเอ้าท์พุท

สำหรับ N_4, N_5 และ N_6 ขณะใช้งานจะเป็นขดที่ดึงพลังงานออกมากที่สุด ขด N_8 สำหรับทำไฟลบเพื่อป้อนให้วงจรในภาคซีรี่ส์เรกูเลเตอร์ และ N_7 สำหรับทำแรงดันเพื่อใช้ ON หรือ OFF มอสเฟ็ต

แรงดันที่ขา 2 นั้น เมื่อ IC_1 ทำงานปกติจะมีค่าอยู่ประมาณ 27-28 V ถ้าพลังงานที่ถ่ายออกจากขดลวด L_1 มีค่ามากเกินไป แรงดันในขดต่าง ๆ จะเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งที่ขา 2 ของ IC_1 ด้วย ช่วงเวลาในการสะสมพลังงานจะถูกบังคับให้สั้นลง ทำให้แรงดันที่ได้จากขดต่าง ๆ มีค่าลดลงด้วย จึงเป็นการป้อนกลับแบบลบเพื่อให้แรงดันคงที่

โดยปกติถ้าโหลดของวงจรมีน้อย ก็จะใช้เวลาในการสะสมและถ่ายพลังงานน้อย ทำให้ความถี่ในการทำงานสูงขึ้น (แต่อัตราส่วนของเวลาในการเก็บพลังงานต่อการถ่ายพลังงานมีค่าต่ำ) และเมื่อมีโหลดสูงขึ้น ความถี่ก็จะต่ำลงเรื่อย ๆ (อัตราส่วนของเวลาในการเก็บพลังงานต่อการถ่ายพลังงานมีค่าสูง) สำหรับ ZD_1 และ R_8 ในวงจรมีหน้าที่ลดกระแสขับเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์ลง โดยเมื่อขด N_2 ให้แรงดันสูงมาก จะทำให้ซีเนอร์ไดโอด ZD_1 เบรกดาวน์ เกิดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นตกคร่อม R_8 ทำให้ทรานซิสเตอร์ตัวขับทำงานเร็วขึ้น เป็นการลดกระแสของเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์

FB_1, FB_2 และ FB_3 คือเฟอร์ไรต์บรีด เป็นท่อเฟอร์ไรต์ขนาดเล็กใช้สายไฟร้อยผ่าน ทำให้เกิดค่าเหนี่ยวนำน้อย ๆ เพื่อลดการกระชากของกระแสในช่วงเวลาสั้น ๆ ตัวเก็บประจุ C_3, C_4 และตัวต้านทาน R_5 เป็นวงจรสนับเบอร์ เพื่อลดแรงดันสไปค์ขณะเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์หยุดนำกระแสไม่ให้เกินแรงดันที่มันทนได้ ถ้าสนับเบอร์หลุดออกจากวงจรหรือลืมใส่เอ้าท์พุททรานซิสเตอร์จะพังทันที

แรงดันที่ได้จาก N_4, N_5 และ N_6 ถูกเรียงกระแสโดย D_5, D_6 และ D_7 มายังตัวเก็บประจุ C_{13}, C_{11} และ C_{12} ตามลำดับ มอสเฟ็ต Q_1 และ Q_2 ทำหน้าที่สวิทช์ เพื่อให้แรงดันที่จะเข้า IC_2 เป็นตามต้องการ ซึ่ง IC_2 ต่อเป็นลักษณะวงจรจ่ายกระแสคงที่แบบปรับค่าได้จ่ายให้กับ IC_3 ส่วน IC_4 ทำหน้าที่จ่ายกระแสคงที่ให้กับไดโอด D_9 และ D_{10} เพื่อสร้างแรงดันตกคร่อม D_9 และ D_{10} ให้เท่ากับ 1.25 V ทำให้ IC_2 สามารถปรับการจ่ายกระแสลงจนเป็นศูนย์ได้

ส่วน IC_3 ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ โดย D_{11}, D_{12} และ IC_5 จะสร้างแรงดันอ้างอิง 1.25 V เพื่อให้ IC_3 สามารถปรับแรงดันลงจนเป็นศูนย์ได้สำหรับ D_8, D_{13} และ D_{14} ทำหน้าที่เป็น reverse protection ของวงจร

IC_6 มีออปแอมป์ 2 ตัวในตัวถังเดียวกัน จัดวงจรให้เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันแบบมีฮิสเตอรีซิส เพื่อไปขับ LED ของออพโต้คัปเปลอร์ OP_1 และ OP_2 ขณะ OP_1 หรือ OP_2 ทำงาน Q_1 และ Q_2 จะ OFF เพราะแรงดัน V_{g1} มีค่าใกล้ศูนย์ ซึ่ง Q_1 และ Q_2 จะ ON ก็ต่อเมื่อออพโต้คัปเปลอร์ OFF ทำให้แรงดัน V_{g1} จะสูงเท่ากับแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_9 (ประมาณ 16 V) ตัวต้านทาน R_{11}, R_{12} และ R_{15} เป็นปรีโหลดของขด N_5, N_6 และ N_7 เพื่อไม่ให้แรงดันมีค่าสูงจนเกินไป เนื่องจากแรงดันสไปค์ขณะไม่มีการใช้งาน หรือวงจรทั้งหมดมีโหลดน้อย

การสร้าง

เริ่มด้วยการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่าง ๆ อุปกรณ์ที่อาจเป็นปัญหามากที่สุดก็เห็นจะเป็นหม้อแปลง T_1 เพราะมีจำนวนขดลวดหลายชุดและมีขนาดค่อนข้างเล็กทำให้พันยาก ให้ใช้แกนเฟอร์ไรท์ขนาด EI-50

การพันให้เริ่มจากขด N_1 ใช้ลวดอาบน้ำยาเบอร์ 22 SWG ถ้าได้เกรดอุณหภูมิ 180 องศาเซนติเกรดก็จะดี วางตำแหน่งสายเข้าออกให้สัมพันธ์กับแผ่นวงจรพิมพ์ซึ่งให้หมายเลขไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเริ่มพันขด N_1 จากจุด 3 พันเรียงเส้นชิดกันทั้งหมด 3 ชั้น ๆ ละ 27 รอบ แต่ละชั้นต้องรองฉนวนไมล่าร์อย่างบางทุกชั้น เมื่อพันครบ 3 ชั้นจะได้ 81 รอบพอดี ออกลวดตำแหน่งที่ 11 ให้พันด้วยไมล่าร์อีก 3 ชั้น เริ่มขด N_4 โดยให้จุดเริ่มอยู่ที่ตำแหน่ง 14 ทางด้านที่จะลงแผ่นวงจรพิมพ์ พันด้วยลวดเบอร์ 19 SWG จำนวน 9 รอบ จบที่ 6 พันไมล่าร์ทับ 3 ชั้น แล้วเริ่ม N_3 จากตำแหน่ง 9 ใช้ลวดเบอร์ 22 พัน 10 รอบ จบที่ตำแหน่ง 1 พันไมล่าร์ทับ 3 ชั้น

เริ่ม N_5 และ N_6 พร้อมกัน โดยเริ่มจากตำแหน่ง 7 และ 8 ลวดเบอร์ 19 พันคู่กันไป 5 รอบ จบที่ 15 และ 16 พันไมล่าร์ทับอีก 3 ชั้น เริ่ม N_2 จากตำแหน่ง 2 ใช้ลวดเบอร์ 22 พัน 4 รอบ จบที่ตำแหน่ง 10 พันไมล่าร์ทับ 3 ชั้น แล้วใช้ลวดเบอร์ 22 พันขด N_8 เริ่มจากตำแหน่งที่ 5 ไปอีก 5 รอบ จบที่ตำแหน่ง 13 พันไมล่าร์ทับ 1 ชั้น แล้วใช้ลวดเบอร์ 22 พันขด N_7 โดยเริ่มจากจุด 12 พัน 8 รอบ จบที่ตำแหน่ง 4 พันไมล่าร์ทับ 3 ชั้น เป็นอันเสร็จ

การพันให้พันไปทางเดียวกันหมด และเฉลี่ยลวดเว้นระยะห่างระหว่างรอบให้เต็มความกว้างในแต่ละชั้นที่พัน และลวดแต่ละชั้นต้องไม่ตกร่องขอบลงไปทับกันโดยตรง ลวดขดที่ต่อกันจะมาต่อกันเมื่อนำมาประกอบกันบนแผ่นวงจรพิมพ์แล้ว เมื่อพันเสร็จแล้วนำบ็อบบินมาประกอบเข้ากับแกน โดยต้องติดกระดาษรองระหว่างรอยประกบของแกนให้ได้ความหนา 0.5 มม. ควรนำกระดาษมารองซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น แล้ววัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์หรือไมโครมิเตอร์ ว่าใช้กระดาษกี่ชั้น แล้วค่อยตัดกระดาษชนิดนั้นมารอง ใช้พลาสติกรัดให้แน่นหนา ถ้ามีเครื่องวัดค่า L ให้ลองวัดดูระหว่างขด N_1 ควรจะได้ค่าอยู่ระหว่าง 1.8-2.2 mH ถ้าค่ามากเกินไปให้ลดจำนวนชั้นที่รองลง เมื่อได้ที่แล้วหยอดกาวช้างลงที่รอยต่อ ส่วนพลาสติกจะเอาออกหรือไม่ก็ได้ ขอให้แน่ใจว่าแกนจะไม่หลุดออกมาในภายหลัง เพราะถ้าหลุดขณะใช้งานอยู่ เอ้าท์พุททรานซิสเตอร์ใน IC_1 จะพังทันที

วิธีใส่เฟอร์ไรต์บีด ให้นำขาอุปกรณ์มาร้อยแล้วใส่ลงในแผ่นวงจรพิมพ์ โดยวางสลับฟันปลา เมื่อจัดได้ที่แล้วหยดกาวเพื่อไม่ให้กลิ้งลงมาติดกัน สำหรับ IC_1 อย่าเพิ่งบัดกรีให้ประกอบให้เรียบร้อยหมดเสียก่อน อย่าลืมรองฉนวนของ IC_1 โดยใช้แผ่นซิลิโคนนำความร้อน จุดนี้สำคัญมากเพราะแผ่นหลังของ IC_1 มีไฟสูงขณะกำลังใช้งาน

ในขณะที่ทำการทดสอบวงจรนั้น ถ้าลัดวงจรไว้นาน ๆ อุณหภูมิของแผ่นฮีตซิ้งค์จะค่อนข้างสูงมาก จึงต้องติดตัวตัดอุณหภูมิสูงเกินขนาด 70 °C ไว้ที่ฉากอะลูมิเนียม การติดตั้งควรใช้โลหะชิ้นเล็ก ๆ ดัด แล้วขันกดตัวตัดอุณหภูมิให้แนบกับแผ่นอะลูมิเนียม โดยทาครีมซิลิโคนบริเวณสัมผัสด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับแต่งวงจร

ตรวจสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้าน IC_1 เพราะเป็นด้านที่มีแรงดันสูง ถ้ามีการผิดพลาดจะเกิดความเสียหายมาก เมื่อตรวจสอบจุดต่าง ๆ จนแน่ใจแล้ว ใช้ DC โวลท์มิเตอร์ตั้งสเกล 50V วัดคร่อมตัวเก็บประจุ C_{10} ปรับ VR_3, VR_4, VR_5, VR_6, VR_7 อยู่ในตำแหน่งกลาง ใช้วาริแอคสำหรับปรับแรงดันสลับจ่ายไฟให้กับวงจร แล้วค่อย ๆ ปรับแรงดันของวาริแอคให้สูงขึ้น พร้อมกับสังเกตดีซีโวลท์มิเตอร์ไว้ด้วย เมื่อแรงดันไฟสลับมีค่าประมาณ 40-70 Vac จะมีแรงดันที่โวลท์มิเตอร์ไม่เกิน 42 โวลท์ ขณะที่วงจรเริ่มทำงานจะมีเสียงออสซิลเลตดังมาเบา ๆ แล้วเงียบหายไป แสดงว่าวงจรทำงานแล้ว แต่ถ้าฟิวส์ขาดหรือเงียบแสดงว่าต้องต่ออะไรผิดพลาด เช่น อุปกรณ์ผิด เข้าขาขดลวดผิดชุดหรือขดลวด L_1 ลัดรอบ หรือพันขดลวดสลับขั้วที่ขดลวด L_1

สำหรับผู้ที่ไม่มีวาริแอค ให้ใช้หม้อแปลง 24 โวลท์ แบบมีเซนเตอร์แท็ป โดยใช้ปลายทั้งสองข้างของขดลวดคือ 48 Vac ลองป้อนให้วงจรก่อน ถ้าทำงานปกติลองวัดแรงดันตามจุดต่าง ๆ ดังนี้ ตัวเก็บประจุ C_{10} ได้ 40V, C_9 ได้ 6V, C_{11} ได้ประมาณ 29V, C_{13} = 19V C_{12} = 19V ZD_2 = 6.2V, C_{14} = 10V ถ้าแรงดันได้น้อยกว่าที่กำหนดมาก ให้วัดแรงดันที่ตัวเก็บประจุ C_1 ถ้าได้น้อยกว่า 27V แสดงว่ายังปกติ ค่อย ๆ เพิ่มแรงดันอินพุทขึ้น ถ้าที่ตัวเก็บประจุ C_1 = 27-28V แล้ว จึงจะเพิ่มแรงดันขึ้นอีก แรงดันนี้ก็จะค่อนข้างคงที่ เมื่อเพิ่มแรงดันอินพุทจนถึง 220 Vac ถ้าแรงดันต่าง ๆ ปกติ ให้ถอดวาริแอคออก ถ้าใช้หม้อแปลงอยู่ให้ถอดหม้อแปลงออก จากนั้นป้อนไฟ 220 Vac ได้เลย

ถ้าเสียบไฟ 220 Vac แล้วทุกอย่างยังปกติ (แรงดันต่าง ๆ ต้องปกติ) จึงจะเริ่มปรับแต่งซีรีส์เรกูเลเตอร์ โดยเริ่มจากการหมุน VR_1 ไปทางขาแอโนดของ D_9 จนสุด ลองปรับ VR_2 ไปมา แรงดันจะสูงขึ้นและลดลง ใช้ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์วัดที่เอ้าท์พุท ปรับ VR_2 ให้เป็นศูนย์ แล้วปรับ VR_4 จนแรงดันที่เอ้าท์พุทเท่ากับ 0.00 V ปรับ VR_2 จนได้ 9.5 V

ปรับ VR_6 จนกระทั่ง LED_1 ดับ วัดแรงดันที่ขา IN ของ IC_2 เทียบกับขั้วลบจะต้องได้ 29 V แสดงว่า Q_1 ON แล้วปรับ VR_2 ขึ้นไปอีกจนได้แรงดันเอ้าท์พุท 19 V แล้วปรับ VR_7 ลงมาจน LED_2 ดับ วัดแรงดันที่ขา IN ของ IC_2 เทียบกับขั้วลบจะต้องได้ประมาณ 40 V แสดงว่า Q_2 ON แล้วค่อย ๆ ปรับแรงดันลงมา LED จะสว่างขึ้นทีละดวง โดย LED_2 สว่างก่อนแล้วตามด้วย LED_1

ปรับ VR_2 จนสูงสุด ปรับ VR_5 มาจนได้แรงดันเอ้าท์พุท 30 Vdc จากนั้นปรับ VR_2 ให้ได้แรงดัน 15 V ปรับ VR_1 มาทางด้านแคโทดของ D_{10} จนสุด แล้วปรับ VR_3 จนแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

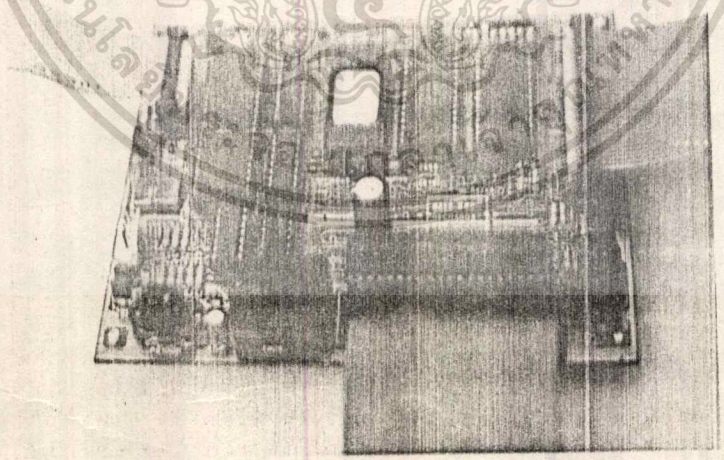
เอ้าท์พุทเริ่มตกลง (เป็นการปรับการจำกัดกระแสให้ได้ 0 mA) ปรับ VR_1 ไปทางแอโนดของ D_9 จนสุด แล้วค่อย ๆ เพิ่มโหลดขึ้น โดยถ้ากระแสยังไม่ถึง 3 A ให้หาตัวต้านทาน R เริ่มจาก 2.7 โอห์ม 1W มาขนานกับ R_{17} ถ้ากระแสยังไม่ได้ให้ลดค่า R ที่ใช้ขนานลงเรื่อย ๆ จนได้กระแสเกิน 3 A ไปเล็กน้อย ปรับ VR_2 ให้ได้ 15 V แล้วลองปรับ VR_1 กลับมาที่แคโทดของ D_{10} อีกครั้ง แล้วปรับ VR_3 จนได้กระแสเป็นศูนย์ (ตำแหน่งอาจเปลี่ยนไปจากเดิมบ้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ส่วนประกอบและการใช้งาน

ชุดไมโครโปรเซสเซอร์ 8032

ชุดไมโครโปรเซสเซอร์ 8032 เป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่อง ไมโครฯ จะทำงานที่ความถี่ 12 MHz สามารถเพิ่มหน่วยความจำได้สูงสุด 96 KB โดยแบ่งเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (U3) ขนาด 32 KB เริ่มตั้งแต่ 0000-7FFFH และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (U4) ขนาด 8-32 KB U4 สามารถเลือกได้ 2 ขนาดคือ 8 KB หรือ 32 KB โดยการเลือกที่ JUMPER J2 (รายละเอียดต่าง ๆ ดูได้จากคู่มือ CP-32) และหน่วยความจำที่เป็นทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูล (U6) ขนาด 8-32 KB สามารถเลือกใช้ได้ทั้ง ROM และ RAM การเลือกขนาดของหน่วยความจำ เลือกได้โดยการปรับ DIP SW2 (รายละเอียดต่าง ๆ ดูได้จากคู่มือ CP-32) แอดเดรสของ U6 นี้ จะเริ่มตั้งแต่ 8000-FFFFH แต่หน่วยความจำช่วง E000H-FFFFH (8 KB สุดท้าย) ถูกกำหนดให้เป็นแอดเดรสของพอร์ท จึงไม่สามารถใช้งานหน่วยความจำในช่วงนี้ได้

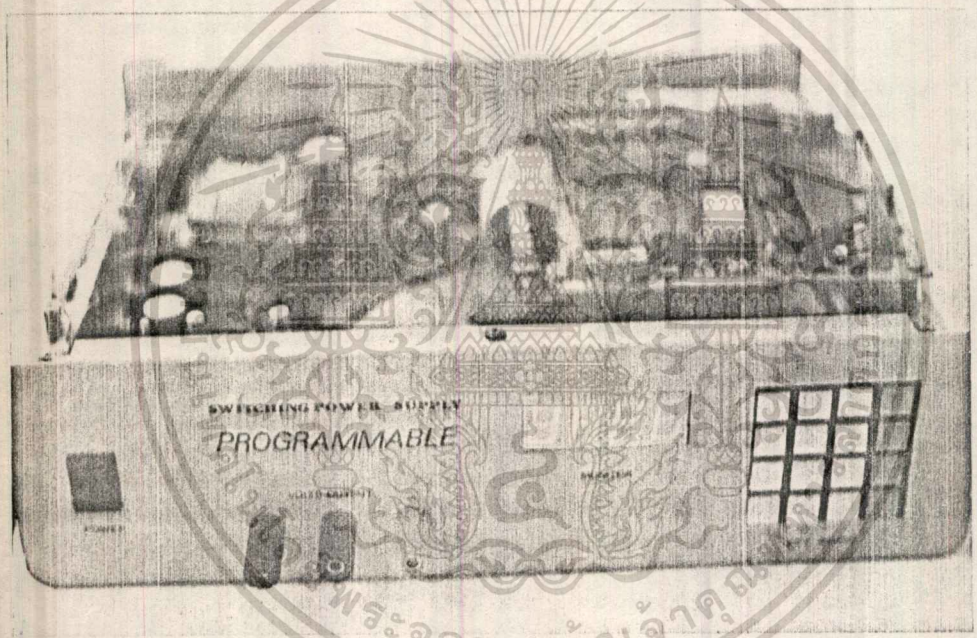


รูปที่ 4.1 ชุดไมโครโปรเซสเซอร์ 8032 และ I/O PORT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดแสดงผล LED 7 Segment

ชุดแสดงผล LED 7 Segment นี้ ทำหน้าที่แสดงค่าแรงดันและแสดงค่าที่รับมาจากวงจรคีย์บอร์ด ชุดแสดงผลนี้จะเป็นการแสดงผลแบบแลทช์ ซึ่งวงจรส่วนนี้จะประกอบไปด้วย LED 7 Segment จำนวน 4 หลัก และ 74LS244 ซึ่งทำหน้าที่บัฟให้กับ 7'S ทั้ง 4 หลัก โดยที่ชุดแสดงผลนี้ ต่อเข้ากับพอร์ท A ของ 8255 CPU จะส่งข้อมูลที่ต้องการจะแสดงไปยังชุดแสดงผล โดยส่งข้อมูลไปยังพอร์ท A ของ 8255 ข้อมูลจะยังคงค้างอยู่บน 7 Segment ด้วยการใช้พอร์ท P1 ของซีพียูเป็นพอร์ทเอ้าท์พุท โดยต่อเข้ากับขา COMMON ของ LED 7 Segment เมื่อต้องการให้แลทช์จะต้องส่ง '0' หรือ '1' ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของขา COMMON

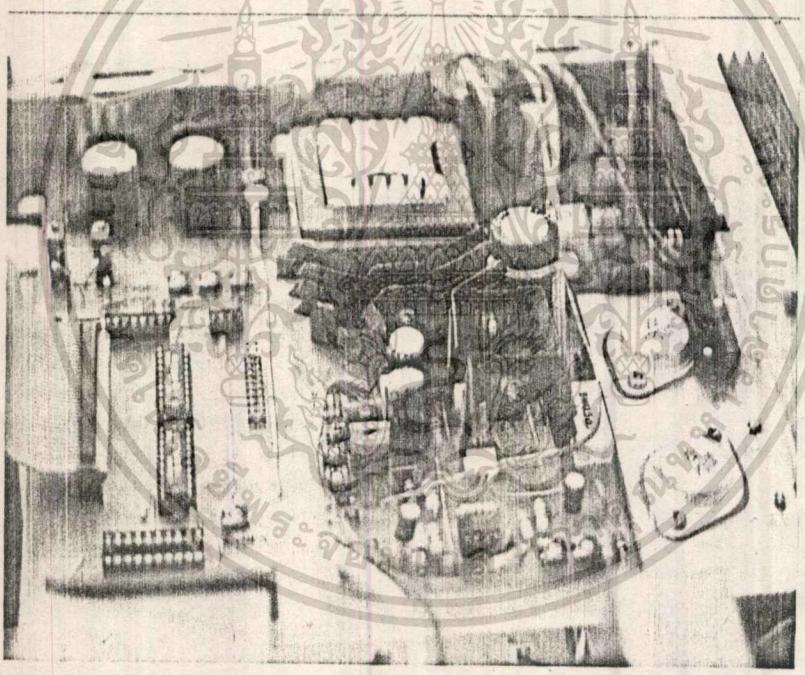


รูปที่ 4.2 ส่วนแสดงผลและคีย์บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

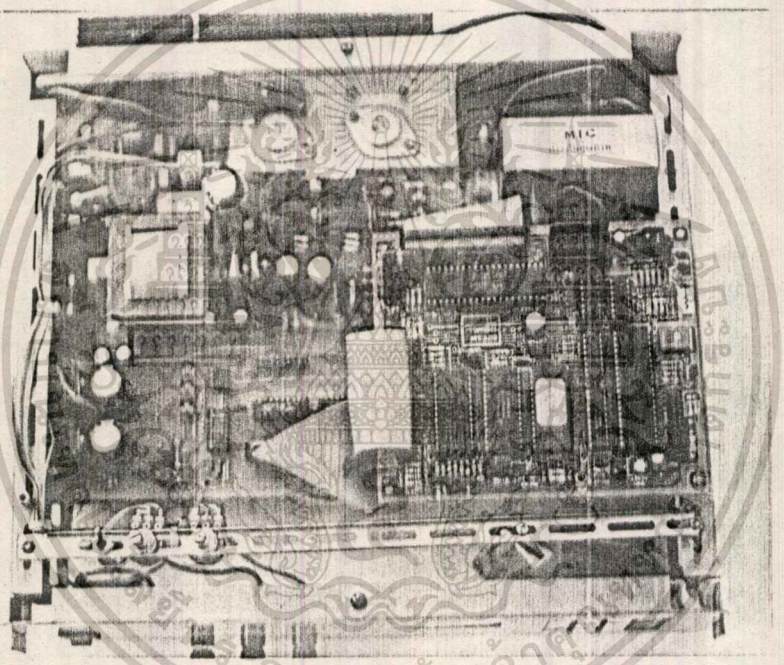
ชุด DAC และ SWITHCING POWER SUPPLY

วงจร digit to analog ใช้ไอซีเบอร์ 0800 การทำงานของวงจรจะเริ่มจากนำค่าแรงดันที่ต้องการไปเก็บไว้ที่ 74LS374 โดยที่ 74LS374 ทำงานในช่วง active low จากนั้นค่าแรงดันก็จะถูกส่งไปยัง 0800 เพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก



รูปที่ 4.3 แสดงชุด DAC และ SWITCHING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดง PROGRAMMABLE SWITCHING POWER SUPPLY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน Programmable switching power supply

คีย์ SET จะลบค่าบน 7 segment เป็น 0.00 และจะรอรับค่าจากคีย์บอร์ด แรงดันเอ้าท์พุทจะยังคงค่าเดิม หลังจากที่ป้อนค่าแรงดันใหม่แล้ว จะต้องกดคีย์ ENT เพื่อทำการส่งแรงดันที่ต้องการ

คีย์ INC จะเพิ่มค่าแรงดันเอ้าท์พุทขึ้นทีละ 0.25 โวลท์

คีย์ DEC จะลดค่าแรงดันเอ้าท์พุทลงทีละ 0.25 โวลท์

คีย์ ENT จะส่งแรงดันตามที่ต้องการ

คีย์ AC จะลบค่าบน 7 segment เป็น 0.00 และแรงดันเอ้าท์พุทจะเป็น 0 V.

คีย์ C จะลบค่าบน 7 segment เป็น 0.00 แต่แรงดันเอ้าท์พุทยังคงเดิม

คีย์รีเซ็ต เป็นการเริ่มต้นทำงานใหม่ ค่าบน 7 segment เป็น 0.00 และแรงดันเอ้าท์พุทจะเป็น 0 โวลท์ และใช้ในกรณีที่เอ้าท์พุทถูกลัดวงจร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

จากการสร้างและทดลองใช้งานสวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลายแบบโปรแกรมได้ ปัญหาที่พบและข้อควรระวังต่าง ๆ ที่ควรคำนึงถึงมากที่สุดคือ การพันหม้อแปลงความถี่สูง เพื่อให้ได้ระดับแรงดันที่ต้องการ จะต้องพันให้ถูกต้องตามหลักการพัน มิฉะนั้นไอซีและอุปกรณ์อื่น ๆ อาจจะเสียหายได้

สวิทช์ชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลายแบบโปรแกรมได้นี้ จะมีข้อดีกว่าเพาว์เวอร์ซัพพลายแบบที่ใช้หม้อแปลงธรรมดา เพราะวงจรสวิทช์ชิ่งเป็นวงจรที่ให้ประสิทธิภาพสูง มีการสูญเสียน้อย มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบากว่า อันเนื่องมาจากการใช้หม้อแปลงความถี่สูง การควบคุมแรงดันที่เอ้าท์พุท สามารถทำได้เป็นอย่างดีด้วยชุดควบคุมแรงดัน (regulator) และ board control (CP-32) โดยการนำเอา CP-32 ไปควบคุมชุดควบคุมแรงดัน ซึ่งจะให้แรงดันเอ้าท์พุทได้ตามต้องการ และชุดแสดงผล (display) จะแสดงแรงดันเอ้าท์พุทในขณะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8032 ไมโครโปรเซสเซอร์

8032 ไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล MSC-51 ซึ่งไม่มีหน่วยความจำชนิดรอม (ROM) อยู่ชิพเดียวกัน ซึ่งลักษณะหลักของ 8032 ไมโครโปรเซสเซอร์จะประกอบด้วย

1. ใช้ HMOS เทคโนโลยีสร้าง และทำงานได้ด้วยแหล่งจ่ายไฟขนาด 5 โวลต์แหล่งเดียว
2. ซีพียู (CPU) มีขนาด 8 บิท
3. มีวงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) และวงจรนาฬิกาแบบชิพ
4. ชุดแบงค์ (BANK) รีจิสเตอร์มีขนาด 4 ชุดด้วยกัน โดยมีชุดละ 8 รีจิสเตอร์ทำงานเช่นเดียวกับ MCS-48
5. ตัวตั้งเวลาและตัวนับ ขนาด 16 บิท มี 2 ตัว
6. พอร์ทขนานไอโอ (I/O) แบบสองทิศทาง พอร์ทละ 8 บิท จำนวน 16 เส้น และอีก 16 เส้นใช้ในการเข้าถึงทางแอดเดรส (Address) และข้อมูล
7. พอร์ทอนุกรมสามารถที่จะโปรแกรมการรับส่งแบบ FULL DUPLEX ที่ความเร็วสูง
8. หนึ่งวัฏจักรคำสั่งจะใช้เวลา 1 ไมโครวินาที ด้วยการใช้คริสทัล 12 เม็กกะเฮิรตซ์
9. แอดเดรสข้อมูลภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
10. แอดเดรสโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
11. สามารถกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลขนาดไบต์ หรือบิทได้โดยตรง
12. มีซอฟต์แวร์แฟลก (Flog software) สำหรับผู้ใช้กำหนดเองได้ถึง 128 ตำแหน่งบิท
13. โครงสร้างอินเทอร์รัพท์ (Interrupt) ทำได้ 5 แหล่ง พร้อมด้วยการจัดไพรโอริตี้ (Priority) ได้ 2 ระดับ
14. ตัวโปรเซสเซอร์สามารถใช้งานแบบบูลีน (Boolean) ได้ สำหรับการใช้งานควบคุม
15. มีคำสั่งคูณ และหารทางฮาร์ดแวร์ทำได้ภายใน 4 ไมโครวินาที
16. ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ ใช้ได้ทั้งแบบไบนารี และเดซิมัล
17. การใช้พื้นที่สแต็ก (STACK) สำหรับโปรแกรมย่อยต่าง ๆ ทำได้กว้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่พอร์ท 1 เป็นอินพุท การให้สัญญาณลงต่ำจะเป็นการจ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพภายใน

- ขา PORT 2 (P2.0-P2.7) ขา 21-28 เป็นพอร์ทไอโอ 8 บิท แบบ Open Drain Biderectional ด้วยการพูลอัพภายใน พอร์ท 2 ที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เอาท์พุท สามารถจ่ายโหลดทีทีแอลตระกูลแอลเอสได้ 4 ตัว พอร์ทถูกใช้งานเป็นตัวส่งแอดเดรสไบต์สูงด้วย เมื่อใช้งานร่วมกับหน่วยความจำภายนอกเพื่อให้แอดเดรสได้ถึง 16 บิท ด้วยการใช้งานแบบนี้มันจะมีพูลอัพภายในที่ช่วยให้การส่งค่า "1" ได้ระดับที่แน่นอน

- ขา PORT 3 (P3.0-P3.7) เป็นพอร์ทไอโอ 8 บิท แบบพูลอัพภายใน นอกจากทำเป็นพอร์ทไอโอที่สามารถรับโหลดทีทีแอลตระกูลแอลเอสได้ 4 ตัวแล้ว ยังใช้งานเป็นพิเศษสำหรับตระกูล MSC-51 คือ

ขาพอร์ท	ขา	การทำงานตามฟังก์ชั่นพิเศษ
P3.0	10	RxD พอร์ทอนุกรมอินพุท
P3.1	11	TxD พอร์ทอนุกรมเอาท์พุท
P3.2	12	INT0 อินเทอร์รัพท์ภายนอกตัวที่ 1
P3.3	13	INT1 อินเทอร์รัพท์ภายนอกตัวที่ 2
P3.4	14	T0 สัญญาณกระตุ้นเข้าที่ตัวตั้งเวลาและตัวนับ 0
P3.5	15	T1 สัญญาณกระตุ้นเข้าที่ตัวตั้งเวลาและตัวนับ 1
P3.6	16	WR สัญญาณควบคุมการเขียน
P3.7	17	RD สัญญาณควบคุมการอ่าน

การทำงานตามฟังก์ชั่นข้างบน จะต้องเริ่มโปรแกรมด้วยการส่งค่า "1" ไปแลทช์ไว้ก่อนที่จะทำงานตามฟังก์ชั่นข้างบน

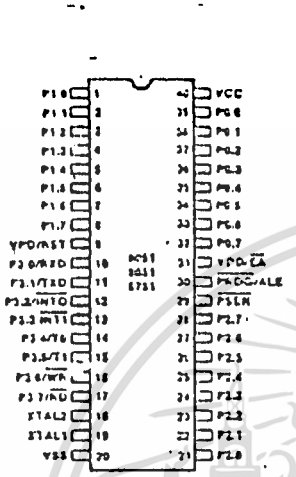
- ขา RT ขา 9 ต้องคงสถานะสูงเป็นเวลาประมาณอย่างน้อยสองวัฏจักรระหว่างที่ออสซิลเลเตอร์ทำงานขณะที่ต้องการรีเซตทั้งระบบงาน โดยจะต่อรีจีสเตอร์พูลดาวน์ (8.2 กิโลโอห์ม) จากขา PST ไปลงดิน และเพื่อให้ตัวชิพรีเซตได้โดยอัตโนมัติขณะเปิดไฟ จะใช้คาปาซิเตอร์ (10 ไมโครฟาราด) ต่อคร่อมระหว่างขา RST กับขา Vcc

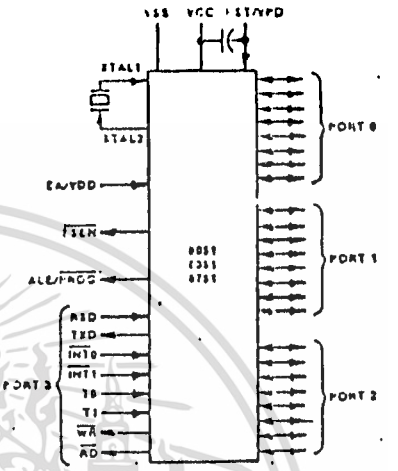
- ขา ALE/PROG ขา 30 เป็นขาแอดเดรสแลทช์อีนาเบิ้ลด้วยการส่งพัลส์ออกไปใช้สำหรับแลทช์ค่าแอดเดรสไบท์ต่ำจากพอร์ท 0 ในระหว่างการเข้าถึงข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก ALE จะถูกส่งสัญญาณนาฬิกาออกมาในอัตราความเร็วคงที่ที่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. ชุดคำสั่งของ MCS-51 จะมีมากกว่าชุดคำสั่งของ MCS-48

1. การจัดขาลักษณะภายนอกของ 8032





รูปที่ 1 (A) ลักษณะขาภายนอกของ 8032 รูปที่ 1 (B) สัญญลักษณ์ทางตรรกของ 8032

จากรูปที่ 1 เป็นการจัดขาตามลักษณะภายนอกของ 8032 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ คือ

- ขา Vss ขา 20 เป็นขาสำหรับต่อลงดิน
- ขา Vcc ขา 40 ต้องการแรงดันไฟกระแสตรงขนาด 5 โวลท์ จะเข้าที่ขานี้และใช้สำหรับการโปรแกรม
- ขา PORT 0 (P0.0-P0.7/AD0-AD7) ขา 32-39 เป็นพอร์ทไอโอ 8 บิท แบบ Open Drain Biderectional สามารถที่จะรับโหลดทีทีแอลได้ 8 ตัว การเขียนค่า "1" ไปที่พอร์ทนี้ จะเป็นการลอย (FLOAT) ขาของพอร์ทนี้ ทำให้มันทำงานเป็นอินพุท มีสถานะอิมพีแดนซ์สูง ในการให้พอร์ทนี้บริการแบบไอโอ พอร์ท 0 จะทำงานเป็นมัลติเพล็กซ์ด้วยสัญญาณแอดเดรสไบต์ต่ำกับบัสข้อมูล สำหรับการใช้งานด้านหน่วยความจำภายนอก ในการใช้งานแบบนี้จะใช้ลักษณะภายในเป็นตัวพูลอัพ พอร์ท 0 ยังใช้งานเป็นตัวส่งข้อมูลออกทางพอร์ทนี้
- ขา PORT (P1.0-P1.7) ขา 1-8 เป็นพอร์ทไอโอ 8 บิท แบบ Open Drain Biderectional พร้อมด้วยการพูลอัพภายใน ถ้าเป็นพอร์ทเอาท์พุท บัฟเฟอร์สามารถขับโหลดทีทีแอลตระกูลแอลเอสได้ 4 ตัว พอร์ท 1 ถูกเขียนค่า "1" ด้วยโปรแกรมมันจะมีสถานะสูงด้วยการพูลอัพภายใน การให้สถานะเช่นนี้จะเป็นการ Initial ใช้งานในพอร์ทนี้ให้เป็นอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลอดเวลา แม้ว่าจะไม่มีการเข้าถึงข้อมูลจากภายนอก ดังนั้นจึงสามารถที่จะใช้สัญญาณจากขานี้เป็นตัวตั้งเวลาภายนอกหรือเป็นความถี่สัญญาณนาฬิกา แต่อย่างไรก็ตามความถี่สัญญาณนี้จะลดความถี่ช้าลงไปเท่าหนึ่งระหว่างการทำงานแบบการเข้าถึงของหน่วยความจำข้อมูล

- ขา **PSEN** ขา 29 **Program Storage Enable** เป็นสโตรบอ่านข้อมูลจากโปรแกรมหน่วยความจำภายนอก เมื่อชิพทำงานด้วยโปรแกรมภายนอก ขา **PSEN** จะไม่มีพัลส์ส่งออก ถ้าชิพทำงานด้วยโปรแกรมหน่วยความจำภายใน

- ขา **EA/Vpp** ขา 31 มีสถานะสูง ตัวซีพียูในชิพจะทำงานตามโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายใน (โดยที่โปรแกรมจะต้องไม่ยาวกว่า 4 กิโลไบต์) การทำให้ **EA** มีสถานะต่ำ จะเป็นการควบคุมให้ซีพียูทำงานตามโปรแกรมหน่วยความจำภายนอก ซึ่งขยายโปรแกรมได้ยาวถึง 64 กิโลไบต์ ขา **EA** จะต้องต่อลงดินเช่นกันแม้ว่าจะไม่มี **ROM** อยู่ภายในก็ตาม

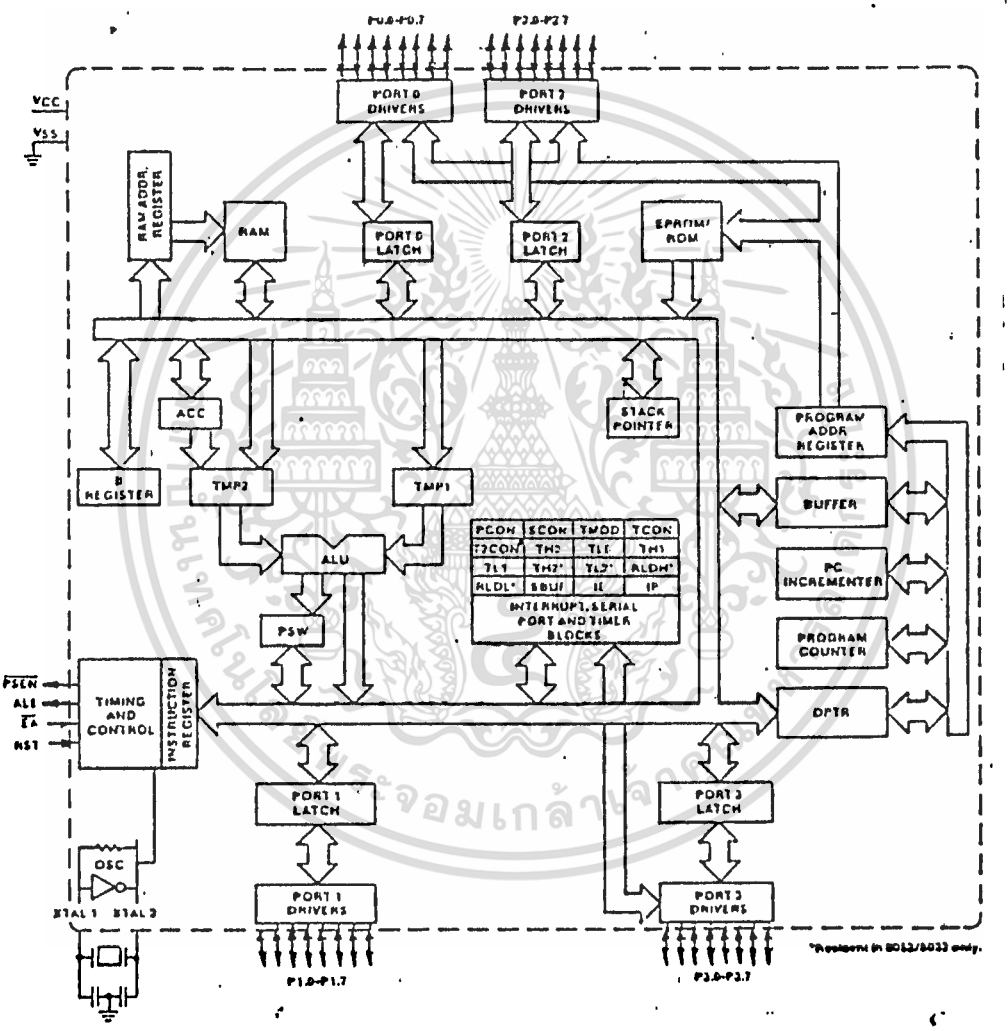
- ขา **XTAL1** ขา 19 ให้เป็นตัวอินพุทเข้าสู่ตัวออสซิลเลเตอร์ขยายแบบ **Invert**

- ขา **XTAL1** ขา 18 ให้เป็นตัวเอาท์พุทจากตัวออสซิลเลเตอร์ขยายแบบ **Invert**

2. การจัดการทางสถาปัตยกรรม

รูปที่ 2 เป็นบล็อกที่ถูกแบ่งตามลักษณะงานในการจัดการภายในของ MCS-51 โดยซิงเกิ้ลชิพแต่ละตัวของตระกูลนี้ จะประกอบด้วยหน่วยศูนย์กลางประมวลผล หน่วยความจำสองชนิดคือ แบบ **ROM** กับโปรแกรม **ROM** หรือ **EPROM** พอร์ทเอาท์พุท อินพุท และโหมดรีจีสเตอร์สถานะและข้อมูล ส่วนวงจรตรรกในการ **RANDOM** ที่จำเป็นสำหรับตัวแปรของฟังก์ชั่นการต่อพ่วงส่วนต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้ จะติดต่อกันด้วยบัสข้อมูลขนาด 8 บิท และจะมีบัฟเฟอร์สำหรับการติดต่อข้อมูลกับภายนอกผ่านพอร์ทไอโอ เมื่อต้องการขยายหน่วยความจำหรือพอร์ทไอโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 สถาปัตยกรรม MSC-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หน่วยศูนย์กลางประมวลผลหรือซีพียู

ซีพียูเป็นมันสมอง ของระบบไมโครคอมพิวเตอร์ การอ่านโปรแกรมและทำงานตามคำสั่งโปรแกรมจะถูกเก็บไว้ในส่วนนี้ โดยการใช้ส่วนคณิตศาสตร์ และตรรกศาสตร์ ทำงานร่วมกับรีจิสเตอร์ A,B,PSW (Program Status Word) และ (Stack Pointor) และรีจิสเตอร์บิทตัวนับโปรแกรม(PC:Program Counter) และตัวชี้ตำแหน่งข้อมูล(DPTR:Data Pointer) ส่วนคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์ (ALU:Arithmetic Logic Unit) เอแอลยูนี้ทำงานในฟังก์ชั่นทางคณิตร์ศาสตร์ และตรรกศาสตร์ด้วยตัวแปรต่าง ๆ ขนาด 8 บิท ที่มีลักษณะการทำงานทางคณิตศาสตร์เป็นบวก ลบ คูณ หาร และรวมทั้งทางตรรกศาสตร์เป็น AND OR XOR รวมทั้งการเลื่อนและวนรอบบิท การเคลียร์ค่าและกลับค่า (Complement) ฯลฯ ALU ยังสามารถที่จะตัดสินใจให้กระโดดไปทำคำสั่งโปรแกรมในส่วนอื่น ๆ ตามข้อกำหนดที่ตั้งขึ้น และยังแบ่งรีจิสเตอร์ชั่วคราว สำหรับให้ข้อมูลเป็นทางผ่านชั่วคราวในการถ่ายเทข้อมูลภายในระบบ คำสั่งอื่นที่ถูกสร้างในการใช้ ALU นี้ ยังมีความสามารถที่จะให้ค่าในรีจิสเตอร์เพิ่มขึ้นครั้งละหนึ่งในลักษณะการบวกด้วยค่าหนึ่ง (Increment) หรือคำนวณเลขที่อยู่ข้อมูลที่จะนำไปเก็บ หรือการลดค่าลงครั้งละหนึ่งในลักษณะการลบด้วยค่าหนึ่ง (Decrement) โดยอัตโนมัติ หรือใช้การเปรียบเทียบค่าของตัวแปรทั้งสอง

สิ่งที่สำคัญในการทำงานทางสถาปัตยกรรมของ MCS-51 คือ สามารถที่ทำได้ที่ขนาดข้อมูล 8 บิทและ 1 บิท การใช้งานในแต่ละบิทในการเซต เคลียร์ หรือกลับค่า การเคลื่อนย้าย ทดสอบ และใช้ในการคำนวนทางตรรกขนาด 1 บิท ความสามารถเช่นนั้นเหมาะสำหรับการใช้งานควบคุมที่มีการคิด และออกแบบทางตรรกด้วย Boolean ของสัญญาณเข้าและออก ซึ่งโดยปกติทำได้ลำบากสำหรับไมโครโปรเซสเซอร์ทั่ว ๆ ไป ด้วยลักษณะงานเช่นนี้จึงได้ชื่องานอีกอย่างหนึ่งว่า Boolean Processor

3.1 แอกคิวมิวเลเตอร์ (Accumulator: ACC)

MCS-15 ก็เช่นเดียวกับ MCS-48 ใช้ ACC ขนาด 8 บิท เป็นแอกคิวมูเลเตอร์หลัก โดยคำสั่งส่วนใหญ่จะต้องถึงรีจิสเตอร์นี้ ถือเป็นค่าตัวตั้งและรับผลลัพธ์จากคำสั่งทางคณิตศาสตร์ เช่น บวก ลบ คูณ หาร เข้ามาเก็บไว้ ตัว ACC ยังสามารถใช้เป็นตัวแหล่งกระทำหรือถูกกระทำในการทำงานทางตรรก และใช้ในการถ่ายเทข้อมูลติดต่อกับอุปรณ์ภายนอกไอโอและหน่วยความจำภายนอก รวมถึงการตรวจสอบตารางข้อมูล

3.2 รีจีสเตอร์ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นรีจิสเตอร์พิเศษที่ใช้งานในคำสั่งของการคูณและหาร ใช้เป็นตัวคูณหรือตัวหาร และเป็นที่เก็บผลลัพธ์ตัวที่สองหลังการคูณและหาร

3.3 คำแสดงสถานะโปรแกรม (Program Status Wordd : PSW)

รีจีสเตอร์ PSW เป็นรีจิสเตอร์ที่แสดงผลที่ได้หลังจากการใช้คำสั่งต่างๆ และใช้เป็นตัวเลือกกลุ่มการทำงานของรีจิสเตอร์กลุ่มต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 3

3.4 ตัวชี้สแต็ก (Stack Pointer : SP)

MCS-51 จะรวมเอาสแต็กทางฮาร์ดแวร์ที่ใช้ RAM ภายใน สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมหลัก การผ่านพารามิเตอร์ระหว่างงานในแต่ละส่วนโปรแกรม และการให้สแต็กเก็บตัวแปรข้อมูลชั่วคราว หรือการเก็บสถานะระหว่างการบริการงานอินเทอร์รัพท์ โดยที่ SP จะมีขนาด 8 บิท จะเพิ่มค่าขึ้นโดยอัตโนมัติ ก่อนที่ข้อมูลจะถูกนำมาเก็บในหน่วยความจำระหว่างการใช้คำสั่ง PUSH และ CALL และจะลดค่าของ SP ลงหลังจากที่ได้ถ่ายเทข้อมูลไปแล้วในคำสั่ง POP หรือ RETURN โดยทฤษฎีทางสถาปัตยกรรม MCS-51 สามารถใช้สแต็กให้มีเนื้อที่ถึง 128 ไบต์ แต่ในทางปฏิบัติ สำหรับโปรแกรมทั่วไปจะใช้น้อยกว่านี้ SP จะถูกเริ่มตำแหน่งที่ 07H ดังนั้นสแต็กจะเริ่มบรรจุข้อมูลที่ 08H MCS-51 สามารถเปลี่ยนแปลงค่าใน SP ได้ ก็จะเปลี่ยนตำแหน่งสแต็กได้ในที่ใด ๆ ของ RAM ภายใน

3.5 ตัวชี้ข้อมูล (Data Pointer : DPTR)

DPTR รีจิสเตอร์ขนาด 16 บิทที่ประกอบด้วยไบต์สูง (DPH) และไบต์ต่ำ (DPL) ที่สามารถที่จะเลือกแบ่งรีจีสเตอร์ 8 บิทให้ใช้ได้อย่างอิสระ หรือจะใช้รวมกันทั้ง 16 บิทในการ Increment หรือ Decrement เพื่อประโยชน์ให้เป็นฐานเลขที่อยู่รีจีสเตอร์ในการกระโดดโดยอ้อม การใช้สั่งเกี่ยวกับตารางข้อมูลและชี้ตำแหน่งเลขที่อยู่ความจำข้อมูลภายนอก

3.6 พอร์ท 0 ถึง 3

รีจิสเตอร์ P0,P1,P2 และ P3 ของกลุ่มรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (Special Function Register : SFR) จะเป็นตัวแลทชีค่าของพอร์ท 0,1,2 และ 3 ตามลำดับ

(MSB) (LSB)

CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	-	P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญลักษณ์	ตำแหน่ง	ข้อกำหนดการทำงาน
CY	PSW7	แฟลกตัวทด จะเซต/เคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์หรือซอฟแวร์ระหว่างการใช้คำสั่งทางคณิตศาสตร์ หรือตรรกศาสตร์ที่แน่นอน
AC	PSW6	แฟลกตัวทดของ Auxiliary จะเซต/เคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ระหว่างการบวกและลบ ที่แสดงผลจากการทดหรือยืมจากบิทที่ 3
F0	PSW5	แฟลก 0 จะเซต/เคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้กำหนดสถานะแฟลกขึ้นเอง
RS1	PSW4	รีจิสเตอร์ตัวควบคุมการเลือกแบงค์ด้วยค่า RS1 และ RS0
RS0	PSW3	จะเซต/เคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ เพื่อเลือกกลุ่มรีจิสเตอร์ทำงานแบงค์ โดยปรับค่าใน RS1 และ RS0 ให้อินาเบิ้ลคุมลักษณะการเลือกแบงค์ต่อไปนี้

RS1	RS0	เลือกแบงค์	ค่าแอดเดรส
0	0	แบงค์ 0	00H - 07H
0	1	แบงค์ 1	08H - 0FH
1	0	แบงค์ 2	10H - 17H
1	1	แบงค์ 3	10H - 1FH

OV	PSW2	แฟลก Overflow จะเซต/เคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ระหว่างการใช้คำสั่งที่แสดงผลถึงการเกิดลักษณะ Overflow
-	PSW1	บิทสำรอง
P	PSW0	แฟลกพาริตี้ จะเซต/เคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ในแต่ละวัฏจักรคำสั่งแสดงถึงตัวเลขค่า "1" ในแต่ละบิทของแอกคิวมิวเลเตอร์ เช่น "1" มี 6 ตัว จะเป็นพาริตี้คู่ P บิทจะเท่ากับ 0

<u>หมายเหตุ</u> อธิบายความหมายฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ในตารางต่าง ๆ ในแต่ละบิทของตัวรีจิสเตอร์ การที่บิทจะเซตหรือเคลียร์นั้น ถ้าเกิดขึ้นจากฮาร์ดแวร์ จะหมายถึงว่าค่าบิทในรีจิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเกิดเซตตัวเอง เนื่องจากผลของความหมายของการทำงานตามคำสั่งของบิทนั้น เช่น T1 จะเซตตัวเองด้วยฮาร์ดแวร์ เมื่อการส่งข้อมูลได้สิ้นสุดถึง STOP บิทแล้ว ช่วยให้เราสามารถตรวจสอบได้ว่าการส่งข้อมูลครั้งละไบต์นั้นสิ้นสุดหรือยัง ถ้ายังจะได้รอต่อไปก่อนหรือมีการคำนวณแล้วผลลัพธ์เกิด **Overflow** ใน **PSW** ก็จะเซตตัวเองที่บิท OV ส่วนทางซอฟต์แวร์ หมายถึงว่าเราสามารถที่จะเซตหรือเคลียร์ได้ด้วยการใช้คำสั่งต่าง ๆ ในการเซตหรือเคลียร์ในบิทแต่ละบิทของรีจิสเตอร์เป็นลักษณะทางซอฟต์แวร์

3.7 บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (Serial Data Buffer : SBUF)

บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรมแบ่งเป็นสองรีจิสเตอร์ ตัวหนึ่งเป็นบัฟเฟอร์ส่ง และอีกตัวเป็นบัฟเฟอร์รับ เพื่อข้อมูลถ่ายเทเข้า SBUF มันจะถ่ายเข้าบัฟเฟอร์ส่งซึ่งเป็นตัวจัดการส่งข้อมูลอนุกรม วิธีการเคลื่อนย้ายเข้า SBUF ขึ้นอยู่กับการเริ่ม (Initial) การส่ง เมื่อข้อมูลย้ายย้ายออกจาก SBUF จะเป็นการรับข้อมูลจากบัฟเฟอร์ตัวรับ

3.8 รีจิสเตอร์ควบคุม

กลุ่ม SFR ที่เป็น 1P, 1E, TMOD, TCON, SCON และ PCON จะประกอบด้วยบิทที่ใช้ในการควบคุม และแสดงสถานะของการใช้งานในระบบอินเทอร์รัพท์ ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ และพอร์ทอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8255

8255 เป็นพอร์ทแบบขนานของอินเทลในชื่อว่า programmable peripheral interface (PPI) ซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้กับซีพียูเบอร์ 8080 และ 8085

การใช้งานเป็นไปตามแบบของการใช้งานพอร์ทโดยทั่วไปคือ ต่อขาแอดเดรส ขาข้อมูล ขา RD และ WR เข้ากับขาของซีพียูชื่อเดียวกันโดยตรง สำหรับขา CS ต่อกับขา PSn (Port select) ซึ่งได้ดีโค้ดไว้ ขา GND กับ VCC คงต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟของระบบ ส่วนขา RESET ขอให้สังเกตด้วยว่าจะรีเซทเมื่อได้รับลอจิก "1"

ใน 8255 มีพอร์ทใช้งานอยู่ 3 พอร์ท ให้ชื่อว่าพอร์ทA พอร์ทB และพอร์ทC กับพอร์ทควบคุม(Control Port) อีก 1 พอร์ท พอร์ทควบคุมคือ พอร์ทที่ทำหน้าที่ติดต่อกับซีพียู เพื่อควบคุมการทำงานของพอร์ทใช้งานทั้ง 3 รายละเอียดจะกล่าวต่อไป

การใช้งาน

ขาของพอร์ทแต่ละพอร์ทจะมีชื่อตามชื่อพอร์ทคือ PA0 ถึง PA7,PB0 ถึงPB7 และ PC0 ถึง PC7 แต่ก่อนที่จะใช้งานมันได้เราจะต้องโปรแกรมมันก่อน โดยเอาท์พุทค่าที่เรียกว่า control byte แก่พอร์ทควบคุม ค่าดังกล่าวนี้จะถือว่าเป็นคำสั่งก็ได้และเป็นคำสั่งขนาด 1 ไบท์ คือ 8 บิท

แต่ในส่วนรวมค่าที่จะให้เมื่อต้องการเลือกเป็น I/P หรือ O/P นั้น ถ้าเป็น "I" เท่ากับกำหนดให้เป็น I/P ถ้าเป็น "O" เท่ากับกำหนดให้เป็น O/P และสำหรับพอร์ท C แบ่งเป็น 2 พอร์ทย่อยคือ พอร์ท CLo ขา PC0-PC3 กับพอร์ท CHi ขาPC4-PC7 ซึ่งเราสามารถโปรแกรมให้ในแต่ละซีกเป็น I/P หรือ O/P ก็ได้

อีกประการหนึ่งการทำงานของ 8255 สามารถกำหนดโหมด(mode) การทำงานได้เป็น 3 โหมด ซึ่งขอเว้นรายละเอียดไว้ก่อน โหมดทั้ง 3 ได้แก่

Mode 0 เป็น I/P หรือ O/P พอร์ทจัดได้ทั้ง 3 พอร์ท

Mode 1 เป็น I/P หรือ O/P พอร์ท มี handshaking จัดได้เฉพาะ พอร์ท A และ พอร์ท B

Mode 2 เป็น bidirectional มี handshaking จัดได้เฉพาะ พอร์ท A

คอนโทรลไบท์ หรือที่ว่าอาจถือเป็นคำสั่งก็ได้นั้น ทางอินเทลได้กำหนดความหมายของแต่ละบิทโดยให้ค่าของแต่ละบิทเป็น 1 หรือ 0 ดังนี้

บิท 0 ให้พอร์ท CL0 เป็น I/P หรือ O/P

บิท 1 ให้พอร์ท B เป็น I/P หรือ O/P

บิท 2 ให้พอร์ท B ทำงานในโหมด 0 หรือ 1 (0 = โหมด 0 และ1 = โหมด 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิท 3 ให้พอร์ท CH1 เป็น I/P หรือ O/P

บิท 4 ให้พอร์ท A เป็น I/P หรือ O/P

บิท 5 และ บิท 6 ให้พอร์ท A ทำงานในโหมด ดังนี้

00 = โหมด 0

01 = โหมด 1

10 = โหมด 2

11 = โหมด 2

บิท 7 มีค่าเป็น 1 ประจำ แสดงว่า ไบท์นี้เป็นคอนโทรลไบท์

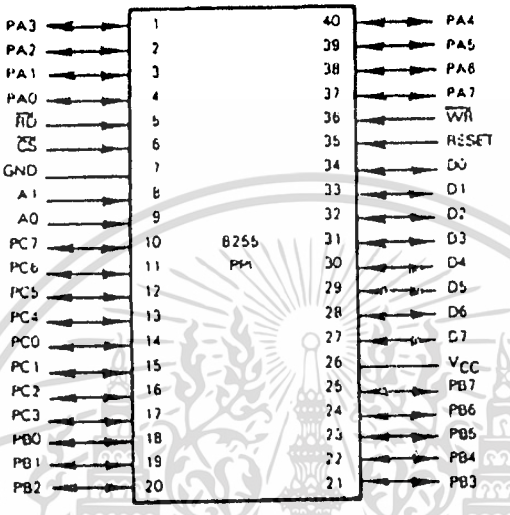
สมมุติว่าต้องการให้ทุกพอร์ทเป็น O/Pและให้พอร์ท A กับ พอร์ท B ทำงานในโหมด 0 จะได้คอนโทรลไบท์เป็น 10000000 ซึ่งอาจเป็นเลขฐาน 16 ได้เป็น 80H จะได้เป็นคำสั่งของ Z 80 ว่า LD A,80H : ค่าคอนโทรลไบท์

OUT (03H),A : ให้แก่พอร์ทควบคุม

หรือถ้าต้องการให้พอร์ท A เป็น O/P พอร์ท B และ พอร์ท C เป็น I/P ให้พอร์ท A และ B ทำงานในโหมด 0 จะได้ คอนโทรลไบท์ เป็น 10001011 คือ 8BH

การทำงานในโหมด 0 หรือที่เรียกว่า simple I/P port ผู้ที่ใช้ 8255 มักจะใช้มากกว่าโหมดอื่น คือ ประมาณ 80 % ทั้งนี้เพราะในโหมด 1 และ 2 จะต้องมีกรรมวิธีในการอินเทอร์รัพท์ ซึ่งจะต้องจัดวงจรให้

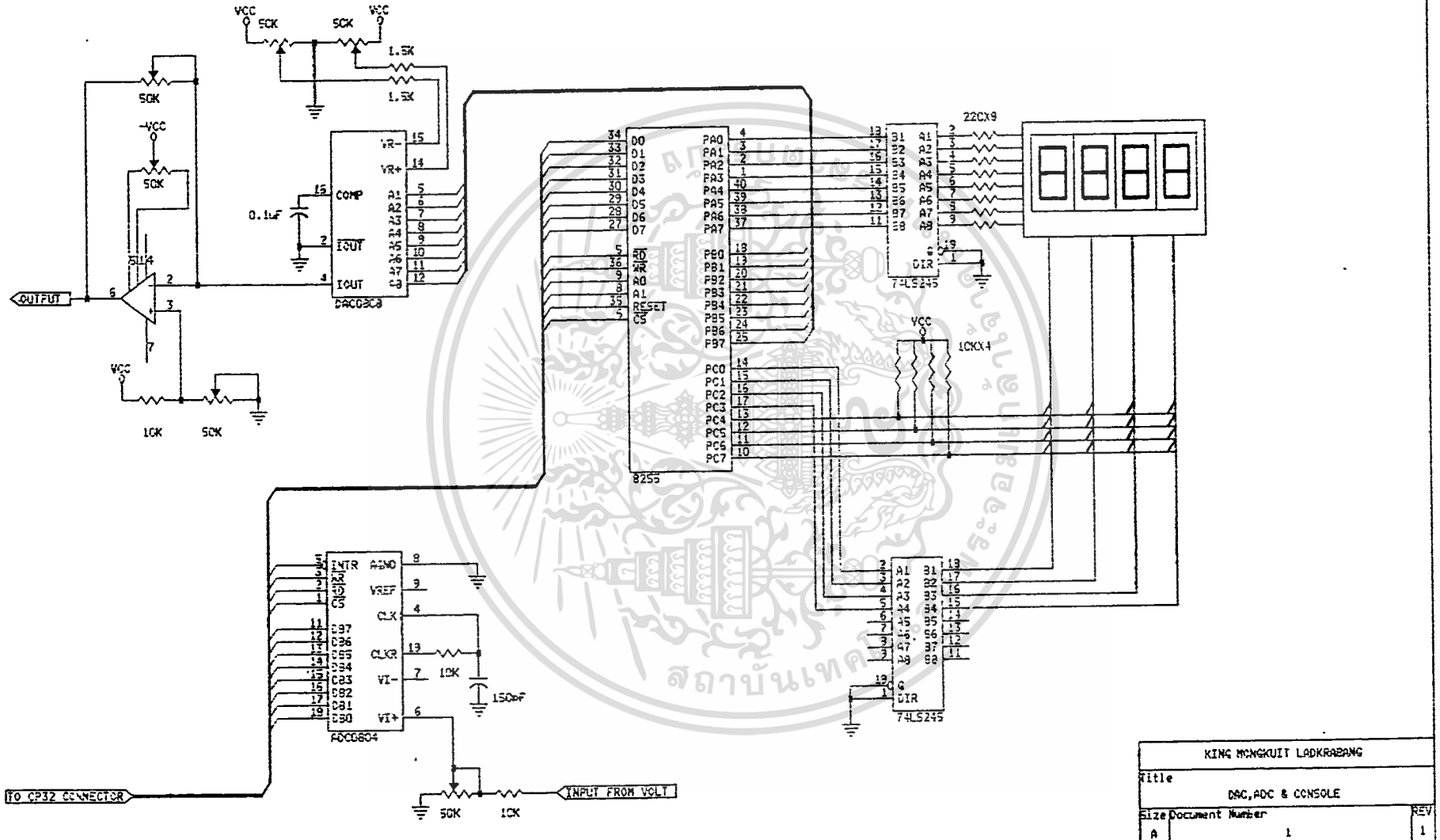
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



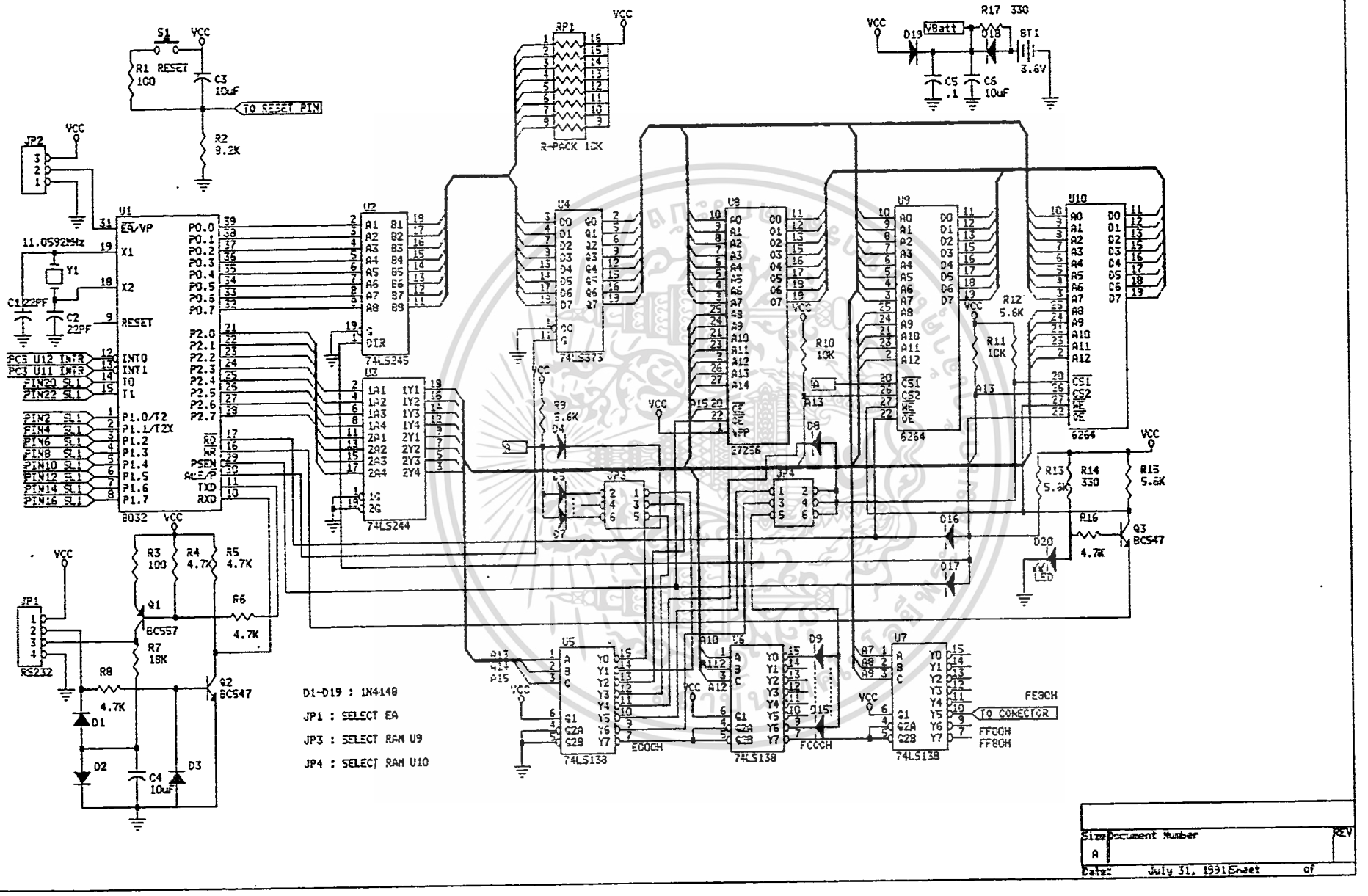
PIN NAME	DESCRIPTION	TYPE
D0 - D7	Bidirectional Data Bus	Bidirectional
PA0 - PA7	Eight I/O pins designated as Port A	Bidirectional
PB0 - PB7	Eight I/O pins designated as Port B	Bidirectional
PC0 - PC7	Eight I/O pins designated as Port C upper and Port C lower	Bidirectional
$\overline{RD}$	Read from device control	Input
$\overline{WR}$	Write to device control	Input
RESET	System reset	Input
$\overline{CS}$	Device select	Input
A0 A1	I/O port select	Input
V_{CC} GND	Power and Ground	

รูปที่ 1 การจัดขาของ 8255

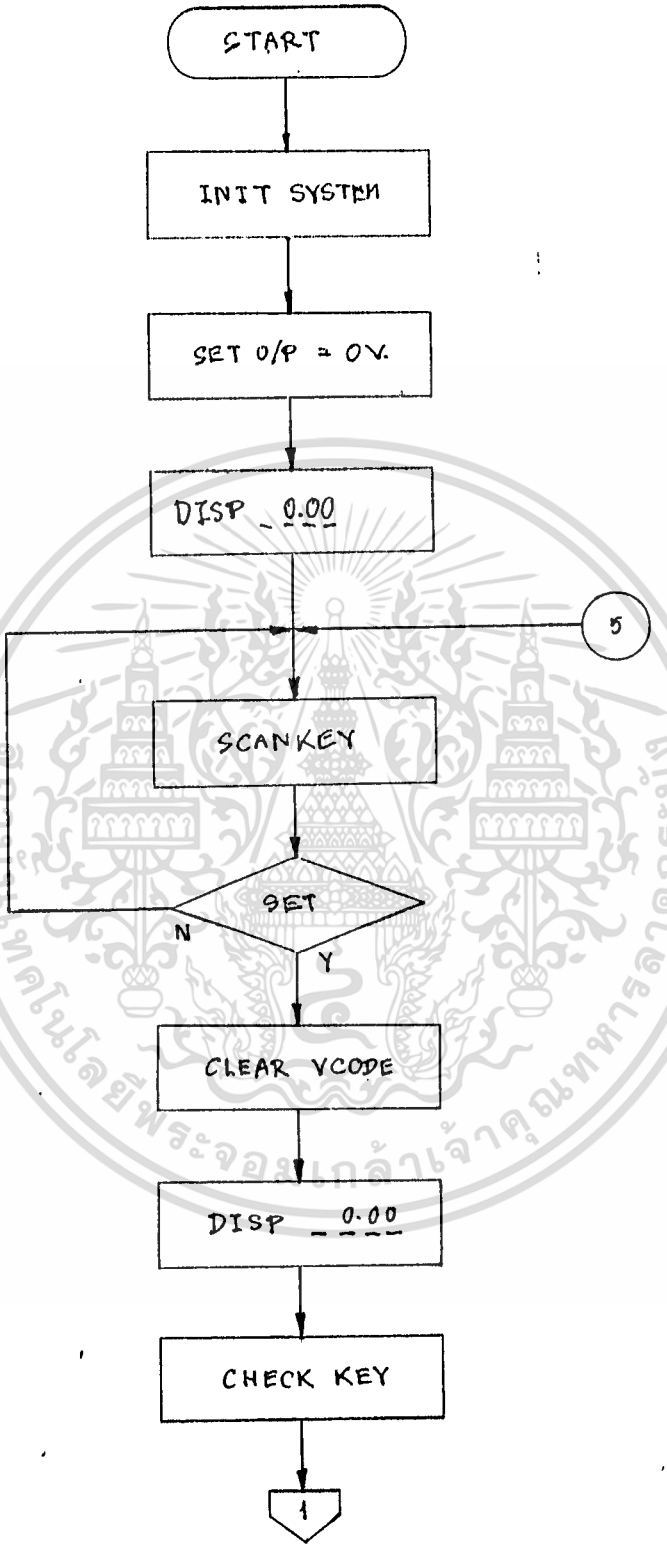
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



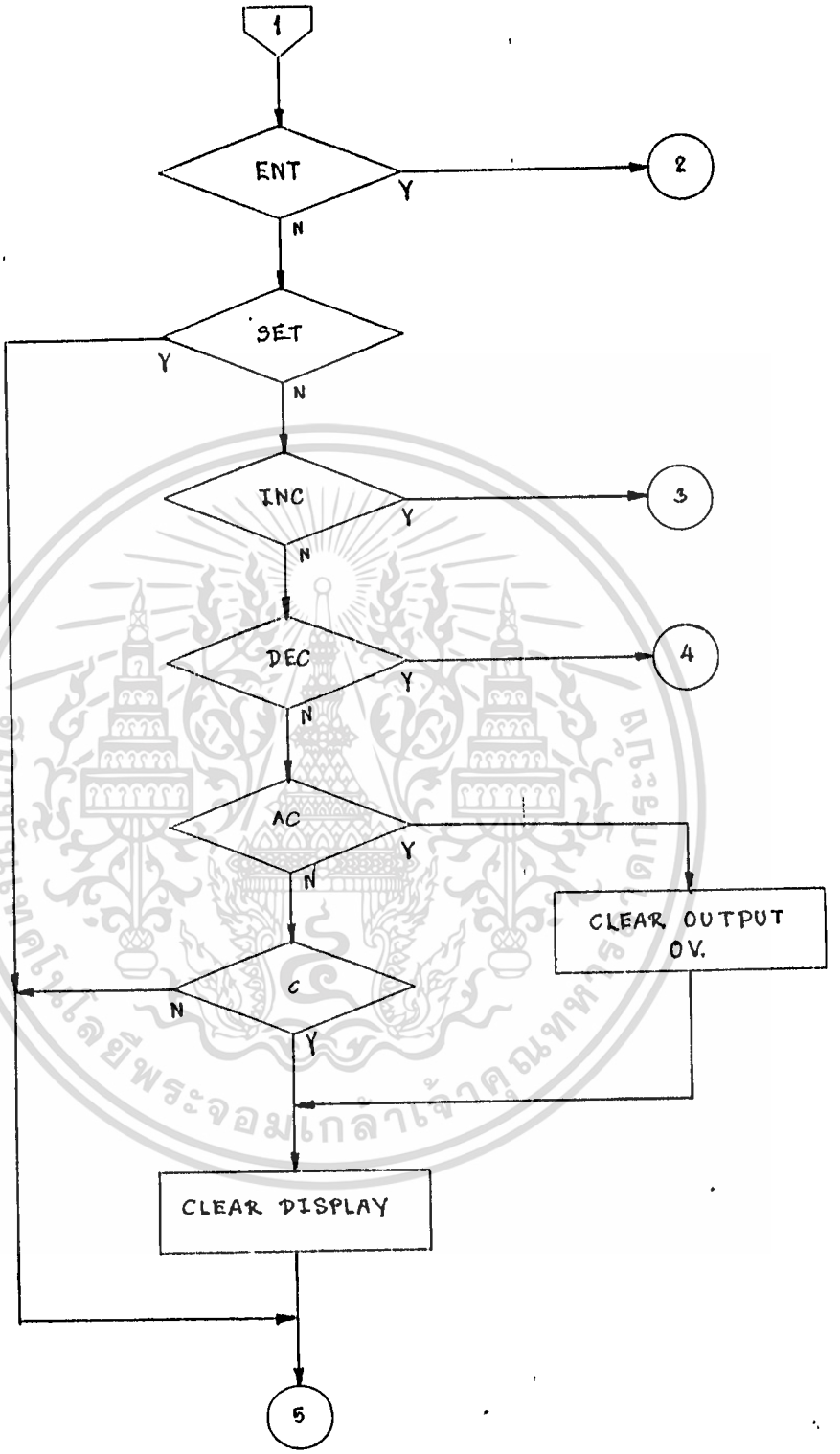
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



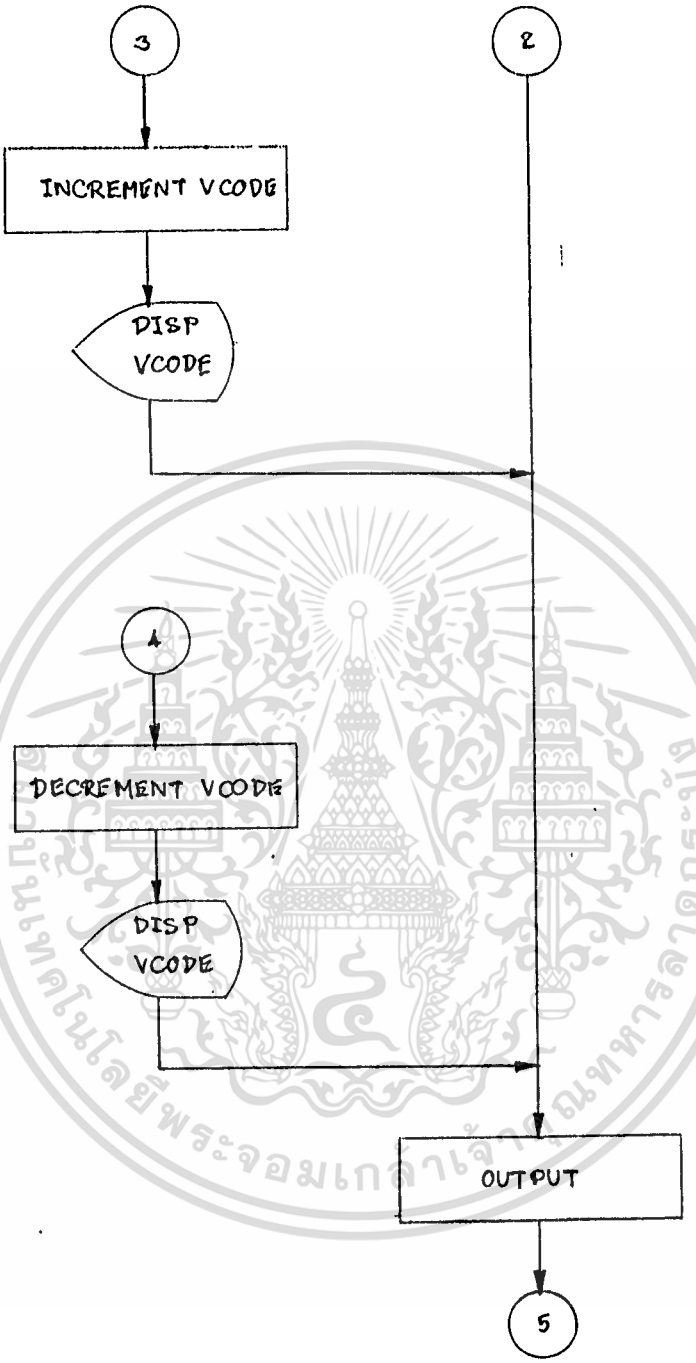
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลงได้ต้องขอขอบคุณผู้มีอุปการะคุณดังต่อไปนี้

1. อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ที่ให้ความเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ต่าง ๆ และให้คำปรึกษาทั้งทางด้านวิชาการ เทคนิค และเอกสารต่าง ๆ
2. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอุตสาหกรรมที่ให้ความสะดวกทางการใช้เครื่องมือต่างๆ
3. บริษัท อีทีที จำกัด ที่ให้ปรึกษาเกี่ยวกับเรื่อง Microcontroller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. สมศักดิ์ ชุมช่วย, "ชุดจ่ายไฟ" วารสารอีเล็คทรอนิคส์เวิลด์, ฉบับโครงงาน ตุลาคม - พฤศจิกายน, หน้า 141 - 152, 2526.
2. GEORGE CHRYSSIS , "HIGH - FREQUENCY SWITCHING POWER SUPPLY", Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY, (NEW YORK), PP 41-148, 1984
3. ABRAHAM I. PRESSMAN, "SWITCHING AND LINEAR POWER SUPPLY, POWER CONVERTER DESIGN", HAYDEN BOOK COMPANY, 1977
4. WILLIAM McMURRAY, "OPTIMUM SNUBBER FOR POWER SEMICONDUCTORS", IEEE CONFERENCE RECORD OF SIXTH ANNUAL MEETING, 1971, PP 885-893
5. คู่มือ MCS-51, บริษัท ศิลารีเสิร์ท จำกัด, ปี 2533.