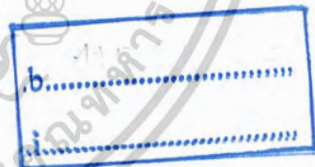


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟสวิตชิงควบคุมด้วยมาตรฐาน IEEE-488 (GPIB)
A DESIGN AND CONSTRUCTION OF SWITCHING POWERSUPPLY
CONTROL BY IEEE-488 STANDARD (GPIB)



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61346
วัน,เดือน,ปี 17 ก.ค. 2549



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟสวิทชิงควบคุมด้วยมาตรฐาน IEEE-488 (GPIB)
A DESIGN AND CONSTRUCTION OF SWITCHING POWERSUPPLY
CONTROL BY IEEE-488 STANDARD (GPIB)



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟสวิทชิงควบคุมด้วยมาตรฐาน IEEE-488 (GPIB)

ผู้จัดทำ

นายปาน ประภากรณ์

นายรัฐพงศ์ กาศิป์



(รศ.ดร.มนัส ตั้งวรศิลป์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟสวิทซ์ควบคุมด้วยมาตรฐาน IEEE-488 (GPIB)

นายปาน ประภากรณ์

นายรัฐพงศ์ กาศิ๊บ

รศ.ดร.มนัส สัจวรศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ที่นำเสนอนี้ เป็นการออกแบบ สร้างแหล่งจ่ายไฟสวิทซ์ควบคุมด้วยมาตรฐาน IEEE-488 (General Purpose Interface Bus: GPIB) เพื่อให้สามารถปรับค่าได้จากคอมพิวเตอร์ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมเครื่องวัดได้ในระยะไกล โดยการออกแบบให้สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน GPIB Interface Card ไปยังพอร์ตอนุกรม (RS-232) ช่วยให้สามารถควบคุมเครื่องมือวัดผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้ ส่งผลช่วยให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานระบบบัส GPIB กว่าการ์ดอินเตอร์เฟซที่มีใช้ทั่วไปที่มีอยู่ในรูปแบบการ์ดอินเตอร์เฟซผ่านทางระบบบัส PCI หรือ ISA ซึ่งมีราคาสูงและต้องติดตั้งไว้ภายในเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A DESIGN AND CONSTRUCTION OF SWITCHING POWERSUPPLY CONTROL
BY IEEE-488 (GPIB) STANDARD**

Mr.Pann Prapakorn

Mr.Ruttapong Katib

Assoc Prof.Manas Sangworasil Adviser

ABSTRACT

The project deal with design and construction of Switching Power Supply control by IEEE-488 (General Purpose Interface Bus: GPIB) standard with computer. We can adjust voltage to the specific value and can adjust in the far position from computer. This project had designed an interfacing card can be used with RS-232 port, then we can be controlled and display by computer. Generally, we used GPIB interfacing by using PCI or ISA that high cost and hard to install because it's only internal installation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญ	III
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	
บทที่ 2 ระบบมาตรฐาน IEEE-488 (GPIB)	
2.1 คุณสมบัติและข้อจำกัดในการต่อพ่วงอุปกรณ์	3
2.2 สัญญาณต่างๆ ภายในระบบ GPIB	4
2.3 ขบวนการแฮนด์เช็ก (Handshake Procedure)	8
2.4 คำสั่งใช้งานของ IEEE-488 (GPIB)	11
บทที่ 3 คำสั่งในการควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือวัด	
3.1 HAMEG Programmable Power Supply รุ่น HM8142	16
3.2 Switching Power Supply ที่ทำการสร้างขึ้น	20
บทที่ 4 การออกแบบส่วนอินเตอร์เฟสของระบบ	
4.1 องค์ประกอบของระบบ	21
4.2 หน้าที่ส่วนการอินเตอร์เฟสของระบบ	21
4.3 ขบวนการติดต่อไปยังอุปกรณ์เครื่องมือวัด	22
4.4 การออกแบบโปรแกรมขบวนการแฮนด์เช็กในการรับส่งข้อมูล	24
4.5 สัญลักษณ์ที่ใช้บ่งบอกความหมายของชุดข้อมูล	27
4.6 โปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	28
4.7 วงจรส่วนอินเตอร์เฟสและหน้าที่การทำงานของแต่ละส่วนประกอบ	30
บทที่ 5 การสร้างส่วนแหล่งจ่ายไฟสวิตชิงและการออกแบบส่วนควบคุมแหล่งจ่ายไฟสวิตชิง	
5.1 วงจรส่วนอินพุตของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	32
5.2 คอนเวอร์เตอร์	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
5.3 หม้อแปลงสวิตชิง	45
5.4 วงจรควบคุมสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	49
5.5 เพาเวอร์มอสเฟต	54
5.6 การออกแบบส่วนการควบคุมแหล่งจ่ายไฟสวิตชิง	60
5.6.1 การออกแบบส่วน โปรแกรมใน Microcontroller	60
5.6.2 การออกแบบส่วน Hardware	63
บทที่ 6 ผลการทดลอง	
6.1 การทดลองส่วนการควบคุม	66
6.2 การทดลองส่วนแหล่งจ่ายไฟสวิตชิง	66
บทที่ 7 บทสรุปและแนวทางการพัฒนา	69
บรรณานุกรม	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปริยญาณิพนธ์

เนื่องจากปัจจุบัน คอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก จึงมีความต้องการที่จะใช้คอมพิวเตอร์เป็นศูนย์กลางทุกอย่างในการทำงาน ดังเช่นกรณีความต้องการควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ ดังนั้นจึงต้องมีการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ กับอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งมาตรฐานหนึ่งที่นิยมใช้กันในเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์คือ มาตรฐาน IEEE-488 หรือ GPIB ซึ่งเป็นมาตรฐานพอร์ตนานแบบหนึ่ง แต่จะพบว่าการ์ดอินเตอร์เฟซจะใช้ติดต่อกันไปมีราคาสูง และในการปรับค่าต่างๆของเครื่องมือวัดยังใช้การควบคุมแบบแกนโวลุ่ม (Volume) ซึ่งทำให้ได้ค่าที่ไม่แน่นอนตามต้องการ หรือกว่าจะสามารถปรับได้ก็ใช้เวลานาน จึงเป็นจุดเริ่มต้นการศึกษาของปริยญาณิพนธ์นี้

ปริยญาณิพนธ์นี้ได้นำมาไมโครคอนโทรลเลอร์ มาประยุกต์ในการช่วยปรับค่าแรงดันของ Switching Power Supply และในการอินเตอร์เฟซระหว่าง Switching Power Supply กับคอมพิวเตอร์ คือแปลงพอร์ตมาตรฐาน GPIB ให้อยู่ในรูปแบบการสื่อสารอนุกรม RS-232 ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนของการ์ดอินเตอร์เฟซ GPIB ที่ใช้ทั่วไปได้อย่างมาก ทั้งยังมีความยืดหยุ่นในการทำงานและพัฒนาโปรแกรม, ปรับค่าแรงดันได้แม่นยำ และสามารถนำไปประยุกต์และ พัฒนาได้อีกในอนาคต

1.2 จุดมุ่งหมายของปริยญาณิพนธ์

- เพื่อให้สามารถควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือวัด ที่สนับสนุนการส่งข้อมูลการส่งข้อมูลมาตรฐานแบบGPIB ด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม (RS-232)
- เพื่อศึกษารูปแบบโปรโตคอลของ GPIB เป็นพื้นฐานในการพัฒนาการใช้งาน เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนา การส่งข้อมูลรูปแบบอื่นได้
- เพื่อศึกษาและพัฒนา ความสามารถในการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
- เพื่อสามารถใช้งานทดแทนการ์ดอินเตอร์เฟซ GPIB ที่มีราคาสูงได้
- ศึกษาวงจรแหล่งจ่ายไฟสวิดจิ่ง แล้วนำมาประยุกต์ให้สามารถควบคุมได้ด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อสามารถปรับค่าแรงดันได้อย่างแม่นยำ
- ออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายไฟสวิดจิ่งควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม (RS-232) โดยใช้ระบบมาตรฐาน IEEE-488 (GPIB) ในการติดต่อ

1.3 ขอบเขตการทำงาน

- ควบคุมการติดต่อสื่อสารระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ กับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต RS-232
- ใช้การควบคุมผ่านทางคอมพิวเตอร์ โดยการเขียน โปรแกรมควบคุมเครื่องมือวัดโดยโปรแกรม

Microsoft Visual Basic

- ในการควบคุมที่ออกแบบไว้นั้น ได้ออกแบบให้รองรับ Switching Power Supply ที่ทำการสร้างขึ้นมา (ควบคุมเฉพาะการปรับค่าแรงดันเท่านั้น)

ในกรณีที่ต้องการเพิ่มเครื่องมือวัดที่ควบคุมในระบบใหม่ก็สามารถทำได้โดยการเขียน โปรแกรมสั่งการควบคุมทางคอมพิวเตอร์ขึ้นเพิ่มเติมรองรับตามคำสั่งมาตรฐานของเครื่องมืออุปกรณ์นั้นๆ

- ควบคุมการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ และ เครื่องมือวัดโดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงข้อมูลในรูปแบบมาตรฐาน GPIB กับข้อมูลในการสื่อสารแบบอนุกรม RS-232



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

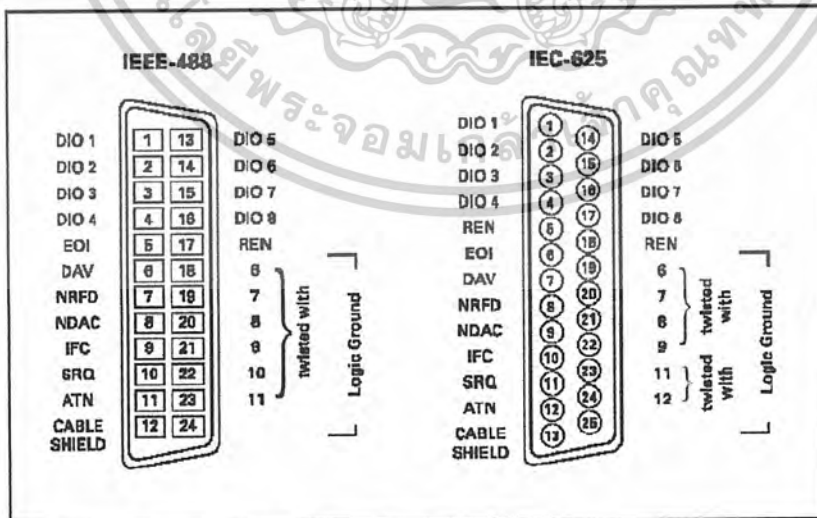
ระบบมาตรฐาน IEEE-488 (GPIB)

2.1 คุณสมบัติและข้อจำกัดในการต่อพ่วงอุปกรณ์

ในการระบุ Address ของอุปกรณ์ต่อพ่วงในระบบ IEEE-488 นี้ มี Address ที่สามารถเป็นไปได้ อยู่ระหว่าง 0 ถึง 30 ซึ่งในช่วงเวลาหนึ่งๆ นั้นตัวควบคุมจะสามารถติดต่ออุปกรณ์เครื่องมือวัดได้เพียง Address เดียวกันเท่านั้น โดยใน 1 ช่วงเวลาอุปกรณ์นั้นจะถูกควบคุมให้ทำงานเป็นตัวส่งหรือตัวรับเท่านั้น ไม่สามารถกระทำในเวลาเดียวกันได้ สำหรับส่วนของอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ นั้นจะมีอยู่ด้วยกัน 4 รูปแบบ ได้แก่

- อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว (Talker)
- อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับเพียงอย่างเดียว (Listener)
- อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวส่งและตัวรับ (Talker & Listener)
- อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวส่ง, ตัวรับ และตัวควบคุม

สำหรับระบบบัส GPIB นั้น จะสามารถต่อพ่วงอุปกรณ์ได้ในขณะเดียวกันเพียง 16 เครื่องเท่านั้น ซึ่งเป็นข้อจำกัดทางด้านการขับกระแสผ่านบัส โดยมีการจำกัดปริมาณกระแส ตั้งแต่ 0 ถึง ไม่เกิน 48 mA ซึ่งในอุปกรณ์ต่อพ่วงตัวหนึ่งๆ จะกินกระแสประมาณ มากกว่าหรือเท่ากับ 3 mA ดังนั้นเมื่อคิด อุปกรณ์ต่อพ่วง 15 ตัว กับ 1 ตัวควบคุม $(15+1) \times 3 = 48 \text{ mA}$ นั่นเอง สำหรับเรื่องของสถานะ Logic ของ GPIB นั้นในขณะที่เรากล่าวถึง Logic 0 จะหมายถึงสถานะเอาต์พุตเป็น High ("1") และในขณะที่กล่าวถึง Logic 1 จะหมายถึงสถานะเอาต์พุตที่เป็น Low ("0") ซึ่งเป็นจุดที่ควรระวัง ในการทำความเข้าใจระบบด้วย



รูปที่ 2.1 แสดงตำแหน่งขั้วสัญญาณของมาตรฐาน IEEE-488 และมาตรฐาน IEC625-1 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สัญญาณต่างๆ ภายในระบบ GPIB

ในระบบ GPIB นั้นสายสัญญาณถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่

2.2.1 สายสัญญาณข้อมูล (Data Input Output 1-8 : DIO 1-8) เป็นสายสัญญาณข้อมูลหลัก ในการส่งถ่ายข้อมูลระหว่างกันของอุปกรณ์เครื่องมือวัดและตัวควบคุม

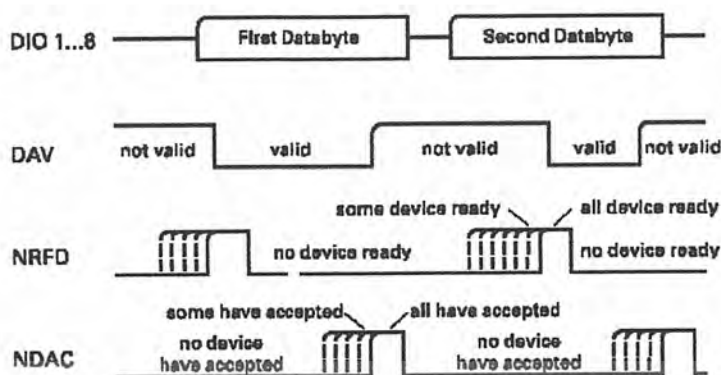
2.2.2 สายสัญญาณควบคุมการรับส่งข้อมูล (Hand shake lines: DAV, NRFD and NDAC) ประกอบไปด้วยสายสัญญาณ 3 สายเพื่อใช้ในการควบคุมจังหวะของการรับและส่งข้อมูลประกอบด้วย

- DAV (Data Valid)

ในการส่งข้อมูลแต่ละชุดข้อมูลนั้นต้องมีการตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ต่างๆเป็นอันดับแรก ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากสัญญาณ NRFD โดยเมื่ออุปกรณ์ทุกตัวพร้อมที่จะรับคำสั่ง สัญญาณ NRFD จะเป็น Logic 0 (Output High) สัญญาณ DAV นี้จะเปลี่ยนเป็น Logic 1 (Output Low) เพื่อแจ้งให้เกิดการรับค่าของข้อมูลที่รออยู่บน Data Bus ซึ่งการส่งข้อมูลนี้จะขึ้นอยู่กับสัญญาณ NDAC โดยเมื่อใดก็ตามที่สัญญาณ NDAC เปลี่ยนเป็น Logic 0 นั้นหมายถึงการที่ข้อมูลถูกรับเข้าสู่อุปกรณ์ต่างๆ เรียบร้อยแล้ว สัญญาณ DAV จะถูกกำหนดให้เป็น Logic 0 เพื่อแจ้งว่าสามารถที่จะรับข้อมูลชุดใหม่เข้ามาได้แล้วนั่นเอง

-NRFD (not ready for data)

สายสัญญาณนี้ถูกขับโดยอุปกรณ์ทุกตัว เมื่อได้รับคำสั่งใดๆ และเมื่อตัวรับได้รับชุดข้อมูลคำสั่ง มันจะทำการส่งการเพื่อบ่งบอกว่า ขณะนี้อุปกรณ์ใดๆ พร้อมหรือไม่พร้อมที่จะรับชุดข้อมูล เมื่อมันอยู่ในสถานะ Logic 0 มันจะบ่งบอกว่าขณะนี้อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อพร้อมที่จะรับคำสั่งซึ่งทั้งนี้การรับข้อมูลต้องขึ้นอยู่กับสถานะของ DAV ด้วย ซึ่งอุปกรณ์ตัวรับจะส่งการ NDAC ให้เป็น Logic 0 และเริ่มทำการเก็บข้อมูลเก็บข้อมูล โดยหลังจากเก็บข้อมูลเสร็จเครื่องรับจะแจ้งกลับด้วยสัญญาณ NDAC เพื่อบ่งบอกให้ทราบ ว่า ข้อมูลถูกเก็บเรียบร้อยแล้ว (NDAC เป็น Logic 1) ซึ่งทั้งนี้ในขณะที่เริ่มมีการเก็บข้อมูล สัญญาณ DAV ต้องกลับมากอยู่ในสถานะ "Data not valid" (Logic 0) ด้วย เพราะเมื่อใดก็ตามที่อุปกรณ์ใดๆ ส่งสัญญาณ NRFD ให้เป็น Logic 1 สัญญาณ DAV ไม่สามารถที่จะเป็น Logic 1 ได้เพราะไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถรับชุดข้อมูลชุดต่อไปได้



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณควบคุมการรับส่งข้อมูล

-NDAC (not data accepted)

สายสัญญาณนี้จะถูกขับเมื่อมีการรับคำสั่งใดๆ หรือชุดข้อมูลคำสั่ง โดยเป็นสายสัญญาณที่บ่งบอกว่าสัญญาณข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูลนั้นได้รับการเก็บไว้แล้วหรือไม่ โดยความสำคัญของสัญญาณ NDAC นี้คือบ่งบอกถึงว่าอุปกรณ์นั้นๆ พร้อมทั้งจะรับข้อมูลคำสั่งชุดใหม่แล้วหรือยัง ซึ่งมีผลเกี่ยวเนื่องกับสัญญาณ DAV ด้วยนั่นคือ ขณะที่รับข้อมูลไว้บนบัสนั้นสัญญาณ DAV จะอยู่ในสถานะ Logic 1 ซึ่งเมื่อข้อมูลถูกเก็บสู่ตัวรับ ตัวรับจะส่งสัญญาณ NDAC เป็น Logic 0 หรือสถานะ "Data Accepted" นั่นเอง ซึ่งทางด้านส่งก็จะรับรู้ และทำการเปลี่ยนสัญญาณ DAV เป็น Logic 0 เพื่อรอรับข้อมูลชุดใหม่ต่อไป และเมื่อตัวรับรับข้อมูลเรียบร้อยแล้วก็จะเปลี่ยนสถานะของ NDAC ให้เป็น Logic 1 อีกครั้งด้วยเช่นกัน

2.2.3 สายสัญญาณควบคุมเชื่อมต่อ (The Interface Management Line : ATN, IFC , REN , SRQ and EOI)

ในส่วนของสายสัญญาณควบคุมการเชื่อมต่อนี้ จะเป็นกลุ่มของสายสัญญาณที่ใช้ควบคุมและจัดการการเชื่อมต่อต่างๆ โดยสายสัญญาณบางเส้นนั้นควบคุมจากส่วนควบคุมเท่านั้น ได้แก่สัญญาณ ATN , IFC และ REN สำหรับสัญญาณ SRQ นั้นจะถูกควบคุมโดยทางฝั่งของอุปกรณ์ที่มาเชื่อมต่อเท่านั้น และสำหรับสัญญาณ EOI นั้น เป็นสัญญาณที่จะถูกสั่งงานจากอุปกรณ์ใดก็ได้ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งในขณะนั้นๆ

-ATN (Attention)

สัญญาณ ATN นี้ เป็นสัญญาณที่จะถูกควบคุมโดยทางภาคควบคุมเท่านั้น ซึ่งเป็นสัญญาณที่บ่งบอกสถานะของสัญญาณที่อยู่บนบัสข้อมูลว่าเป็นสัญญาณประเภทใด หากสัญญาณ ATN อยู่ในสถานะ logic 1 (Output low) จะเป็นการบ่งบอกว่าข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูลนั้นนั้นเป็นรหัสคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานของ GPIB ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีบิตเดียว แต่เมื่อสัญญาณ ATN อยู่ในสถานะ logic 0 (Output High) จะเป็นการบ่งบอกว่าข้อมูลบนบัสข้อมูลนั้นๆ เป็นข้อมูลประเภทรหัส ASCII ซึ่งการส่งข้อมูลประเภทนี้นั้นจำเป็นต้องอาศัยสัญญาณ EOI ในการจัดชุดข้อมูลด้วย แต่อย่างไรก็ตามการส่งข้อมูลทั้งสองประเภทนี้นั้น จำเป็นที่จะต้องอาศัยการควบคุมการส่งข้อมูลจากสัญญาณควบคุมการรับส่งข้อมูล (DAV, NRFD และ NDAC) ด้วย

-IFC (Interface Clear)

สัญญาณนี้นั้น เป็นสัญญาณที่ใช้สั่งการให้อุปกรณ์ทั้งหมดที่ต่ออยู่ร่วมกับภาคควบคุมกลับไปอยู่ในสถานะเริ่มต้นอีกครั้ง (สถานะที่ไม่ได้มีการเชื่อมต่อ Address ไปยังอุปกรณ์ใดๆ) ในทางปฏิบัติ นั้นเมื่อมีการเริ่มการใช้งาน ควรมีการสั่งการให้สัญญาณ IFC ทำงานเพื่อกำหนดสถานะเริ่มต้นให้แก่ อุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่ทั้งหมดด้วย

-REM (Remote enable)

สัญญาณ REM นี้เป็นสัญญาณที่ใช้ควบคุมระบบการทำงาน ของอุปกรณ์ที่ต่อพ่วงอยู่ทั้งหมด โดยในขณะที่สัญญาณ REM นี้ถูกสั่งให้เป็น Logic 1 อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงอยู่ทั้งหมดจะทำงานในโหมด Remote แต่หากสัญญาณ REM นี้ถูกกำหนดให้เป็น Logic 0 จะเป็นการกำหนดให้อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงอยู่ทำงานในโหมด Local ตามปกติ

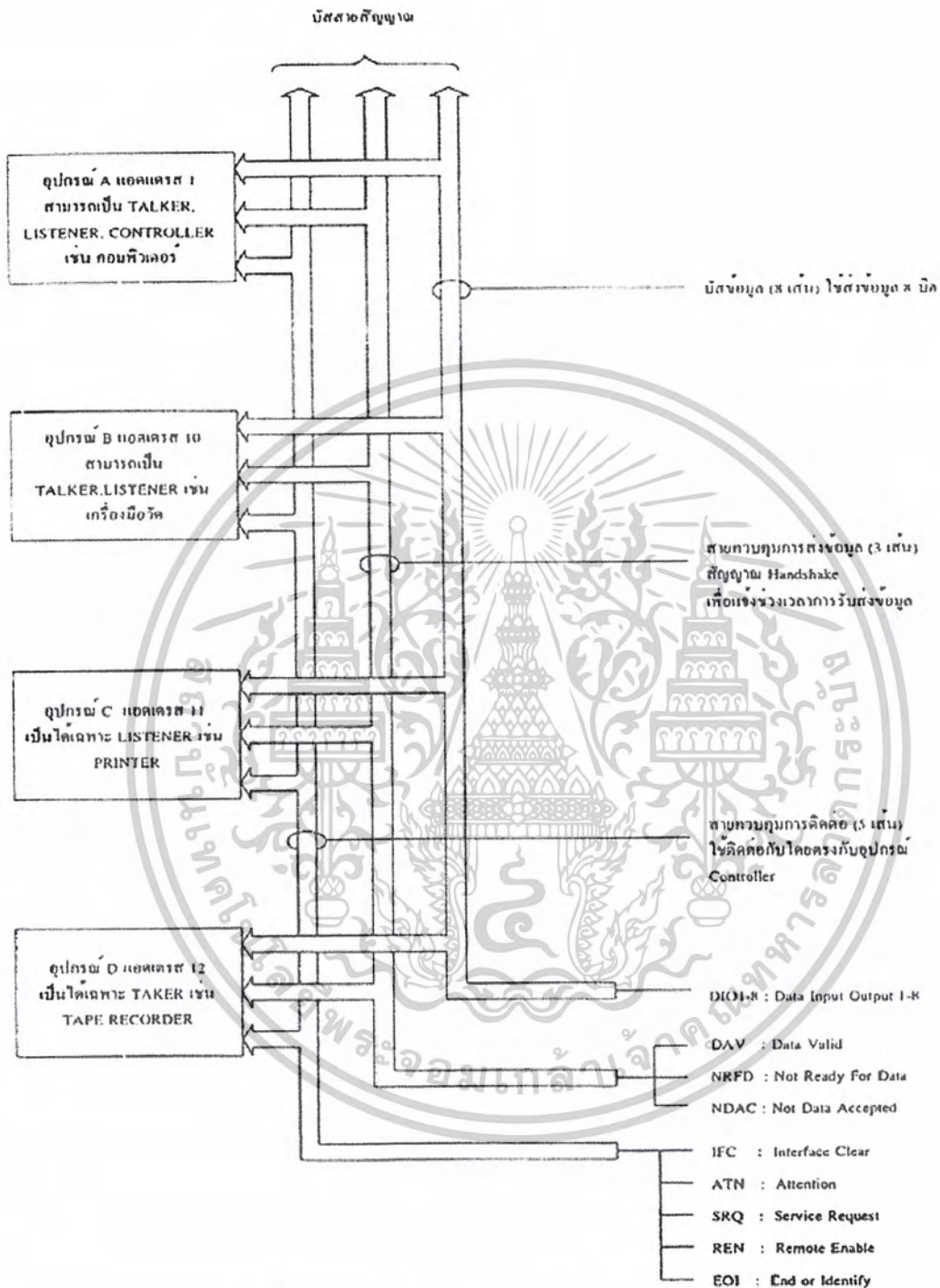
-SQR (Service Request)

สัญญาณนี้เป็นสัญญาณจากอุปกรณ์ที่ต่อพ่วงกับตัวควบคุม เพื่อร้องขอการติดต่อจากตัวควบคุมซึ่งอาจเกิดข้อผิดพลาดในการสั่งการ จึงจำเป็นต้องร้องขอคำสั่งในการแก้ไขจากตัวควบคุม

-EOI (End Of Data)

เป็นสัญญาณที่ใช้ร่วมกับการส่งชุดข้อมูลคำสั่งที่เป็นประเภท String โดยในสภาวะปกติสัญญาณนี้จะมี Logic 1 แต่เมื่อเริ่มมีการส่งข้อมูล String จากตัวส่ง สัญญาณนี้จะถูกตัวส่งกำหนดให้เป็น Logic 0 และเริ่มส่งข้อมูลออกไปทีละตัว ซึ่งทางภาครับก็จะทำการเก็บข้อมูลนั้นไว้แต่ยังไม่นำไปส่ง การจะรอข้อมูลที่ตามมาในหลักต่อไป จนกระทั่งเมื่อสัญญาณ EOI ถูกเปลี่ยนให้กลับมาอยู่ในสถานะ Logic 1 อีกครั้ง จะเป็นการบ่งบอกว่าชุดข้อมูลที่ได้ทำการส่งนั้นจบลงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

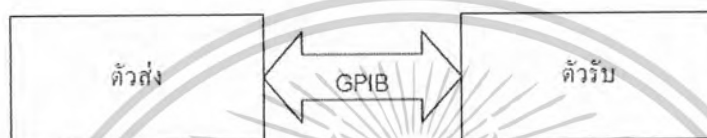


รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของสัญญาณในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

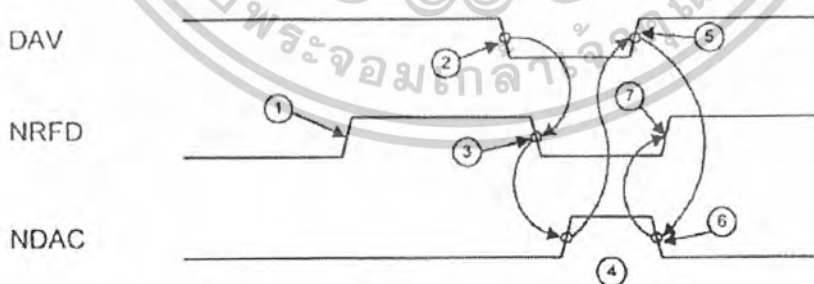
2.3 ขบวนการแฮนด์เช็ก (Handshake Procedure)

ในการสื่อสารระหว่างภายในระบบ GPIB นั้นจะเป็นการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส คือเมื่อมีการรับส่งข้อมูลระหว่างตัวส่งและตัวรับ ตัวส่งจะต้องแจ้งให้ตัวรับทราบในตัวส่งได้ส่งข้อมูลลงไปในบัสแล้ว และให้ตัวรับทำการเก็บข้อมูลได้ เมื่อตัวรับทำการเก็บข้อมูลเสร็จแล้ว ก็จะต้องแจ้งแก่ตัวส่งให้ทราบว่า ได้รับข้อมูลที่ส่งมาเรียบร้อยแล้ว เพื่อที่ตัวส่งจะได้ทำการหยุดส่งข้อมูลหรือทำการส่งข้อมูลชุดใหม่ลงไปในบัส กระบวนการเหล่านี้จะเกิดทุกครั้งที่มีการรับส่งข้อมูลในระบบ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ถูกเรียกว่า ขบวนการแฮนด์เช็ก (Handshake Procedure)



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของระบบ

ในการพิจารณาถึงขบวนการแฮนด์เช็คนั้น จะทำการพิจารณาถึงระบบที่ไม่ซับซ้อนเพื่อที่จะทำความเข้าใจได้โดยง่าย โดยกำหนดให้ในระบบมีตัวส่งและตัวรับอย่างละหนึ่งตัว ดังภาพที่ 2.4 ในการสื่อสารระหว่างตัวส่งและตัวรับนั้น จะมีสายสัญญาณควบคุมการรับส่งข้อมูลอยู่ 3 สัญญาณ คือ NRFD, NDAC, DAV โดยสัญญาณ DAV จะเป็นสัญญาณที่ถูกควบคุมโดยตัวส่ง ส่วนสัญญาณ NRFD, NDAC นั้นเป็นสัญญาณที่จะชี้ให้เห็นว่าตัวรับพร้อมที่จะรับข้อมูลที่ส่งลงมาจากบัสของระบบหรือไม่ สำหรับขั้นตอนของขบวนการแฮนด์เช็กสามารถแสดงได้ดังในภาพที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงแผนผังเวลาของขบวนการแฮนด์เช็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

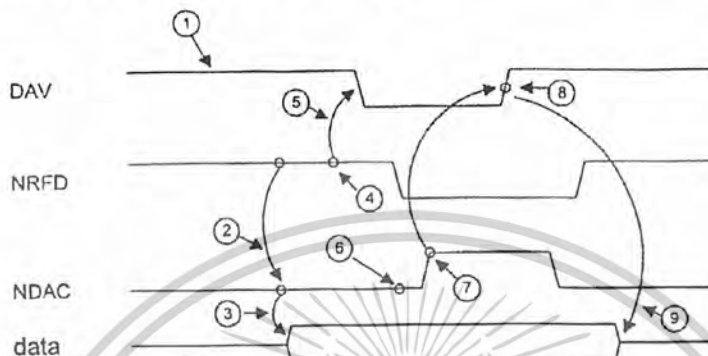
ขบวนการแฮนด์เช็กจะเริ่มขึ้นหลังจากที่ตัวควบคุมทำการบอกให้ระบบทราบว่าคุณสมบัติตัวไหนทำหน้าที่เป็นตัวรับหรือตัวส่ง เมื่อตัวรับทราบแล้วก็จะส่งสัญญาณ NRFD ให้เป็น High (สถานะที่ 1) เพื่อบอกให้ตัวส่งทราบว่าตัวรับพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว และตัวส่งก็จะทำการส่งข้อมูลลงไปในบัสข้อมูล DIO1-DIO8 และจะทำการรออยู่ช่วงหนึ่งแล้วตัวส่งส่งสัญญาณ DAV ให้เป็น Low เพื่อแจ้งให้ทราบว่าขณะนี้ตัวส่งได้ข้อมูลลงบนบัสข้อมูลแล้ว (สถานะที่ 2) เมื่อตัวรับทราบว่าข้อมูลอยู่บนบัสข้อมูลก็จะส่งสัญญาณ NRFD ให้มีค่าเป็น Low เมื่อตัวรับพร้อมที่จะรับข้อมูล (สถานะที่ 3) หลังจากตัวรับได้รับข้อมูลไปเก็บไว้ในบัฟเฟอร์เรียบร้อยแล้วก็จะส่งสัญญาณ NDAV ให้มีค่าเป็น High เพื่อแจ้งให้ทราบว่าตัวรับได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว (สถานะที่ 4) เมื่อตัวส่งได้รับสัญญาณ NDAC ที่เป็น High ตัวส่งก็จะทำการส่งสัญญาณ DAV ให้เป็น High เพื่อแจ้งให้ตัวรับไม่ต้องทำการเก็บข้อมูลนั้นอีก (สถานะที่ 5) เมื่อตัวรับได้รับสัญญาณ DAV ที่มีค่าเป็น High ก็จะส่งสัญญาณ NDAC ให้เป็น Low (สถานะที่ 6) ทำให้ข้อมูลในบัสถูกกำจัดออกไป หลังจากนั้นตัวรับก็จะส่งสัญญาณ NRFD ให้เป็น High (สถานะที่ 7) เพื่อบอกให้ทราบว่าตัวรับนั้นพร้อมที่จะรับข้อมูลชุดต่อไปที่จะถูกส่งเข้ามาในบัส เป็นอันเสร็จสิ้นขบวนการแฮนด์เช็ก

- ขบวนการแฮนด์เช็กเมื่อใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมและตัวส่ง

ขบวนการแฮนด์เช็กเมื่อใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมและตัวส่งสามารถแสดงด้วยแผนผังเวลา ดังภาพที่ 2.6 ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการเข้าใจในขั้นตอนการส่งข้อมูล โดยขบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นหลังจากการกำหนดอุปกรณ์ในระบบแล้ว

ขบวนการแฮนด์เช็กจะเริ่มขึ้น เมื่อตัวควบคุมส่งสัญญาณ DAV ให้เป็น High (สถานะที่ 1) ซึ่งตัวควบคุมได้เซทให้สัญญาณ DAV ให้มีค่าเป็น High อยู่ก่อนแล้ว หลังจากนั้นตัวควบคุมจะทำการตรวจสอบสัญญาณ NRFD และ NDAC ว่ามีค่าเป็น High ทั้งคู่หรือไม่ (สถานะที่ 2) ถ้าสัญญาณทั้งสองเป็น High ทั้งคู่ แสดงว่าอุปกรณ์ไม่พร้อมที่จะทำงาน ขบวนการแฮนด์เช็กก็จะถูกยกเลิกไป แต่ถ้าที่สถานะที่ 2 หากสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งเป็น Low ตัวควบคุมจะทำการส่งข้อมูลลงในบัสข้อมูล (สถานะที่ 3) หลังจากนั้นตัวควบคุมจะทำการตรวจสอบสัญญาณ NRFD ว่าเป็น High หรือไม่ (สถานะที่ 4) ถ้าสัญญาณ NRFD เป็น High ตัวควบคุมก็จะส่งสัญญาณ DAV ให้มีค่าเป็น Low เพื่อบอกให้ตัวรับทราบว่าข้อมูลอยู่ในบัสข้อมูล (สถานะที่ 5) แต่ถ้าที่สถานะที่ 4 สัญญาณ NRFD มีค่าเป็น Low แสดงว่าขบวนการแฮนด์เช็กเกิดความผิดพลาดขึ้น จะต้องทำการเริ่มต้นใหม่ จากสถานะที่ 5 ตัวควบคุมจะรอเวลาให้ตัวรับทำการเก็บข้อมูล เมื่อถึงเวลาที่กำหนดตัวควบคุมจะทำการตรวจสอบสัญญาณว่าสัญญาณ NDAC ถูกเปลี่ยนให้เป็น High ในเวลาที่กำหนดหรือไม่ (สถานะที่ 6) ถ้าตัวรับไม่ได้รับข้อมูลในเวลา

กำหนดขบวนการแฮนด์เช็กที่จะถูกยกเลิก แต่ถ้าตัวรับได้รับข้อมูลภายในเวลาที่กำหนดตัวรับจะทำการเปลี่ยนสัญญาณ NDAV ให้เป็น High (สถานะที่ 7) ตัวควบคุมก็จะทำการตอบสนองโดยการเปลี่ยนสัญญาณ DAV ให้เป็น High (สถานะที่ 8) และตัวควบคุมก็จะทำการลบข้อมูลที่อยู่ในบัตช์ข้อมูลออกไป (สถานะที่ 9) เป็นการเสร็จสิ้นขบวนการแฮนด์เช็กดังกล่าว

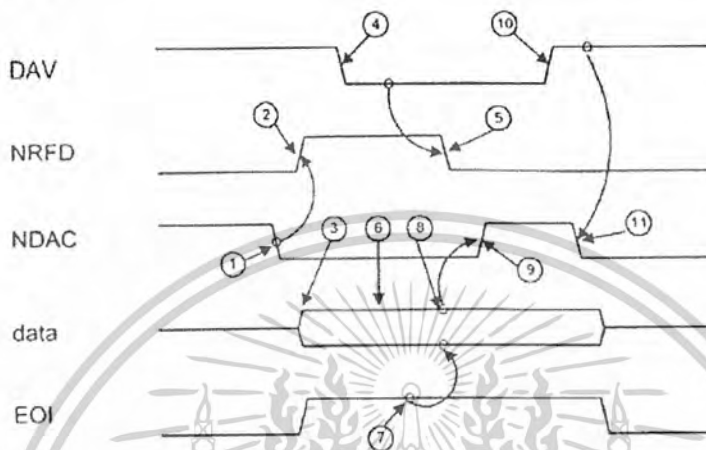


รูปที่ 2.6 แสดงขบวนการแฮนด์เช็กเมื่อใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมและตัวส่ง

- ขบวนการแฮนด์เช็กเมื่อใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมและตัวรับ

ขบวนการแฮนด์เช็กเริ่มขึ้นโดยตัวควบคุมรับรู้ว่าตัวส่งจะทำการส่งข้อมูล ตัวควบคุมจะส่งสัญญาณ NDAV ให้มีค่าเป็น Low เพื่อบอกให้ทราบที่ตัวควบคุมยังไม่ได้รับข้อมูล (สถานะที่ 1) ต่อจากนั้นตัวควบคุมจะส่งสัญญาณ NRFD ให้เป็น High เพื่อบอกให้ตัวส่งทราบว่าตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว (สถานะที่ 2) ตัวส่งจะทราบได้ทันทีว่าขณะนี้สามารถที่จะส่งข้อมูลลงบนบัตช์ข้อมูลได้แล้ว (สถานะที่ 3) จากการที่สัญญาณ NRFD มีลอจิกเป็น High และสัญญาณ NDAC มีลอจิกเป็น Low ขึ้นต่อไปตัวควบคุมจะทำการรอเวลาให้ตัวส่งทำการส่งข้อมูลลงบนบัตช์ข้อมูลให้เสร็จ และจะทำการตรวจสอบด้วยว่าเกินเวลาที่กำหนดหรือไม่ หากเกินเวลาที่กำหนดก็จะทำการออกจากขบวนการแฮนด์เช็ก หากยังไม่เกินก็จะรอนหมดเวลาหรือจนกว่าสัญญาณ DAV จะเป็น Low (สถานะที่ 4) เมื่อสัญญาณ DAV มีลอจิกเป็น Low ตัวควบคุมก็จะตอบรับโดยการทำให้สัญญาณ NRFD มีค่าเป็น Low (สถานะที่ 5) เพื่อบอกให้ตัวส่งทราบว่าตัวควบคุมพร้อมที่จะเริ่มทำการเก็บข้อมูลแล้ว (สถานะที่ 6) หลังจากนั้นตัวควบคุมจะทำการตรวจสอบสัญญาณ EOI ว่าข้อมูลที่ตัวส่งทำการส่งมานั้นหมดหรือยัง โดยตัวส่งจะทำการเปลี่ยน สัญญาณ EOI ให้มีลอจิกเป็น Low เมื่อข้อมูลไบต์สุดท้ายถูกส่งลงไปบนบัตช์ข้อมูล (สถานะที่ 7) หากสัญญาณ EOI ยังเป็น High ตัวควบคุมจะทำการเก็บข้อมูลในบัตช์ข้อมูลต่อไป (สถานะที่ 8) และเมื่อตัวควบคุมได้ทำการเก็บข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ตัวควบคุมจะเปลี่ยนลอจิกของสัญญาณ NDAC ให้เป็น High (สถานะที่ 9) เมื่อตัวควบคุมทำให้สัญญาณ NDAC มีลอจิกเป็น

High แล้ว ตัวส่งจะทำการลบข้อมูลบนบัซออกโดยการเปลี่ยนสัญญาณ DAV ให้มีค่าเป็น High (สถานะที่ 10) ตัวควบคุมก็จะทำการนำข้อมูลที่ได้ออกไปใช้งานและเปลี่ยนสัญญาณ NDAC ให้มีค่าเป็น Low (สถานะที่ 11) เป็นการสิ้นสุดขบวนการแฮนด์เช็ค ขบวนการแฮนด์เช็คแบบนี้สามารถเขียนแทนด้วยแผนผังเวลา ดังภาพที่ 7



รูปที่ 2.7 แสดงขบวนการแฮนด์เช็คเมื่อใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมและตัวรับ

2.4 คำสั่งใช้งานของ IEEE-488 (GPIB)

การควบคุมและกำหนดฟังก์ชันการทำงานให้แก่อุปกรณ์เครื่องมือวัดในระบบ GPIB นั้นตัวควบคุมจะเป็นตัวกำหนด โดยการส่งรหัสคำสั่งไปยังตัวอุปกรณ์โดยผ่านทางบัซของระบบ คำสั่งสำหรับการกำหนดการทำงานต่างๆ ตามมาตรฐานของ IEEE-488 มีอยู่ 128 คำสั่ง แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคำสั่งใหญ่ๆ คือ กลุ่มคำสั่งหลัก (Primary Command Group) และกลุ่มคำสั่งรอง (Secondary Command Group) โดยกลุ่มคำสั่งหลักประกอบด้วย 4 กลุ่มคำสั่ง คือ กลุ่มคำสั่งเจาะจงจุดหมาย (Addressed Command Group), กลุ่มคำสั่งครอบคลุม (Universal Command Group), กลุ่มคำสั่งกำหนดอุปกรณ์ตัวรับ (Listen Address Group) และกลุ่มคำสั่งกำหนดอุปกรณ์ตัวส่ง (Talk Addressed Group) ดังแสดงในตารางที่ 1 รหัสที่ใช้ในระบบ IEEE-488 นั้นสามารถที่จะใช้ร่วมกันได้ทั้งรหัสข้อมูลและรหัสคำสั่ง นั่นคือ ข้อมูลที่เหมือนกันมีความหมายได้ 2 อย่าง คือ เมื่อสัญญาณ ATN เป็น Low ข้อมูลที่อยู่ในบัซข้อมูลจะหมายถึงรหัสคำสั่ง แต่ถ้าสัญญาณ ATN เป็น High ข้อมูลที่อยู่ในบัซข้อมูลจะหมายถึงข้อมูลที่ เป็นรหัส ASCII ดังแสดงในตารางที่ 1 เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กลุ่มคำสั่งเจาะจงจุดมุ่งหมาย (Address Command Group)

เป็นคำสั่งที่ส่งไปยังอุปกรณ์ที่เป็นตัวส่งหรือตัวรับที่กำหนดไว้ล่วงหน้าแล้ว ประกอบด้วย GTL (Go To Local) สั่งให้อุปกรณ์กลับไปสู่สถานะควบคุมด้วยปุ่มปรับที่หน้าปัทม์ตามปกติ SDC (Selected Device Clear) สั่งให้อุปกรณ์กลับไปสู่สถานะเริ่มต้น PPC (Parallel Poll Configure) เป็นคำสั่งสำหรับการจัดสรรสายสัญญาณของการกระทำกระบวนการตรวจสอบสภาพอุปกรณ์โดยวิธีขนาน โดยใช้ งาน ร่วมกับกลุ่มคำสั่งรอง GET (Group Execute Trigger) ใช้สั่งเริ่มต้นการทำงานของอุปกรณ์ที่ละ หลายๆ ตัว TCT (Take Control) กำหนดให้อุปกรณ์ตัวส่งทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม

2. กลุ่มคำสั่งครอบคลุม (Universal Command Group)

เป็นคำสั่งที่ส่งไปยังอุปกรณ์ทุกตัวที่อยู่ในระบบ ประกอบด้วย LLO (Local Lockout) สั่งให้อุปกรณ์ลือคอยู่ในสถานะควบคุมด้วยปุ่มหน้าปัทม์ตามปกติ DCL (Device Clear) สั่งให้อุปกรณ์ทุกตัวกลับไปสู่สถานะเริ่มต้น PPU (Parallel Poll Configure) ใช้ยกเลิกกระบวนการตรวจสอบสภาพแบบขนานทั้งหมด SPE (Serail Poll Enable) เป็นการเปลี่ยนโหมดการตรวจสอบสภาพเป็นแบบอนุกรม โดยในโหมดนี้จะเป็นการส่งสถานะของเครื่องแทนการส่งข้อมูล SPD (Serail Poll Disable) ยกเลิกกระบวนการตรวจสอบสภาพแบบอนุกรม

3. กลุ่มคำสั่งกำหนดอุปกรณ์ตัวรับ (Listen Address Group)

เป็นคำสั่งสำหรับกำหนดอุปกรณ์เป็นตัวรับตามรหัสหมายเลข 0 ถึง 30 และมีคำสั่ง UNL (Unlistener) สำหรับใช้ยกเลิกเช่นกัน

4. กลุ่มคำสั่งกำหนดอุปกรณ์ตัวส่ง (Talk Address Group)

ใช้คำสั่งที่กำหนดอุปกรณ์เป็นตัวส่งตามรหัสหมายเลข 0 ถึง 30 และมีคำสั่ง UNT (Untalker) ใช้สำหรับยกเลิกเช่นกัน

5. กลุ่มคำสั่งรอง (Secondary Command Group)

เป็นคำสั่งที่กำหนดรายละเอียดย่อยของอุปกรณ์แต่ละตัวที่อยู่ในระบบ ให้มีการทำงานตามจุดประสงค์การใช้งานของอุปกรณ์นั้น คำสั่งรองนี้จะใช้ตามหลังคำสั่งหลัก คือ จะใช้หลังจากที่อุปกรณ์ต่างๆ ถูกกำหนดไว้ในระบบเรียบร้อยแล้ว

key: ASCII character
 octal 25 PPU GPIB code
 hex 15 NAK 21 decimal

ASCII & IEEE (GPIB) CODE CHART

B7 B6 B5 BITS	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
B4 B3 B2 B1	CONTROL		NUMBERS SYMBOLS		UPPER CASE		LOWER CASE	
0 0 0 0	0 NUL	20 DLE	40 SP	60 0	100 TA 0	120 P	140 SA 0	160 SA 10
0 0 0 1	1 SOH	21 DC1	41 !	61 1	101 TA 1	121 Q	141 SA 1	161 SA 11
0 0 1 0	2 STX	22 DC2	42 -	62 2	102 TA 2	122 R	142 SA 2	162 SA 12
0 0 1 1	3 ETX	23 DC3	43 .	63 3	103 TA 3	123 S	143 SA 3	163 SA 13
0 1 0 0	4 EOT	24 DC4	44 \$	64 4	104 TA 4	124 T	144 SA 4	164 SA 14
0 1 0 1	5 ENQ	25 NAK	45 %	65 5	105 TA 5	125 U	145 SA 5	165 SA 15
0 1 1 0	6 ACK	26 SYN	46 &	66 6	106 TA 6	126 V	146 SA 6	166 SA 16
0 1 1 1	7 BEL	27 ETE	47 LA 7	67 7	107 TA 7	127 W	147 SA 7	167 SA 17
1 0 0 0	8 BS	28 CAN	48 8	68 8	110 TA 8	130 X	150 SA 8	170 SA 18
1 0 0 1	9 HT	29 EM	49 I	69 9	111 TA 9	131 Y	151 SA 9	171 SA 19
1 0 1 0	A LF	1A SUB	4A *	6A :	112 TA 10	132 Z	152 SA 10	172 SA 20
1 0 1 1	B VT	1B ESC	4B +	6B ;	113 TA 11	133 [	153 SA 11	173 SA 21
1 1 0 0	C FF	1C FS	4C .	6C <	114 TA 12	134 \	154 SA 12	174 SA 22
1 1 0 1	D CR	1D GS	4D -	6D =	115 TA 13	135]	155 SA 13	175 SA 23
1 1 1 0	E SO	1E RS	4E .	6E >	116 TA 14	136 ^	156 SA 14	176 SA 24
1 1 1 1	F SI	1F US	4F /	6F ?	117 TA 15	137 _	157 SA 15	177 SA 25
	ADDRESSED COMMANDS	UNIVERSAL COMMANDS	LISTEN ADDRESSES		TALK ADDRESSES		SECONDARY ADDRESSES OR COMMANDS	

ตารางที่ 1 แสดงคำสั่งมาตรฐาน IEEE-488 และรหัส ASCII

คำสั่งต่างๆ ซึ่งใช้ในการกำหนดสถานะการทำงานของอุปกรณ์แต่ละสถานะจะถูกกำหนดและมีจุดประสงค์ดังนี้ คือ

Device Clear ทำให้อุปกรณ์กลับคืนสู่สถานะเริ่มต้น ซึ่งเป็นสถานะที่ยังไม่มีการกำหนดฟังก์ชันใดๆ สถานะเริ่มต้นนี้จะแตกต่างกันไป แล้วแต่ว่าอุปกรณ์นั้นได้ออกแบบมาไว้อย่างไร Device Clear แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

DCL (Device Clear) ทำการเคลียร์อุปกรณ์ทุกตัวที่ต่ออยู่

SDC (Select Device Clear) ทำการเคลียร์เฉพาะเจาะจงอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่ง

แต่ว่าในการเคลียร์อุปกรณ์ให้อยู่ในสถานะเริ่มต้น ไม่ได้หมายความว่าอินเตอร์เฟซฟังก์ชันของระบบ GPIB จะถูกเคลียร์ให้กลับไปสู่สถานะเริ่มต้นด้วย เป็นเพียงแค่การเคลียร์ตัวอุปกรณ์เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Interface Clear จะใช้ในการเคลียร์สภาพการอินเตอร์เฟซให้อยู่ในสภาวะเริ่มต้น ซึ่งจะทำการฟังก์ชันถูกยกเลิกไป ยกเว้น SR (Service Request), RL (Remote/Local) และ PP (Parallel Poll)

Remote เป็นการกำหนดให้อุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบถูกรับควบคุมโดยอุปกรณ์ตัวอื่นหรือตัวควบคุมระบบ ทำให้ไม่สามารถที่จะควบคุมอุปกรณ์จากปุ่มหน้าปัดของเครื่องได้ Local เป็นการกำหนดให้อุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบสามารถควบคุมได้จากปุ่มหน้าปัดของอุปกรณ์ตามปกติ

- การทำงานของ GPIB ในสถานะ Remote และ Local มี 4 ลักษณะ คือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. **LOCS** เป็นโหมด local ที่อยู่ในสภาพการควบคุมจากหน้าปัทม์ตามปกติ ซึ่งอุปกรณ์จะอยู่ในสถานะนี้เมื่อเริ่มเปิดสวิทช์ของอุปกรณ์ หรือสัญญาณ REN มีลอจิกเป็น High หรือเมื่ออุปกรณ์ได้รับคำสั่ง GTL (Go to Local)

2. **REMS** เป็นโหมด Remote หมายถึงการตัดการควบคุมอุปกรณ์ออกจากการควบคุมด้วยปุ่มหน้าปัทม์ โดยถูกควบคุมจากอุปกรณ์ตัวอื่นที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม สถานะการ Remote จะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณ REN (Remote Enable) มีลอจิกเป็น Low และจะถูกถือคไว้ที่สถานะนี้จนกว่าสวิทช์ Local ที่ตัวอุปกรณ์จะถูกกดเพื่อที่จะทำให้อุปกรณ์กลับสู่สถานะ Local

3. **RWLS** เป็นสถานะการ Remote ที่ถูกถือคไว้เช่นกัน แต่จะตัดการควบคุมของสวิทช์ Local ที่ตัวอุปกรณ์ออกไป สถานะการ Remote แบบ RWLS นี้มีความสำคัญสูงกว่าสถานะการ Remote แบบ REMS และสามารถที่จะยกเลิกสถานะดังกล่าวนี้ด้วยคำสั่ง LLO (Local Lock Out)

4. **LWLS** มีสถานะเช่นเดียวกับ Local แต่ต่างกันที่สถานะ LWLS นี้ เมื่อได้รับคำสั่งกำหนดให้เป็นอุปกรณ์ตัวรับ ก็จะทำการเปลี่ยนไปในสถานะการ Remote แบบที่ถูกถือคทันที การจะเข้าสู่สถานะแบบ LWLS มีอยู่ 2 วิธี คือ

- เมื่ออยู่ในสถานะ Local แบบธรรมดา (LOCS) แล้วได้รับคำสั่ง LLO (Local Lock Out)
- เมื่ออยู่ในสถานะ REMS แล้วได้รับคำสั่ง GTL

การเปลี่ยนแปลงสถานะของการ Remote หรือ Local ทั้ง 4 ลักษณะแสดงดังภาพที่ 8 เมื่อสัญญาณ REN มีลอจิกเป็น High อุปกรณ์ก็จะอยู่ในสถานะ Local ทันทีไม่ว่าสถานะเดิมจะเป็นอย่างไรก็ตาม แต่เมื่อสัญญาณ REN เป็น Low แล้ว หากไม่มีคำสั่งกำหนดอุปกรณ์ตัวรับ หรือ คำสั่ง LLO เข้ามา อุปกรณ์ก็ยังสถานะ Local อยู่เช่นเดิม

บทที่ 3

คำสั่งในการควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือวัด

ในการควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆผ่านระบบบัส IEEE-488 นั้น จำเป็นจะต้องทราบถึงคำสั่งใช้งานของอุปกรณ์แต่ละตัว ซึ่งคำสั่งเหล่านี้ก็จะแตกต่างกันไปตามแต่ประเภทของอุปกรณ์ รวมถึงบริษัทผู้ผลิต โดยคำสั่งเหล่านี้จะถูกโปรแกรมไว้ในส่วนของโปรแกรมควบคุมที่เขียนขึ้นทางฝั่งคอมพิวเตอร์

ในการสร้าง Switching Power Supply นั้นจะต้องให้มีความเป็นมาตรฐานทั่วไปดังนั้นจึงต้องใช้คำสั่งที่ได้มีการคิดค้นขึ้นมาแล้วและเป็นที่ยอมรับ โดยทั่วไป

สำหรับอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ได้เลือกมาศึกษา คือ

3.1 HAMEG Programmable Power Supply รุ่น HM8142

โดยมีรูปแบบคำสั่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1 HAMEG Programmable Power Supply รุ่น HM8142

เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 1A 2 Channel สามารถควบคุมผ่านระบบบัส IEEE-488 โดยมีคำสั่งตั้งสั่งการดังต่อไปนี้

คำสั่ง : RM1 / RM0

รูปแบบ : RM1

ฟังก์ชัน : สั่งให้ Power Supply ทำงานในโหมดรีโมท โดยไม่สามารถควบคุมผ่านหน้าปัทม์ได้ แต่สามารถควบคุมการทำงานได้โดยผ่านระบบบัสแบบ IEEE-488 เท่านั้น และสามารถออกจากโหมดรีโมทได้โดยคำสั่ง RM0 หรือการกดปุ่ม LOCAL ที่หน้าปัทม์ของเครื่อง

รูปแบบ : RM0

ฟังก์ชัน : ทำการยกเลิกโหมดรีโมท ให้เครื่องกลับสู่สถานะ LOCAL (สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องได้โดยผ่านปุ่มหน้าปัทม์ 1

ข้อสังเกต : คำสั่ง RM 0 จะมีผลต่อคำสั่ง LK 1

คำสั่ง : MX1 / MX0

รูปแบบ : MX1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชัน : เปลี่ยนโหมครีโมทไปเป็นโหมดแบบผสม ในโหมคนี้สามารถที่จะควบคุมการทำงานของเครื่องได้ทั้งโดยการส่งคำสั่งผ่านระบบแบบ IEEE-488 และการควบคุมผ่านทางหน้าปัทม์ของเครื่อง

รูปแบบ : MX0

ฟังก์ชัน : ยกเลิกโหมดแบบผสมและกลับเข้าสู่สถานะปกติที่ควบคุม โดยผ่านระบบบัสแบบ IEEE-488

คำสั่ง : LK1 / LK0

รูปแบบ : LK1

ฟังก์ชัน : ตั้งให้เครื่องเข้าสู่โหมครีโมท โดยไม่สามารถกดปุ่ม LOCAL เพื่อที่จะให้เครื่องกลับสู่โหมค LOCAL ได้

รูปแบบ : LK0

ฟังก์ชัน : ตั้งให้เครื่องออกจากโหมครีโมทที่ไม่สามารถกดปุ่ม LOCAL ทำให้สามารถกดปุ่ม LOCAL เพื่อที่จะสามารถควบคุมการทำงานผ่านหน้าปัทม์ของเครื่องได้

ข้อสังเกต : โหมครีโมทที่ไม่สามารถกดปุ่ม LOCAL นี้สามารถถูกยกเลิกได้โดยคำสั่ง RMO

คำสั่ง : SU1 และ SU2

รูปแบบ : SU1 VV.mV.mV หรือ SU2 01.34

ฟังก์ชัน : ตั้งค่าศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่ายที่ 1 หรือ 2

คำสั่ง : SI1 และ SI2

รูปแบบ : SI1 A.mAmAmA หรือ SI2 0.123

ฟังก์ชัน : ตั้งค่ากระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายที่ 1 หรือ 2 เพื่อจำกัดค่ากระแสไฟฟ้า

คำสั่ง : RU1 และ RU2

รูปแบบ : RU1 หรือ RU2

ฟังก์ชัน : ค่าศักดาไฟฟ้าที่ส่งกลับโดยเครื่อง จะเป็นค่าศักดาไฟฟ้าที่ถูกกำหนดค่าโดยคำสั่งกำหนดค่า (SET)

ข้อสังเกต : ใช้คำสั่ง MUX เพื่อที่จะถามค่ากระแสไฟฟ้าจริงที่วัดได้จากเอาต์พุท

คำสั่ง : RI1 และ RI2

รูปแบบ : RI1 หรือ RI2

ค่าที่ส่งกลับ : I1_1.000A หรือ I2_0.012A

ฟังก์ชัน : ค่ากระแสไฟฟ้าที่ส่งกลับ โดยเครื่อง จะเป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ถูกกำหนดค่าโดยคำสั่ง

จำกัดค่ากระแสไฟฟ้า (SI1 หรือ SI2)

ข้อสังเกต : ใช้คำสั่ง MIX เพื่อถามค่ากระแสไฟฟ้าจริงที่วัดได้จากเอาต์พุตจริง

คำสั่ง : MU1 และ MU2

รูปแบบ : MU1 หรือ MU2

ค่าที่ส่งกลับ : U1:12.34V หรือ U2:12.24V

ฟังก์ชัน : ค่าศักดาไฟฟ้าที่ส่งกลับ โดยเครื่อง ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จากเอาต์พุตจริง

ข้อสังเกต : คำสั่ง RUX ใช้เพื่อถามค่าศักดาไฟฟ้าที่ทำการกำหนด

คำสั่ง : MI1 และ MI2

รูปแบบ : MI1 หรือ MI2

ค่าที่ส่งกลับ : I1= +1.000A หรือ I2= -0.123A

ฟังก์ชัน : ค่ากระแสไฟฟ้าที่ส่งกลับ โดยเครื่อง เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้

ข้อสังเกต : คำสั่ง RIX ใช้เพื่อถามถึงค่ากระแสไฟฟ้าที่จำกัดเอาไว้ ถ้าเอาต์พุตถูกปิดไว้ ค่าที่ส่งกลับ

จะเป็น I1= _1.000A

คำสั่ง : TRU

รูปแบบ : TRU

ฟังก์ชัน : กำหนดค่าศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่ายตัวที่ 1 และ 2 ให้มีค่าเท่ากันตามต้องการ

คำสั่ง : TRI

รูปแบบ : TRI

ฟังก์ชัน : กำหนดค่ากระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายตัวที่ 1 และ 2 ให้มีค่าเท่ากันตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่ง : SR1 และ SR0

รูปแบบ : SR1

ฟังก์ชัน : ทำการ enable โหมด service request โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในสถานะของอุปกรณ์ที่จะมีผลต่อสัญญาณ SRQ (service request)

รูปแบบ : SR0

ฟังก์ชัน : ทำการยกเลิกโหมด Service request

คำสั่ง : STA

รูปแบบ : STA

ค่าที่ส่งกลับ : OP1/0SR1/0ER0/1CV1/CC1/CV2/CC2/RM0/1

OP0 สวิตช์เอาท์พุทปิด

OP1 สวิตช์เอาท์พุทเปิด

SQ1 แสดงสถานะของอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลง (CV ไปเป็น CC หรือ OP1 ไปเป็น OP0 เป็นต้น)
(จะทำงานเฉพาะเมื่อ SRQ นั้น enable หรือมีค่าเป็น 1 , ดูคำสั่ง SR1)

SQ2 เมื่อสัญญาณ service request (SRQ) ถูกทำให้ enable แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของเครื่องมือ

ER0 ไม่มีความผิดพลาด

ER1 ความร้อนสูงเกิน

CV1 แหล่งจ่ายตัวที่ 1 ทำการจ่ายศักดาไฟฟ้าคงที่

CC1 แหล่งจ่ายตัวที่ 1 ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่

CV2 แหล่งจ่ายตัวที่ 2 ทำการจ่ายศักดาไฟฟ้าคงที่

CC2 แหล่งจ่ายตัวที่ 2 ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่

RM1 อุปกรณ์อยู่ในโหมดรีโหมด

RM0 อุปกรณ์ไม่อยู่ในโหมดรีโหมด

ฟังก์ชัน : สั่งให้เครื่องส่งค่าสตรีมที่เก็บสถานะปัจจุบันของเครื่องมาให้

คำสั่ง: OP1 และ OP0

รูปแบบ : OP1

ฟังก์ชัน : สวิตช์เอาท์พุทเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบ : OP0

ฟังก์ชัน : สวิตช์เอาต์พุตปิด

คำสั่ง : CLR (clear)

รูปแบบ : CLR

ฟังก์ชัน : ยกเลิกฟังก์ชันทั้งหมดของเครื่อง และทำการเริ่มต้นใหม่ที่สถานะศูนย์ (zero state)

ในโหมดครีโมท คีย์บอร์ดไม่สามารถใช้งานได้และสวิตช์เอาต์พุตปิด รวมทั้งสวิตช์ไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้าจะถูกตั้งค่าให้เป็นศูนย์

คำสั่ง : VER

รูปแบบ : VER

ค่าที่ส่งกลับ : sw Vx.xhw Vx.xxxxxxx HAMEG/Paris KRP&VM

ฟังก์ชัน : แสดงเวอร์ชันของซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ของเครื่อง

คำสั่ง : ID?

รูปแบบ : ID?

ค่าที่ส่งกลับ : HM8142-1

ฟังก์ชัน : แสดงถึงชื่อรุ่นของเครื่อง

3.2 Switching Power Supply ที่ทำการสร้างขึ้น

เพื่อให้เป็นมาตรฐาน IEEE-488 เหมือนกัน ดังนั้นเราจึงได้ทำการเลียนแบบรูปแบบคำสั่งที่เป็นมาตรฐานอยู่แล้วจาก HAMEG Programmable Power Supply รุ่น HM8142 แต่ในที่นี้เราจะใช้เพียงคำสั่งเดียวคือ

คำสั่ง : SU1

รูปแบบ : SU1 VV.mV.mV ตัวอย่าง SU1 01.34

ใช้ในการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบส่วนการอินเตอร์เฟสของระบบ

4.1 องค์ประกอบของระบบ

ภายในระบบควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือวัดนั้น ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนได้แก่

- โปรแกรมสั่งการทางคอมพิวเตอร์
- ส่วนการอินเตอร์เฟสของระบบ
- ส่วนของอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ต้องการควบคุม



รูปที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบโดยรวมของระบบ

4.2 หน้าทีของส่วนการอินเตอร์เฟสของระบบ

ในส่วนนี้ถือได้ว่าเป็นหัวใจของระบบ ซึ่งทำหน้าที่เสมือนตัวแปลภาษาระหว่างระบบบัส GPIB ไปยัง USB และ RS-232 ซึ่งหน้าที่หลักของส่วนการอินเตอร์เฟสก็คือจัดเรียงข้อมูลให้ถูกต้องตามมาตรฐานของแต่ละพอร์ต โดยในที่นี้นั้นได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 มาทำหน้าที่ในจัดเรียงข้อมูลเพื่ออินเตอร์เฟสไปยังระบบบัส GPIB โดยการส่งข้อมูลระหว่างระบบบัส GPIB และไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจำเป็นจะต้องกระทำให้ถูกต้องตามมาตรฐานของ GPIB สำหรับในส่วนข้อมูลที่จะติดต่อไปยังคอมพิวเตอร์นั้น ข้อมูลจะถูกสร้างขึ้นใหม่โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่งออกไปในรูปแบบข้อมูลอนุกรม ซึ่งข้อมูลที่ได้มานี้จะถูกนำไปเปลี่ยนแปลงรูปแบบในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ตามที่ต้องการ

4.3 ขบวนการติดต่อไปยังอุปกรณ์เครื่องมือวัด

ในการเชื่อมต่อระบบไปยังอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่าง ๆ นั้น เนื่องจากอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ต่อรวมอยู่ภายในระบบนั้นล้วนแล้วแต่ใช้สายส่งข้อมูล (Data) ชุดเดียวกัน ดังนั้นในช่วงเวลาหนึ่งจะมีอุปกรณ์ที่ได้รับอนุญาตให้รับหรือส่งข้อมูลเพียงอุปกรณ์เดียวเท่านั้น ดังนั้นส่วนที่จะทำหน้าที่ในการระบุอุปกรณ์ที่ได้รับอนุญาตก็คือ Address นั้นเอง ซึ่งในการระบุ Address นั้นจะเป็นจะต้องกระทำก่อนการรับหรือส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ใดๆ โดยลำดับขั้นตอนของการระบุ Address นั้นเป็นไปตามลำดับขั้นตอนดังนี้ ในขั้นแรกนั้นสัญญาณที่มีความสำคัญในการกำหนดรูปแบบของข้อมูลที่ส่งการออกไปนั้นคือสัญญาณ ATN ซึ่งจะมีความสำคัญต่อระบบดังต่อไปนี้

- ในขณะทีสัญญาณ ATN เป็น Low

ในขณะที่สัญญาณ ATN เป็น Low นั้นข้อมูลบนบัสข้อมูลของมันนั้นทางอุปกรณ์จะรับรู้ว่ามีข้อมูลเหล่านี้เป็นรหัสคำสั่งมาตรฐานของ GPIB ดังตารางที่ 1 ซึ่งในระหว่างที่ ATN เป็น Low นี้รหัสคำสั่งจะถูกส่งออกไปก็คำสั่งก็ได้

- ในขณะทีสัญญาณ ATN เป็น High

เมื่อสัญญาณ ATN อยู่ในสถานะ High นั้นข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูลจะหมายถึงชุดข้อมูลคำสั่ง ซึ่งชุดข้อมูลนี้นั้นจะแตกต่างกันไปสำหรับอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน โดยการส่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งออกไปทีละตัวอักษร (ตามรหัส ASCII) และถูกควบคุมโดยสัญญาณ EOI เพื่อระบุชุดของคำสั่งนั่นเอง

ในการกำหนดการเริ่มติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างกันนั้นจำเป็นจะต้องระบุ Address ของส่วนที่ทำการติดต่อ โดยในการกำหนดส่วนการเริ่มต้นนี้นั้นจะแบ่งออกได้ 2 กรณีได้แก่ ระหว่างตัวควบคุมกับตัวส่ง หรือตัวควบคุมกับตัวรับ ซึ่งในขณะที่ทางด้านหนึ่งทำหน้าที่เป็นผู้ส่ง อีกด้านหนึ่งก็จะทำหน้าที่เป็นผู้รับนั่นเอง

- ขณะที่ตัวควบคุมติดต่อกับภาคส่ง

ในขณะนี้นั้นตัวควบคุมจะทำหน้าที่เสมือนเป็นทางด้านรับ (Listener) โดยในขณะนี้นั้น ATN จะถูกกำหนดให้เป็น Low เป็นอันดับแรกเพื่อกำหนดให้เข้าสู่โหมดของการตั้งงานคำสั่งมาตรฐานดังแผนผังเวลาในรูปที่ 4.2 ซึ่งในส่วนของการกำหนดค่าคำสั่งต่างๆ นั้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

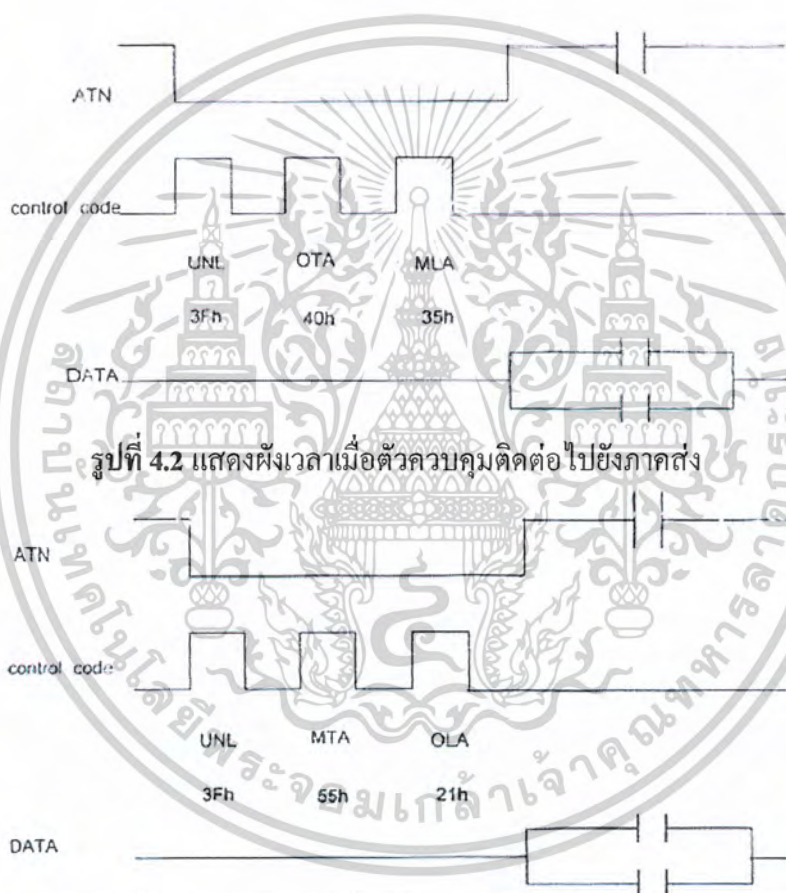
UNL (3Fh) (Unlistener) คำสั่งนี้นั้นเป็นคำสั่งเคลียร์อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับที่ต่อพ่วงอยู่ภายในระบบทุกตัว ซึ่งจะทำให้ไม่มีอุปกรณ์ใดในระบบทำหน้าที่เป็นตัวรับอีก

OTA (40h+Address) (Our Talker Address) ในส่วนนี้นั้นเป็นการแจ้งค่า Address ของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงอยู่บนบัสทุกตัวรับรู้ ซึ่ง Address ของตัวควบคุมนั้นจะเป็น 0 โดยในการส่ง

นั่นจะเป็นการส่งค่า 40h บวกกับค่า Address ของตัวควบคุมไปได้แก่ 0 จึงเป็นการส่งค่า 40h ออกไปนั่นเอง

MLA (20h+Address) (My Listener Address) คำสั่งนี้เป็นการกำหนดค่าของ Address ของอุปกรณ์ตัวส่งซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับกำหนด Address ของตัวควบคุมแต่จะเป็นการส่งค่า 20h บวกกับค่า Address อุปกรณ์ที่ต้องการให้ทำหน้าที่เป็นตัวส่ง ซึ่งในตัวอย่างนี้นั้นได้แก่ 21 (15h) ดังนั้นค่าที่ส่งออกไปจึงเป็น $20h+15h = 35h$ ดังตัวอย่าง

หลังจากที่คำสั่งเหล่านี้ถูกส่งงานแล้ว ตัวควบคุมจะทำการสั่งให้สัญญาณ ATN เป็น High เพื่อที่จะเริ่มทำการรับค่าข้อมูลที่จะส่งมาจากตัวส่งต่อไป



รูปที่ 4.3 แสดงผังเวลาเมื่อตัวควบคุมติดต่อไปยังภาครับ

- ขณะที่ตัวควบคุมติดต่อกับภาครับ

ในขณะที่ตัวควบคุมทำหน้าที่ เป็นภาคส่งเพื่อติดต่อกับภาครับนี้ นั้นจะเป็นไปในลักษณะเดียวกับขณะที่ตัวควบคุมทำหน้าที่เป็นภาครับ โดยการสั่งการจะเริ่มต้นจากการที่กำหนดให้สัญญาณ ATN เป็น Low แล้วจึงเริ่มส่งชุดข้อมูลออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UNL (3Fh) (Unlistener) เป็นคำสั่งยกเลิกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอยู่ทุกตัว เพื่อรอรับคำสั่งใหม่

MTA (40h+Address) (My Talker Address) เป็นคำสั่งที่จะแจ้ง Address ของตัวควบคุมที่จะให้ตัวรับรู้ว่าส่งมาจาก Address ใดโดยค่าในการส่งจะเป็น 40h+Address ของตัวควบคุมอย่างรูปที่ 5.3 นั้น Address ของตัวควบคุมจะเป็น 21 (15h) ดังนั้นค่าที่ส่งไปจึงเป็น $40h+15h = 55h$ ดังรูป

OLA (20h+Address) (Our Listener Address) เป็นคำสั่งที่ใช้กำหนด Address ของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับโดยค่าที่ส่งออกไปจะเป็น 20h+Address อุปกรณ์ตัวรับ ซึ่งดังรูปนั้นอุปกรณ์รับมี Address เป็น 1 ดังนั้นค่าที่ส่งออกไปจึงเป็น 21h นั่นเอง

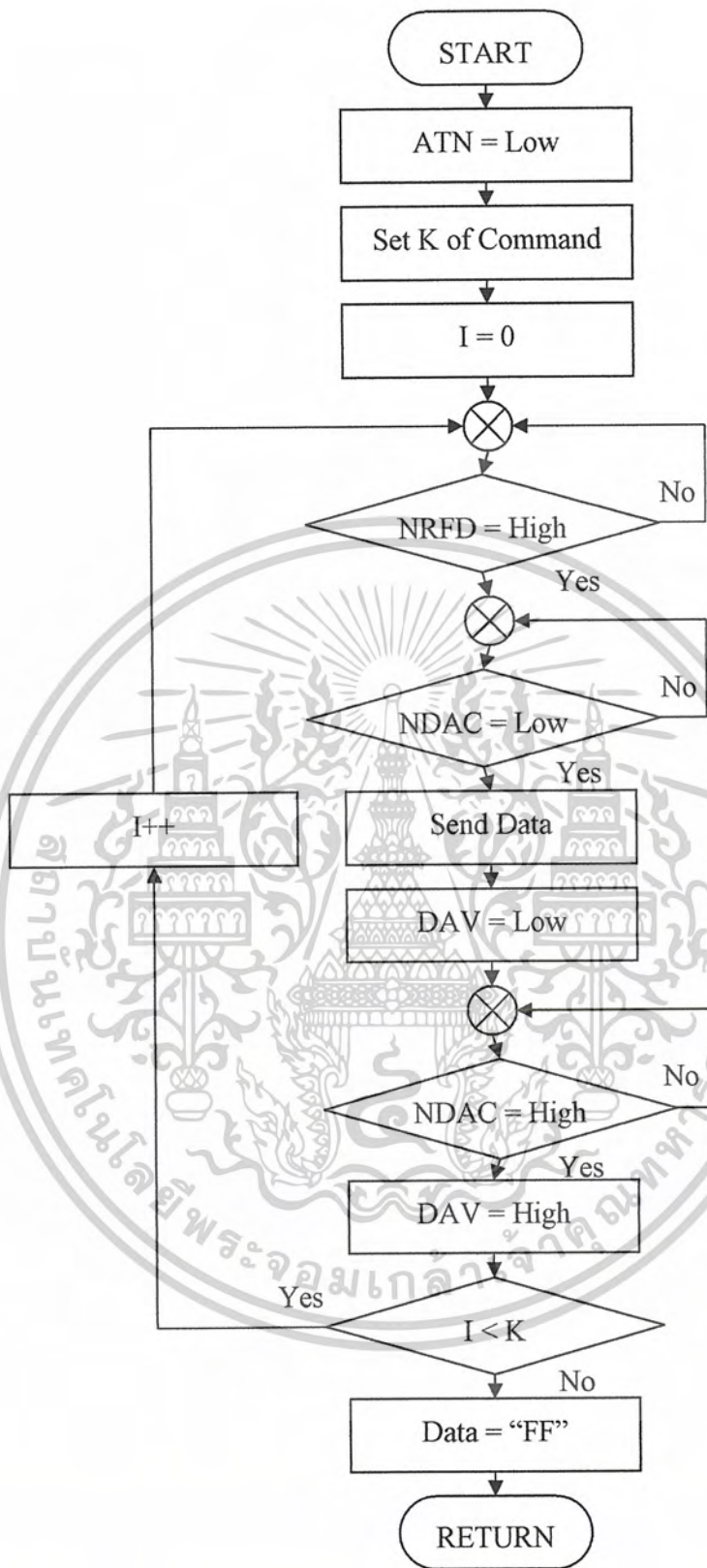
4.4 การออกแบบโปรแกรมขบวนการแฮนด์เช็กในการรับส่งข้อมูล

ในการรับส่งข้อมูลบนระบบบัส GPIB นั้นต้องกระทำให้เป็นไปตามขบวนการแฮนด์เช็กของระบบบัส GPIB (กล่าวไว้โดยละเอียดในบทที่ 2) โดยในการออกแบบให้อยู่ในรูปของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น แสดงดังรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นโฟลว์ชาร์ตแสดงขบวนการแฮนด์เช็กในการส่งรหัสคำสั่งมาตรฐาน และรูปที่ 4.5 เป็นโฟลว์ชาร์ตแสดงขบวนการแฮนด์เช็กในการส่งชุดข้อมูลคำสั่ง

- ขบวนการแฮนด์เช็กในการส่งรหัสคำสั่งมาตรฐาน

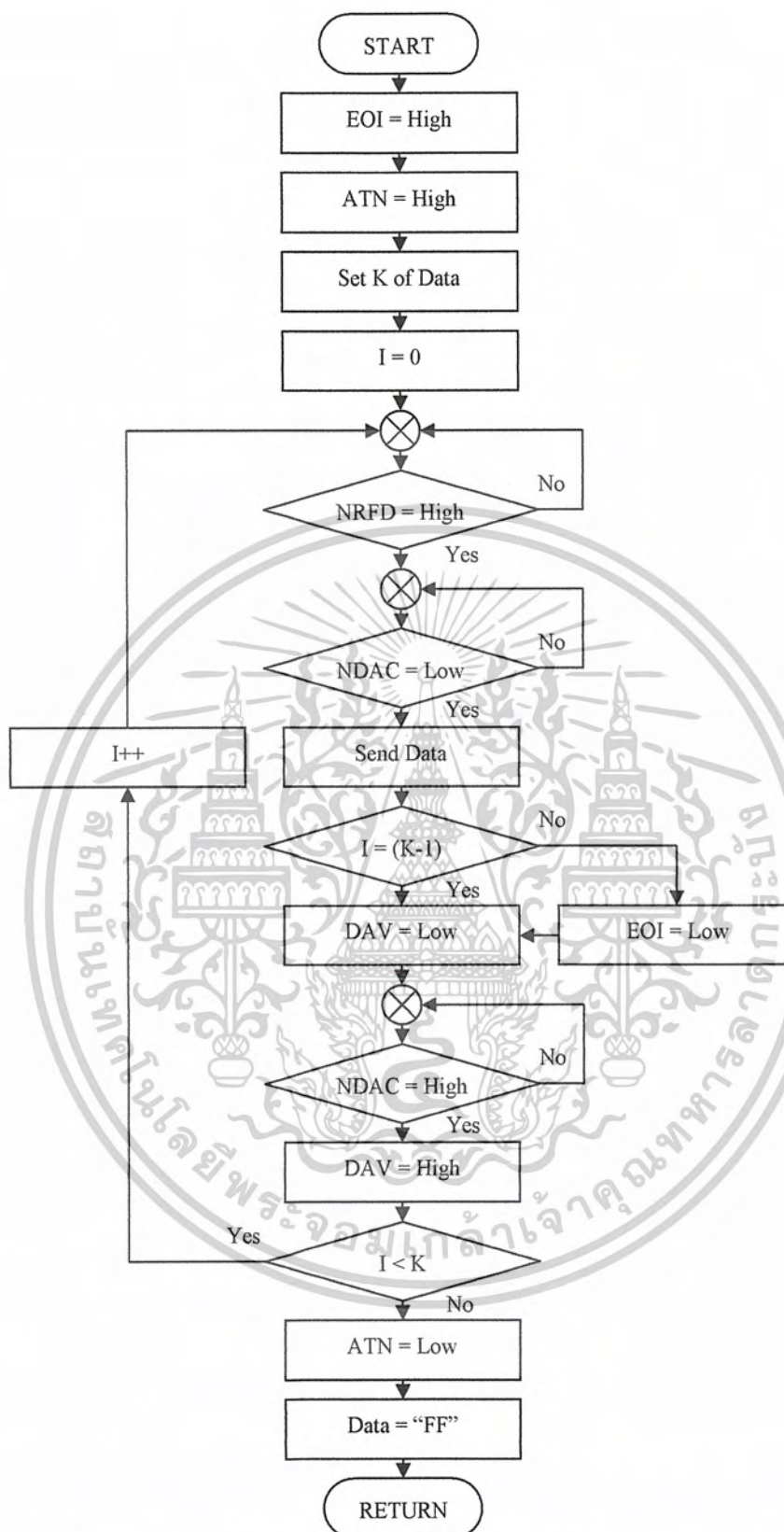
ในขั้นแรกนั้นขั้นแรกนั้นเป็นการกำหนดให้สัญญาณ ATN เป็น Low เพื่อบ่งบอกว่าเป็นการส่งรหัสคำสั่งมาตรฐาน (ในสถานะปรกตินั้นสัญญาณ ATN ก็จะคงอยู่ในสถานะ Output Low) ต่อมาจะเป็นการกำหนดชุดของคำสั่งที่ต้องการจะทำการส่ง โดยเก็บค่าในตัวแปร K และกำหนดตัวแปรนับชุดข้อมูล (I) เป็น 0 หลังจากนั้นจะเริ่มเข้าสู่ขบวนการส่ง โดยตรวจสอบสัญญาณ NRED ว่าเป็น High หรือไม่ และตรวจสอบสัญญาณ NDAC ว่าเป็น Low หรือไม่ เมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขแล้วข้อมูลจะถูกส่งออกไปยังพอร์ต Data (ชุดข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องทำการ Invert ก่อนที่จะทำการส่งไปยังพอร์ต Data) หลังจากนั้นช่วงขณะหนึ่งสัญญาณ DAV จะถูกกำหนดให้เป็น Low เพื่อบ่งบอกไปยังทางภาคส่งว่าข้อมูลได้ถูกส่งออกไปแล้ว หลังจากนั้นทางภาคส่งจะตรวจสอบสัญญาณ NDAC อีกครั้งว่าเป็น High หรือไม่ ซึ่งเป็นการบ่งบอกว่าข้อมูลที่ส่งไปนั้นทางภาครับได้รับข้อมูลแล้ว ทางภาคส่งก็จะกำหนดให้สัญญาณ DAV เป็น High เพื่อเป็นการบ่งบอกการสิ้นสุดของการส่งข้อมูลใน 1 ชุดข้อมูล หลังจากนั้นจะเป็นการตรวจสอบว่าชุดรหัสคำสั่งนั้นสิ้นสุดแล้วหรือไม่ หากยังไม่จบชุดของรหัสก็จะทำการเข้าสู่กระบวนการส่งอีกครั้งเพื่อส่งรหัสคำสั่งที่เหลืออยู่ หลังจากขบวนการส่งจบสิ้นแล้ว ก็จะทำการเคลียร์พอร์ต Data โดยกำหนดข้อมูลให้เป็น FF เป็นอันเสร็จสิ้นขบวนการส่งรหัสคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 โฟล์วชาร์ตแสดงขบวนการแฮนด์เช็คในการส่งรหัสคำสั่งมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 โฟล์วชาร์ตแสดงขบวนการแฮนด์เช็กในการส่งชุดข้อมูลคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขบวนการแฮนด์เช็กในการส่งชุดข้อมูลคำสั่ง

ในส่วนของการส่งชุดข้อมูลคำสั่งนั้นส่วนที่แตกต่างจากการส่งคำสั่งรหัสมาตรฐานคือ การกำหนดสัญญาณ EOI ซึ่งจะเป็นสัญญาณที่กำหนดแต่ละชุดข้อมูลคำสั่งโดยขบวนการส่งนั้นในขการกำหนดสัญญาณ EOI เป็น High เพื่อบ่งบอกถึงการเริ่มต้นของชุดข้อมูล และกำหนดสัญญาณ ATN เป็น High เพื่อบ่งบอกว่าเป็นข้อมูลในรูปแบบชุดข้อมูลคำสั่งหลังจากนั้นจึงกำหนดจำนวนของตัวอักษรที่ต้องการจะส่ง (เช่นคำสั่ง ID? ตัวแปร K จะเท่ากับ 2) และกำหนดตัวแปรนับชุดข้อมูล (I) เป็น 0 หลังจากนั้นหลังจากนั้นจะเริ่มเข้าสู่ขบวนการส่ง โดยตรวจสอบสัญญาณ NRFD ว่าเป็น High หรือไม่ และตรวจสอบสัญญาณ NDAC ว่าเป็น Low หรือไม่ เมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขแล้วข้อมูลจะถูกส่งออกไปยังพอร์ต Data หลังจากนั้นจะเป็นการตรวจสอบข้อมูลว่าเป็นข้อมูลชุดสุดท้ายหรือไม่ซึ่งหากเป็นข้อมูลชุดสุดท้ายสัญญาณ EOI จะถูกกำหนดให้เป็น Low แต่หากยังไม่จบชุดข้อมูลสัญญาณ DAV จะถูกกำหนดให้เป็น Low หลังจากนั้นจะเป็นการหลังจากนั้นทางภาคส่งจะตรวจสอบสัญญาณ NDAC อีกครั้งว่าเป็น High หรือไม่ ซึ่งเป็นการบ่งบอกว่าข้อมูลที่ส่งไปนั้นทางภาครับได้รับข้อมูลแล้ว ทางภาคส่งก็จะกำหนดให้สัญญาณ DAV เป็น High เพื่อเป็นการบ่งบอกการสิ้นสุดของการส่งข้อมูลใน 1 ชุดข้อมูล หลังจากนั้นจะเป็นการตรวจสอบว่าชุดข้อมูลคำสั่งนั้นสิ้นสุดแล้วหรือไม่ หากยังไม่จบชุดข้อมูลคำสั่งก็จะทำการเข้าสู่กระบวนการส่งอีกครั้งเพื่อส่งรหัสคำสั่งที่เหลืออยู่ หลังจากขบวนการส่งจบสิ้นแล้ว ก็จะทำาการเคลียร์พอร์ต Data โดยกำหนดข้อมูลให้เป็น FF เป็นอันเสร็จสิ้นขบวนการส่งชุดข้อมูลคำสั่ง

4.5 สัญลักษณ์ที่ใช้บ่งบอกความหมายของชุดข้อมูล

เนื่องจากชุดข้อมูลที่ส่งไปควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆนั้น จำเป็นจะต้องระบุถึง Address ของอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ต้องการควบคุมด้วยดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบรูปแบบของขมาจากทางคอมพิวเตอร์ เพื่อให้สามารถสื่อสารกันได้เข้าใจ โดยในที่นี้ได้ออกแบบรูปแบบของชุดข้อมูลไว้ดังนี้

@[Address][XXX.....X][#]

โดยมีความหมายของรูปแบบข้อมูลดังต่อไปนี้

- @ เครื่องหมาย @ นั้นใช้บ่งบอกถึงจุดเริ่มต้นของชุดคำสั่ง
- [Address] ใช้ระบุ Address ของอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ต้องการติดต่อ
- [XXX.....X] เป็นส่วนของชุดคำสั่งที่ต้องการส่ง ไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์
- [#] เครื่องหมาย # ใช้ในการบ่งบอกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับทราบว่คำสั่งนั้นๆ มีข้อมูลส่งกลับมาหรือไม่ ซึ่งหากในชุดคำสั่งมีสัญญาณ # ต่อท้าย จะหมายถึงหลังจากที่ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

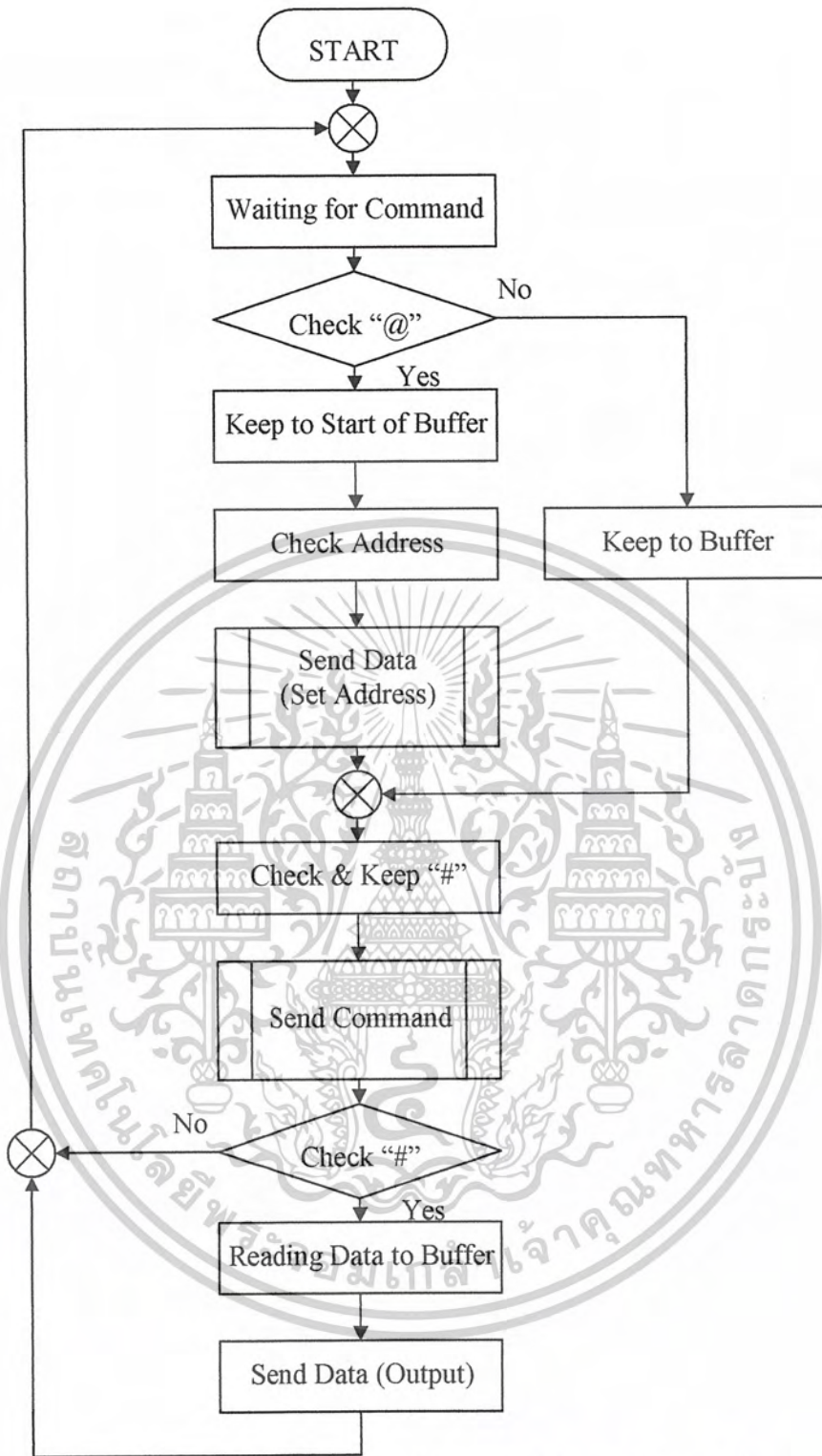
ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งชุดคำสั่งนั้นๆ ไปแล้ว ให้ทำการรอรับค่าที่ส่งกลับมาจากทางอุปกรณ์เครื่องมีอวดด้วย

ตัวอย่างชุดข้อมูล

- @ISU1 13.13** หมายถึง ให้ทำการติดต่อไปยังอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ใน Address ที่ 1 โดยคำสั่งที่ส่งออกไปคือ "SU1 13.13" ซึ่งหลังจากการส่งคำสั่งแล้วจะไม่มีข้อมูลส่งกลับสามารถรับคำสั่งต่อไปได้ทันที
- @7FRQ?#** หมายถึง ให้ทำการติดต่อไปยังอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ใน Address ที่ 7 โดยคำสั่งที่ต้องการจะส่งไปคือ "FRQ?" ซึ่งหลังจากการส่งคำสั่งแล้ว ให้ทำการรอเพื่อรับค่าที่จะตอบรับกลับมาด้วย

4.6 โปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น แสดงตามรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นโฟลว์ชาร์ต แสดงการทำงานโดยรวมของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการทำงานจะเริ่มต้นจากการรอรับคำสั่งที่จากทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งคำสั่งที่ได้มานั้นจะต้องทำการตรวจสอบว่าเป็นจุดเริ่มต้นของชุดคำสั่งหรือไม่โดยตรวจสอบจากเครื่องหมาย "@" โดยถ้าไม่พบเครื่องหมาย "@" ข้อมูลจะถูกนำไปเขียนต่อจากข้อมูลเดิมใน Buffer และจะนำข้อมูลนี้ไปรอที่จะทำการส่งต่อไป แต่ถ้าหากตรวจพบเครื่องหมาย "@" ข้อมูลจะถูกนำไปเขียนลงในจุดเริ่มต้นของ Buffer หลังจากนั้นจะเป็นการตรวจสอบ Address ว่าต้องการติดต่อไปยังอุปกรณ์ใด ซึ่ง Address จะถูกส่งไปเพื่อกำหนดอุปกรณ์เครื่องมีอวดที่จะได้รับคำสั่งต่อไป โดยลำดับขั้นตอนการส่งจะเป็นไปตามโฟลว์ชาร์ตที่ 4.4 (Send Data) หลังจากนั้น ข้อมูลใน Buffer จะถูกทำการตรวจสอบเครื่องหมาย "#" ซึ่ง หากพบเครื่องหมายนี้เงื่อนไข Check "#" ที่จะกล่าวถึงต่อไปจะเป็นจริง และเครื่องหมายนี้ก็จะถูกนำออกจากชุดข้อมูลด้วย หลังจากนั้นจะเป็นการส่งชุดข้อมูลออกไปยัง Address ที่ได้กำหนดไว้เบื้องต้นแล้ว ซึ่งการส่งนั้นจะเป็นไปตามโฟลว์ชาร์ตที่ 4.5 (Send Command) สำหรับค่า "#" ซึ่งก่อนหน้านี้ได้มีการตรวจสอบและเก็บค่าไว้แล้ว หากไม่พบเครื่องหมาย "#" นั้นหมายถึงคำสั่งนี้ ไม่ต้องการข้อมูลตอบกลับ แต่ถ้ามีการตรวจสอบพบ หลังจากการส่งชุดคำสั่งก็จะทำการรอรับค่าที่จะส่งกลับมา เพื่อเก็บไว้ใน Buffer สำหรับค่าที่ได้รับมานั้นจะถูกส่งออกไปในรูปแบบข้อมูลอนุกรมเพื่อส่งให้แก่ทางคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 4.6 ไฟล์ชาร์ตแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การออกแบบส่วน Hardware

4.7.1 Microcontroller

ส่วนนี้ถือเป็นหัวใจสำคัญของระบบ เนื่องจากทำหน้าที่ในการจัดเรียงข้อมูลที่ได้รับเข้ามาในรูปแบบข้อมูลอนุกรมเพื่อส่งออกไปในมาตรฐาน GPIB หรือในทางกลับกันคือรับข้อมูลจากอ้อมมือวัดทางพอร์ต GPIB เพื่อส่งออกไปในรูปแบบข้อมูลอนุกรม ซึ่งในที่นี้ได้เลือกใช้ Microcontroller เบอร์ PIC16F877 โดยมีคุณสมบัติในการจ่ายกระแสของแต่ละพอร์ตมากถึง 25mA (Sink/Source 25mA)

ซึ่งเพียงพอที่จะจ่ายไปสั่งการอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ต่อร่วมกันอยู่หลายๆตัวได้ อีกทั้งคุณสมบัติทางด้านความเร็วในการทำงาน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลนี้จะใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 หรือ 2 สัญญาณในการทำงาน 1 คำสั่ง ทำให้สามารถทำงานได้เร็วกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์บางตระกูลที่ความถี่เดียวกัน

พอร์ต B จะถูกใช้งานเป็นพอร์ต Data ในการส่งข้อมูล ซึ่งค่า Data ต่างๆ ที่จะส่งไปยัง GPIB นั้นต้องรำลึกไว้เสมอว่าข้อมูลในมาตรฐาน GPIB นั้นจะเป็นในลักษณะตรงข้ามกับข้อมูลที่คอมพิวเตอร์รับรู้ ดังนั้นค่าที่จะส่งหรือรับมานั้น ต้องทำการ Invert ค่าก่อนเสมอ สำหรับสัญญาณอื่นๆนั้น ต่อร่วมกับพอร์ตต่างๆ ตามรูปวงจร และสำหรับในส่วนของการสื่อสารไปยังคอมพิวเตอร์ จะเป็นการสื่อสารผ่านทาง USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) ซึ่งเป็นพอร์ตสื่อสารอนุกรมในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เองโดยการติดต่อสื่อสารไปยังคอมพิวเตอร์โดย RS-232 นั้นจะกล่าวถึงต่อไป

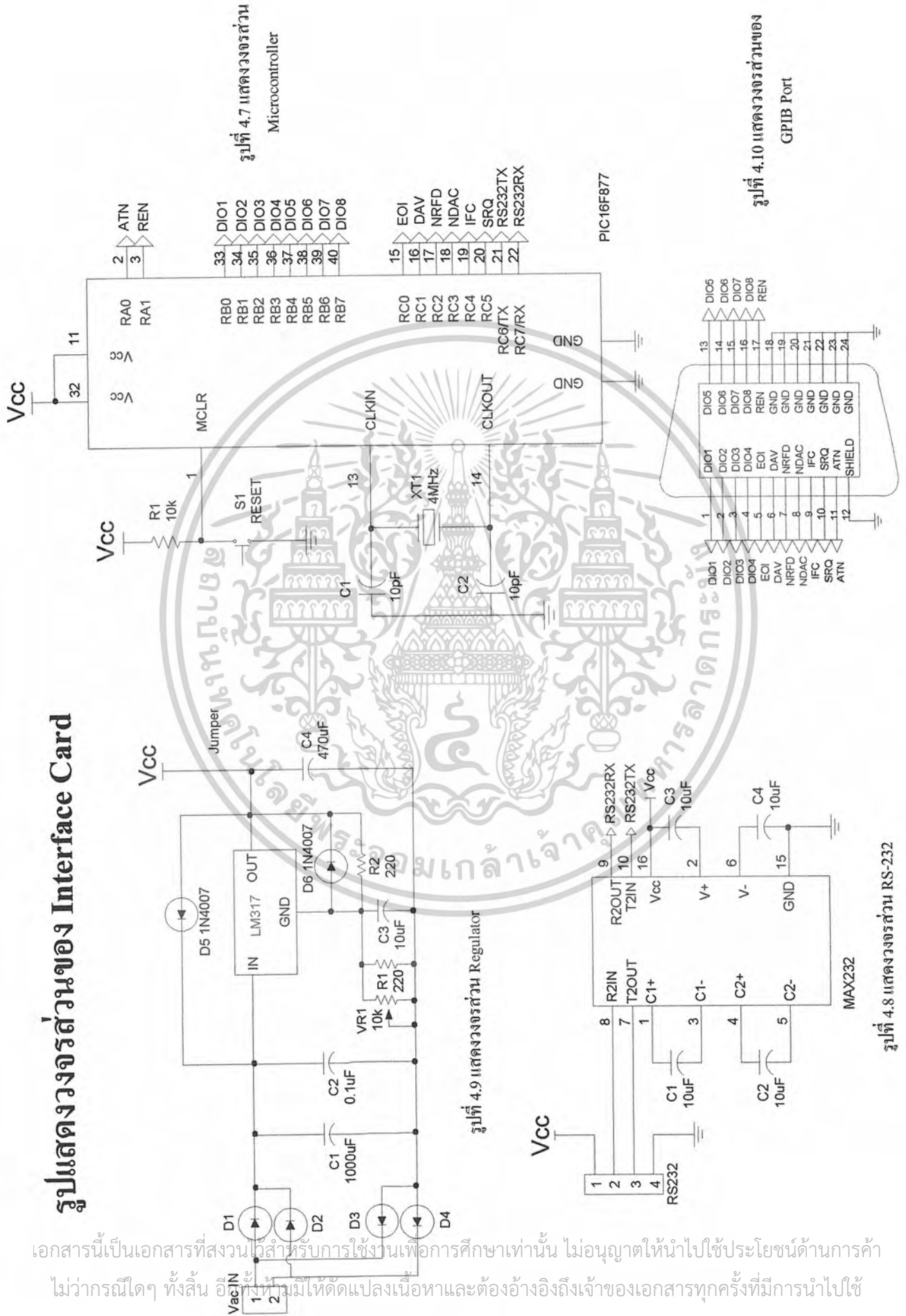
4.7.2 RS-232

วงจรในส่วนนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงการสื่อสารอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เป็นไปตามมาตรฐานของการสื่อสารทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีค่าลอจิกที่สูงกว่าโดยวงจรที่ใช้เป็นวงจรมาตรฐานซึ่งใช้ IC MAX232 ทำหน้าที่เป็นหลัก

4.7.3 Regulator

ในส่วนนี้ทำหน้าที่ในการสร้างแรงดันไฟฟ้า 3.3V ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่ใช้เป็น Output High ของ GPIB โดยในที่นี้ใช้ IC LM317T ซึ่งเป็น IC Regulator 3 ขาที่พบเห็นได้โดยทั่วไป โดยวงจรจะตั้งค่าแรงดันได้จาก VR1

รูปแสดงวงจรส่วนของ Interface Card



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรส่วน RS-232

รูปที่ 4.7 แสดงวงจรส่วน Microcontroller

รูปที่ 4.10 แสดงวงจรส่วนของ GPIB Port

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

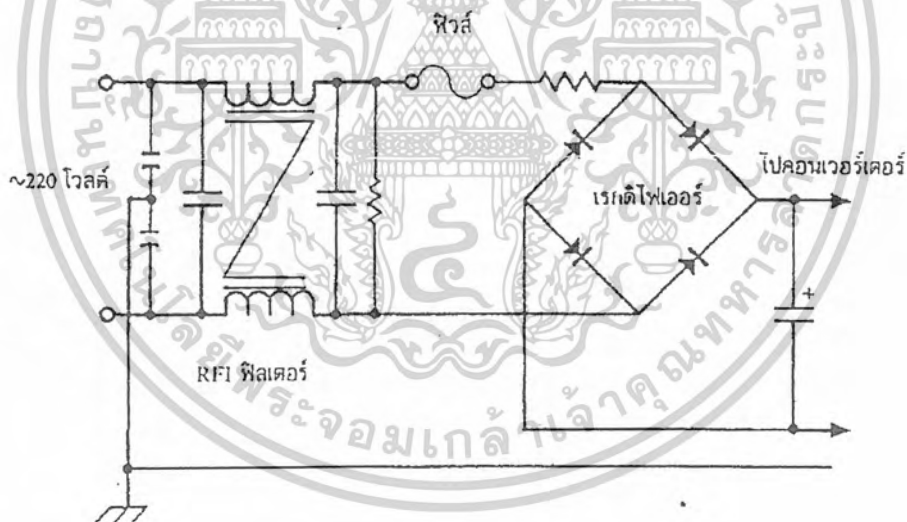
การออกแบบส่วนแหล่งจ่ายไฟสวิตชิงและการควบคุมแหล่งจ่ายไฟสวิตชิง

ทฤษฎีทั่วไปของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

5.1 วงจรส่วนอินพุตของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย โดยส่วนใหญ่จะถูกออกแบบมาให้ใช้กับระบบแรงดันไฟสลับ 110 โวลต์ หรือ 220 โวลต์ แรงดันไฟสลับจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแรงดันไฟตรงเสียก่อนด้วยวงจรในส่วนอินพุตของ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย เพื่อส่งต่อไปให้คอนเวอร์เตอร์ลดทอนและคงค่าแรงดันอีกทีหนึ่ง ตัวอย่างการจัด วงจรที่อินพุตของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย อาจเป็น ได้ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.1 โดยวงจรส่วนอินพุตอาจ แบ่งออกได้เป็นส่วนสำคัญ 3 ส่วน ดังนี้คือ

1. วงจรเรียงกระแส (Rectifier)
2. ฟิวส์ (Fuse)
3. RFI ฟิลเตอร์ (RFI Input Filer)



รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างวงจรอินพุตของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ประกอบด้วยเรกติไฟเออร์ ฟิวส์ และ RFI ฟิลเตอร์

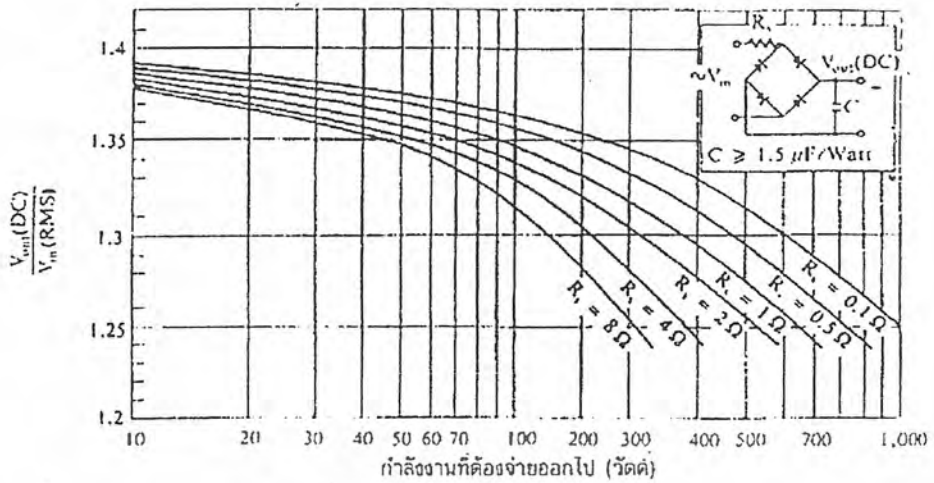
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

เรกติไฟเออร์ นับเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของวงจร ในส่วนอินพุตของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย และจะเป็นตัวกำหนด ค่าอัตราทนกระแสของฟิวส์ และ RFI ฟิลเตอร์ เรกติไฟเออร์ จะประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ 3 ตัว คือ ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C และ ไดโอดเรกติไฟเออร์ D1-D4 มีหน้าที่หลักคือ เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรง เพื่อเป็นแรงดันอินพุตให้กับคอนเวอร์เตอร์ต่อไป

ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s

ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s จะมีประโยชน์มาก ในวงจรเรกติไฟเออร์ R_s จะเป็นตัวจำกัดกระแสที่จะเกิดขึ้นในวงจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มเปิดเครื่องให้ทำงาน ตัวเก็บประจุขณะชาร์จประจุจะเหมือนมีการลัดวงจรขึ้น ถ้าค่าของตัวเก็บประจุสูงก็จะทำให้เกิดกระแสกระชากขณะเปิดเครื่องสูงด้วย การกำหนดค่าตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s ไว้ในวงจรจะทำให้การไหลของกระแสขณะเปิดเครื่องเป็นไปได้อย่างช้าๆ และลดกระแสกระชาก ตัวต้านทาน R_s ในวงจรเรกติไฟเออร์ จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าอย่างเหมาะสม เนื่องจากวงจรเรกติไฟเออร์ ที่มีตัวเก็บประจุเป็นฟิลเตอร์นั้น ค่าของแรงดันที่ได้จากวงจรจะขึ้นกับค่าของ R_s และกำลังงานที่วงจรเรกติไฟเออร์จะต้องจ่ายออกไป การต่อตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s การกำหนดค่าของ R_s จึงต้องพิจารณาจากความเหมาะสม ระหว่างการลดกระแสกระชาก และประสิทธิภาพการทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย



รูปที่ 5.2 แสดงค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยเอาต์พุตของวงจรเรกติไฟเออร์ที่ได้
ที่โหลดและตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s

ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C

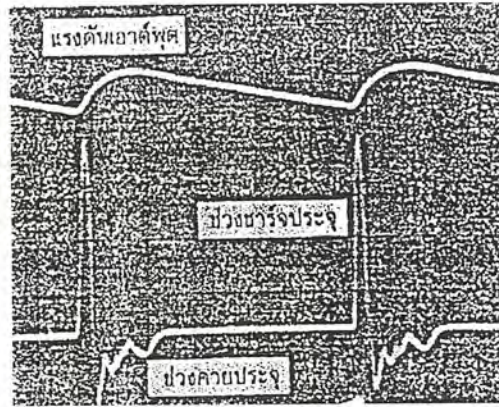
ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C จะเป็นตัวกรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของไดโอด D1-D4 ให้มีค่าความเรียบมากขึ้น และช่วยให้กระแสที่ได้มีค่าเพียงพอ ตามที่คอนเวอร์เตอร์ต้องการ การทำงานของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C ในวงจรเรกติไฟเออร์จะเป็นไปในลักษณะของการชาร์จประจุและคายประจุ ซึ่งค่ากระแสขณะชาร์จประจุและคายประจุจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความจุของตัวเก็บประจุ C และภาวะของโหลดที่เอาต์พุต จะแสดงค่ากระแส RMS ที่อินพุต และค่ากระแส RMS ของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C ต่อค่ากระแสแสดงประสิทธิภาพ I_e ที่อินพุตของวงจรเรกติไฟเออร์ โดยที่

$$I_e = P_{IN} / V_{INrms}$$

เมื่อ	I_e	คือ ค่ากระแสประสิทธิภาพที่อินพุต เป็นอาร์เอ็มเอสแอมป์
	P_{IN}	คือ กำลังงานที่จ่ายเข้าทางค่านอินพุต เป็นวัตต์
	V_{INrms}	คือ ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสที่อินพุต เป็นอาร์เอ็มเอสโวลต์
ส่วน	R_{sf}	คือ ค่าเฟกเตอร์ของตัวต้านทาน R_s และค่า R_{sf} และหาได้จาก

$$R_{sf} = R_s \cdot P_{IN}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะการชาร์จประจุและคายประจุของ
ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ในวงจรเรกติไฟเออร์

การพิจารณาเลือกตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C สำหรับวงจรเรกติไฟเออร์

จะต้องพิจารณาปัจจัยดังต่อไปนี้ด้วย คือ

1. อัตราทนกระแสระลอกของตัวเก็บประจุ (RMS Ripple Current Rating)

กระแสระลอกในตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ เกิดจากชาร์จประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุเอง ดังรูปที่ 5.3 ค่ากระแสระลอกของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ ทำให้ตัวเก็บประจุร้อนและลดอายุการใช้งาน อาจหาได้จากค่ากระแสประสิทธิผล I_e ของวงจรเรียงกระแส

การเลือกใช้ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C จะต้องให้มีค่าอัตราทนกระแสระลอกที่คำนวณได้ เพื่อไม่ให้ตัวเก็บประจุร้อน ขณะทำงาน ในกรณีที่กระแสระลอกมีค่าสูง การใช้ตัวเก็บประจุนานกันหลายตัว จะช่วยเพิ่มอัตราทนกระแสระลอกให้กับตัวเก็บประจุได้เช่นกัน

2. แรงดันกระเพื่อมที่เอาต์พุตของเรกติไฟเออร์ (Ripple Voltage)

การกระเพื่อมที่แรงดันเอาต์พุตของเรกติไฟเออร์ จะมีผลโดยตรงต่อการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ในสวิชชิงเพาเวอร์ซัพพลาย การกระเพื่อมที่แรงดันเอาต์พุต ทำให้แรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าไม่คงที่ หากยอมให้แรงดันกระเพื่อมที่แรงดันเอาต์พุตของเรกติไฟเออร์มีค่ามากก็จะลดความสามารถในการคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ลงไป และทำให้ช่วงแรงดันไฟสลับอินพุตของสวิชชิงเพาเวอร์ซัพพลายแคบลง ปกติการออกแบบสวิชชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะยอมให้ เรกติไฟเออร์มีค่าแรงดันกระเพื่อมได้ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากรูปที่ 2.2

ค่าของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C เพื่อให้ค่าแรงดันกระเพื่อมไม่เกินกำหนด อาจคำนวณได้จาก

$$C = \frac{I_e \cdot \Delta t}{\Delta V_{ripple}}$$

เมื่อ	I_e	คือ ค่ากระแสประสิทธิผลของวงจรเรกติไฟเออร์
	Δt	คือ ช่วงเวลาที่ C คายประจุ
	ΔV_{ripple}	คือ ค่ายอดถึงยอดของแรงดันกระเพื่อมที่เอาต์พุตของเรกติไฟเออร์

หมายเหตุ เพื่อให้ง่ายในการคำนวณค่าของ C ช่วงเวลาที่คายประจุ อาจกำหนดจากช่วงยอดสูงสุดของคลื่นลูกหนึ่ง ไปอีกลูกหนึ่งของแรงดันที่ได้จากไดโอดเรกติไฟเออร์ ดังในรูปที่ 5.4 ดังนั้นค่าเวลา จะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของคาบเวลาของแรงดันไฟสลับนั่นเอง (10×10^{-3} วินาทีที่ความถี่ไฟสลับ 50 เฮิรตซ์)



รูปที่ 5.4 แสดงการประมาณค่าเวลาในการคายประจุของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ ให้มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของคาบเวลาแรงดันไฟสลับเพื่อสะดวกในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ช่วงเวลาโฮลด์อัฟ (Holdup Time)

ช่วงเวลาโฮลด์อัฟ เป็นช่วงเวลาที่สวิดชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ยังสามารถคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตได้ตามปกติที่โหลดสูงสุดเมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับหรือค่าแรงดันไฟสลับต่ำกว่ากำหนดและเพื่อให้สวิดชิงเพาเวอร์ซัพพลายมีค่าเวลาโฮลด์อัฟ ตัวเก็บประจุฟิสิกเตอร์จะต้องมีค่ามากพอเพื่อจ่ายกระแสให้กับคอนเวอร์เตอร์เมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ ค่าของ C เพื่อให้เกิดช่วงเวลาโฮลด์อัฟอาจหาได้จาก

$$C = \frac{2 \cdot P_o \cdot t_H}{\eta (V_s^2 - V_f^2)}$$

เมื่อ	P_o	คือ	ค่ากำลังงานสูงสุดที่เอาต์พุต ของคอนเวอร์เตอร์
	η	คือ	ค่าประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์
	V_s	คือ	ค่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุฟิสิกเตอร์ก่อนหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ
	V_f	คือ	ค่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุฟิสิกเตอร์หลังหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ
	t_H	คือ	ค่าช่วงเวลาโฮลด์อัฟที่ต้องการ (โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 20×10 วินาที ถึง 50×10 วินาที)

4. อัตราทนแรงดัน

ตัวเก็บประจุฟิสิกเตอร์ต้องทนแรงดันได้อย่างต่ำที่ค่าแรงดันไฟตรงเอาต์พุต ของวงจรเรกติไฟเออร์ แต่เพื่อความปลอดภัยควรเผื่อค่าอัตราทนแรงดันของตัวเก็บประจุฟิสิกเตอร์ไว้อย่างน้อยที่ค่าแรงดันไฟตรงสูงสุดที่เป็นไปได้ของคอนเวอร์เตอร์ เช่น สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่มีแรงดันไฟสลับอินพุต 187 – 260 โวลต์ ตัวเก็บประจุฟิสิกเตอร์ควรมีอัตราทนแรงดันอย่างต่ำที่ 385 โวลต์ หรือ 400 โวลต์ เป็นต้น

5. ขนาดและราคา

ตัวเก็บประจุฟิสิกเตอร์ปกติจะเป็นชนิดอิเล็กโทรไลต์ ที่อัตราทนแรงดันสูง ๆ ตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์จะมีขนาดใหญ่และมีราคาแพง การเลือกตัวเก็บประจุฟิสิกเตอร์ที่มีอัตราทนแรงดันและค่าความจุสูงเกินไป จะเห็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเกินความจำเป็น กินเนื้อที่และเพิ่มขนาดของสวิดชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ขนาดและราคาจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควรพิจารณาก่อนเลือกตัวเก็บประจุฟิสิกเตอร์ด้วยเช่นกัน

5.1.2 ไดโอดเรกติไฟเออร์

การเลือกใช้ไดโอดเรกติไฟเออร์มีข้อควรพิจารณาดังต่อไปนี้

1. ค่ากระแสกระชาก : IFSM (Maximum Surge Current)

กระแสกระชากสูงสุดที่ผ่านไดโอดเรกติไฟเออร์จะเกิดขึ้น ขณะเปิดเครื่องเมื่อตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ยังไม่มีประจุสะสมอยู่ ค่ากระแสกระชากสูงสุดอาจคำนวณได้จาก

$$I = \frac{V_{peak}}{(R_s + ESR)}$$

เมื่อ	V_{peak}	คือ แรงดันยอดสูงสุดของไฟสลับอินพุต
	ESR	คือ ค่าความต้านทานแฝงในตัวเก็บประจุค่าต่ำสุด
	R_s	คือ ค่าของตัวต้านทานจำกัดกระแส

โดยทั่วไปแล้วไดโอดเรกติไฟเออร์จะมีค่าอัตราทนกระแสกระชาก ประมาณ 20-30 เท่าของอัตราทนกระแสเฉลี่ย ขณะถูกไบแอสตรงของมัน ไดโอดเรกติไฟเออร์ที่ใช้จะต้องมีค่าอัตราทนกระแสกระชากมากกว่าที่คำนวณได้จากสมการ ค่าของกระแสกระชาก อาจลดลงได้ โดยการเพิ่มค่าของแต่ประสิทธิภาพของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะลดลง เนื่องจากกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทานจำกัดกระแส

2. ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรง : IFRM (Maximum Forward Current)

ค่ากระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นในวงจรเรกติไฟเออร์จะเกิดขึ้นในจังหวะที่ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์มีการเก็บประจุกครั้งหลังจากคายประจุออกไปให้โหลด ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสของไดโอดเรกติไฟเออร์ จึงหาได้จากค่ากระแสสูงสุดของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์จากกราฟนั่นเอง

3. ค่ากระแสเฉลี่ยเมื่อถูกไบแอสตรง : IFM (Maximum Average Forward Current)

เป็นค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุดที่ไดโอดเรกติไฟเออร์จะได้รับขณะทำงาน การพิจารณาค่าอาจทำได้โดยใช้กราฟ ในทางปฏิบัติควรเพื่อค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุดของไดโอดไว้ที่ประมาณ 1.5-2 เท่า จากที่คำนวณได้ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและยืดอายุการใช้งาน

4. อัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุด : VRRM

ในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ปกติเรกติไฟเออร์ต้องต่อเข้ากับแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ ดังนั้นอัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุดของไดโอด VRRM จึงต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับ อย่างไรก็ตามควรพิจารณาเพื่อค่าแรงดันไบแอสกลับ ให้มากกว่ายอดแรงดันสูงสุดของแรงดันไฟสลับเอาไว้ด้วย สำหรับกรณีที่เกิดทรานเซียนต์ขึ้นได้ในสายไฟสลับ

ฟิวส์

ฟิวส์มีหน้าที่หลัก 2 ประการคือ ป้องกันอุปกรณ์เสียหายเนื่องจากกระแสเกิน และเพื่อแยกส่วนวงจรออกจากแหล่งจ่ายไฟ กรณีที่มีการลัดวงจรเกิดขึ้น การเลือกใช้ฟิวส์เพื่อใช้ในส่วนของวงจรเรียงกระแสในสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลายนั้นจะต้องพิจารณาเกี่ยวกับค่าอัตราแรงดัน (voltage rating) และค่าอัตราทนกระแส (current rating) ให้มีความเหมาะสมเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในวงจร

5.1.3 RFI อินพุตฟิลเตอร์

การทำงานของสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลายเป็นการทำงาน ในลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสอย่างฉับพลันที่ค่ากระแสสูงๆ สวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลายจึงเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนRFI ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นเพาเวอร์ซัพพลายจำเป็นต้องมีวงจรฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอกให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ วิธีการลดสัญญาณรบกวน RFI ที่จะออกไปภายนอกที่ใช้กันโดยทั่วไปสำหรับสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลายก็คือ การต่อ LC ฟิลเตอร์คั่นที่อินพุตกับระบบแรงดันไฟสลับ เพื่อลดสัญญาณ RFI ทั้งที่สัญญาณโหมดความแตกต่าง (differential mode) และที่สัญญาณโหมดร่วม (common mode)

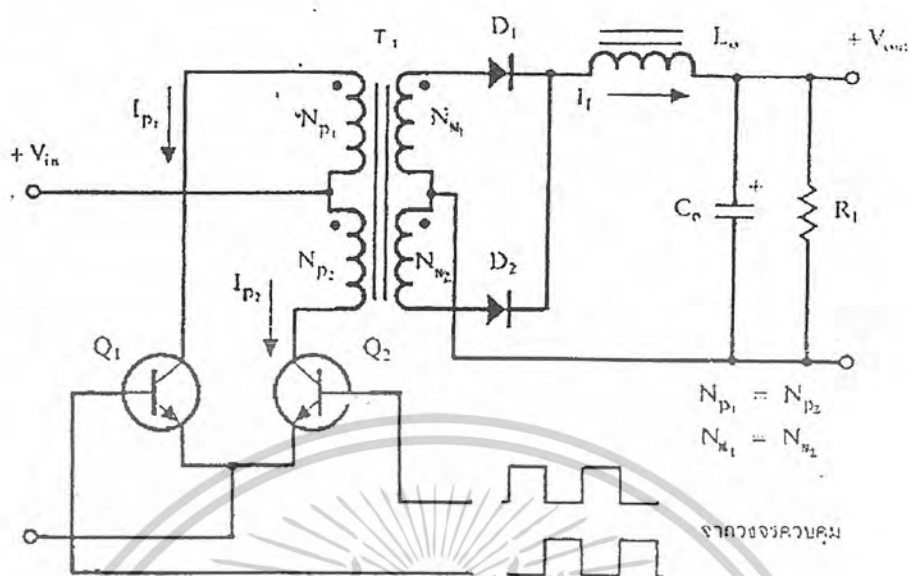
5.2 คอนเวอร์เตอร์

คอนเวอร์เตอร์นับเป็นส่วนสำคัญที่สุด ในสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ และสามารถคงค่าแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจลวงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป แต่จะขอกล่าวถึงเฉพาะคอนเวอร์เตอร์แบบที่ใช้ในโครงการนี้เท่านั้น

5.2.1 พูช – พูลคอนเวอร์เตอร์

การทำงานของพูช – พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter) เปรียบเหมือนกับการนำฟอร์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์สองชุดมาต่อทำงานร่วมกัน โดยสลับกันทำงาน ในแต่ละครึ่งคาบเวลาในลักษณะกลับเฟสทำให้จ่ายค่ากำลังได้ค่อนข้างสูงในช่วง 200 ถึง 1000 วัตต์ อย่างไรก็ตามเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรยังมีแรงดันตกคร่อม ขณะหยุดคั่นกระแสค่อนข้างสูงเช่นเดียวกับฟอร์เวิร์คและฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ รวมทั้งปัญหาในการเกิดฟลักซ์ไม่สมมาตร ในแกนเฟอร์ไรต์ของวงจรทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหาย

พื้นฐานการทำงานของพวง-พูลคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 5.5 แสดงวงจรพื้นฐานของพวง-พูลคอนเวอร์เตอร์

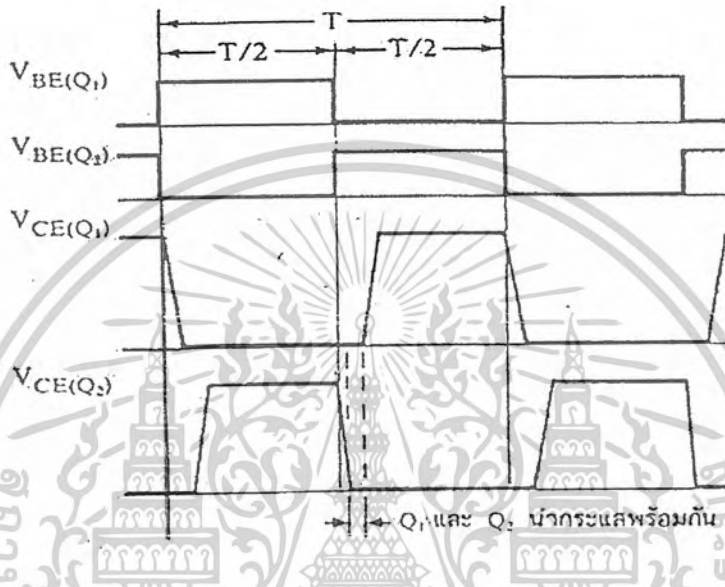
วงจรพื้นฐานของพวง-พูลคอนเวอร์เตอร์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 การทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานโดยผลิตกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบเวลา T ขณะที่ Q_1 นำกระแส จะมีกระแส I ไหลผ่านขดไพรมารี N_{p1} และ ไดโอด D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ ส่วนไดโอด D_2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง ทำให้มีกระแสไหลที่ขดไพรมารี N_{s2} และ ไดโอด D_2 และ L_o ไปยังตัวเก็บประจุ C_o และ โหลด R_L ได้ ในจังหวะนี้แรงดันตกคร่อม Q_2 จะมีค่าเป็น $2V_{in}$ (จำนวนรอบ $N_{p2} = N_{p1}$ และ $N_{s2} = N_{s1}$) ในทำนองเดียวกันขณะที่ Q_2 นำกระแส Q_1 และ D_2 จะไม่นำกระแส เนื่องจากถูกไบแอสกลับ D ซึ่งอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรงจะนำกระแสจากขดเซคันดารี N_{s1} ผ่าน L_o ไปยังตัวเก็บประจุ C_o และ โหลด R_L ขณะที่แรงดันตกคร่อม Q_1 มีค่าเท่ากับ $2V_{in}$ เช่นเดียวกัน

ค่าเวลาเมื่อ t สำหรับพวง-พูลคอนเวอร์เตอร์

การกำหนดค่าเวลาเมื่อ (Dead time) เพื่อไม่ให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีช่วงเวลานำกระแสมากเกินไป มีเหตุผลหลักสองประการ คือ ประการแรก ถ้าไม่มีการจำกัดช่วงเวลานำกระแสเอาไว้ เมื่อเกิดกรณี โหลดดึงกระแสมากขึ้น วงจรควบคุมจะสั่งงานให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีค่าช่วงเวลานำกระแสเพิ่มขึ้น และทำให้ช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์อีกตัวมีค่าลดลงและเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

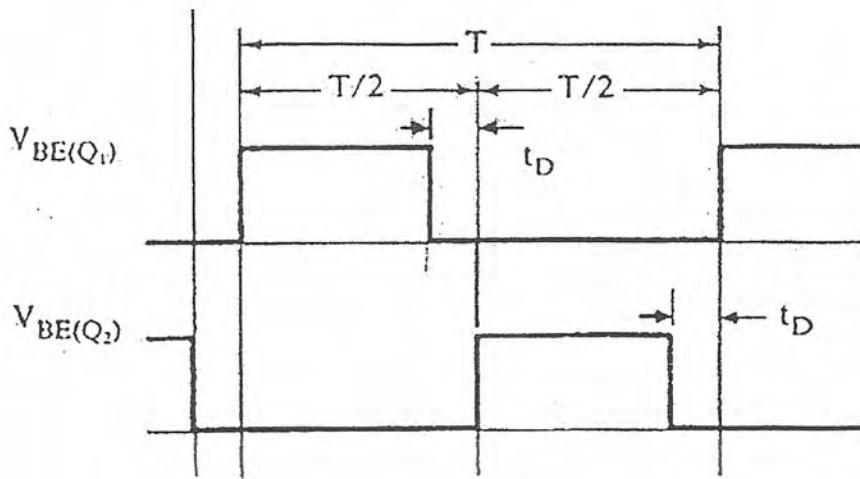
พลาซึไม่สมมาตรพลาซึซึน ในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์จะเข้าสู่จุดอิ่มตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ พังเสียหายได้เหตุผลประการที่สองก็คือเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสพร้อมกัน ในกรณีนี้เกิดได้จากการตอบสนองที่ช้าของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ถึงแม้จะกำหนดให้วงจรควบคุมสั่งงานเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ครึ่งหนึ่งของคาบเวลาเท่านั้นแล้ว ก็ตาม เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ก็ยังไม่ปลดปล่อยเพียงพอ ในกรณีนี้แรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวขณะนำกระแสจะเท่ากับค่าของแรงดันอินพุต และทำให้เกิดการพังเสียหายอย่างรวดเร็ว (ดูรูปที่ 5.6 ประกอบ)



รูปที่ 5.6 แสดงการหน่วงของช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เนื่องจากประจุสะสม

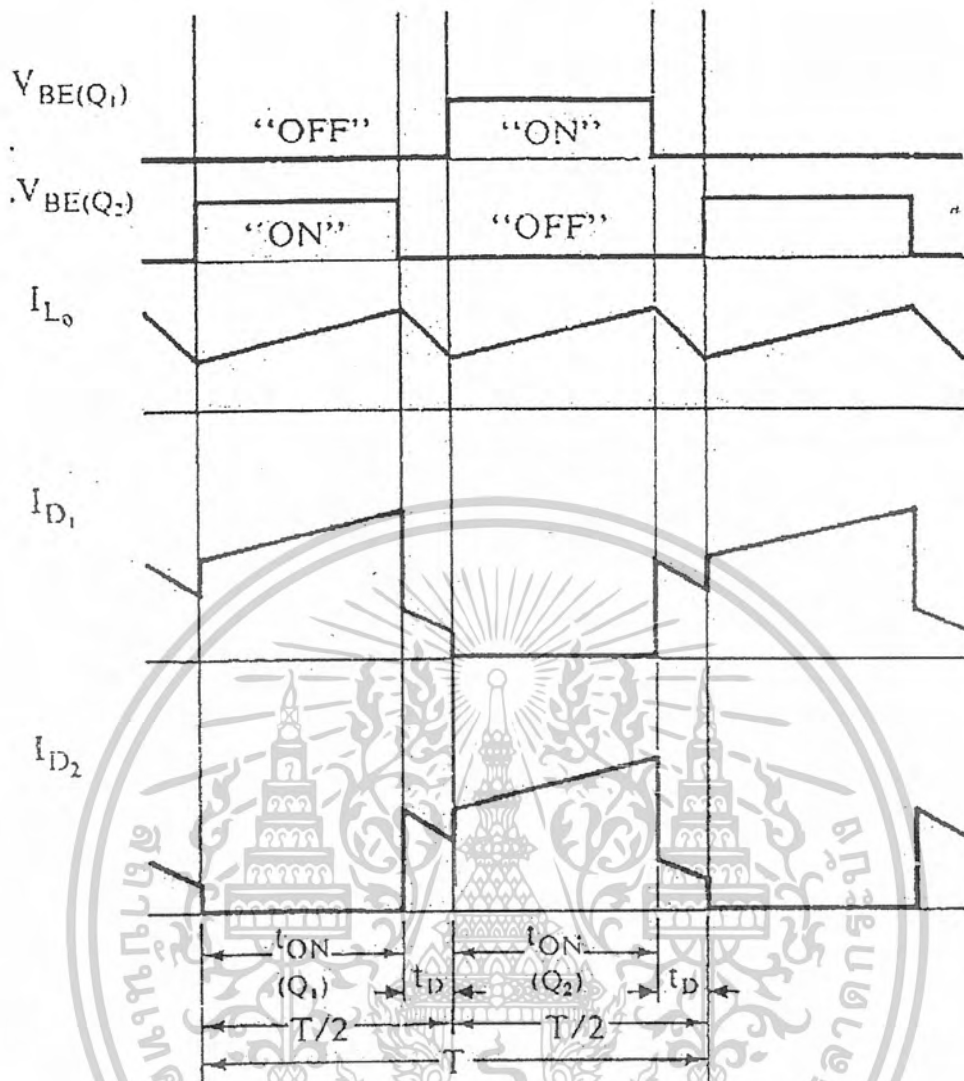
เมื่อนำเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์อีกตัวเริ่มนำกระแส จะทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสพร้อมกัน การกำหนดค่าเวลาเพื่อ t_D สำหรับช่วงเวลานำกระแสให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ดังรูปที่ 5.7 จะป้องกันปัญหาที่กล่าวมาได้ ค่าเวลาเพื่อ t_D โดยทั่วไปจะกำหนดไว้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของครึ่งคาบเวลา ดังนั้นช่วงเวลานำกระแสสูงสุดของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จึงไม่ควรมีค่าเกิน

$$\begin{aligned} t_{ON(max)} &= 0.8 \left[\frac{T}{2} \right] \\ &= 0.4T \end{aligned}$$



รูปที่ 5.7 แสดงการกำหนดค่าเวลาเพื่อ t ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

จากรูปที่ 2.7 ในช่วงเวลาเพื่อ t_D นี้ Q_1 และ Q_2 จะอยู่ในภาวะหยุดนำกระแสพร้อมกันทั้งสองตัว ซึ่งเปรียบได้กับช่วงเวลา t_{OFF} ของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ที่เอาต์พุตใช้ L_O จะมีการยุบตัวของสนามแม่เหล็กและกลับขั้วแรงดัน แต่เนื่องจากพหุคูณคอนเวอร์เตอร์ไม่มีไดโอดฟลายบิล เช่นเดียวกับฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ ในกรณีนี้ไดโอด D_1 และ D_2 ในรูปที่ 2.5 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรงทำให้มีกระแสไหลผ่านขดเซคันดารี N_{S1} และ N_{S2} เนื่องจากการถ่ายเทพลังงานสะสมใน L_O ในช่วงเวลาเพื่อ t_D นี้ด้วย โดยกระแสที่ไหลจาก L_O จะถูกแบ่งครึ่งผ่านไดโอด D_1 และ D_2 อย่างไรก็ตาม พลังงานที่สะสมในขดไพรมารีเนื่องจากกระแสเหนี่ยวนำแม่เหล็กในช่วงเวลาที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสจะมีการถ่ายเทออกไปที่ขดเซคันดารีในช่วงเวลาเพื่อ t_D ด้วยเช่นกัน แต่จะมีกระแสไหลเซคันดารีได้เพียงขดเดียว เนื่องจากไดโอดที่ต่ออยู่กับขดเซคันดารีที่เหลือจะอยู่ในลักษณะไบแอสกลับ ทำให้มีกระแสเสริมและลดทอนกระแสที่ไหลจากเอาต์พุตใช้ L_O ดังนั้นกระแสขอบที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา t_D ของไดโอดตัวหนึ่งจะมากกว่าของอีกตัวหนึ่งเสมอ ดังที่ได้แสดงไว้ใน รูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 แสดงลักษณะกระแสที่ไหลผ่านไดโอด D_1 และ D_2 และกระแสที่ไหลผ่านเอาต์พุตใช้ L_o ขณะวงจรทำงาน จะเห็นว่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอดทั้งสองตัวในช่วงเวลา t_o มีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากมีการถ่ายเทพลังงานจากขดไพรมารีในช่วงนี้ ทำให้เกิดกระแสที่ไหลในไดโอดตัวหนึ่งมากกว่าอีกตัวหนึ่งสลับกันไปตามการทำงานของขดไพรมารีแต่ละขด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ไดโอดในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

ชนิดและการเลือกใช้ไดโอด

เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าความถี่การทำงานของวงจรตั้งแต่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ขึ้นไป ไดโอดที่ใช้ในคอนเวอร์เตอร์จึงจำเป็นต้องมีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้ คือ

1. มีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำ
2. มีช่วงเวลาดำเนินตัว t_{rr} สั้น
3. สามารถทนกำลังได้สูง

ซิลิคอนไดโอดที่ใช้ในวงจรเรกติไฟเออร์ทั่ว ๆ ไป จะไม่สามารถนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์ได้เนื่องจากมีค่าช่วงเวลาดำเนินตัวมาก กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนจะเกิดขึ้นสูงและมีประสิทธิภาพต่ำ ปกติไดโอดที่ใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ควรเลือกใช้จากไดโอด 3 ชนิดดังต่อไปนี้ คือ

1. ฟาสต์ - รีคัฟเวอรีไดโอด (Fast Recovery Diode)
2. อุลตราฟาสต์ - รีคัฟเวอรีไดโอด (Ultra Fast Recovery Diode)
3. ชอตต์กี้ไดโอด (Schottky Diode)

ฟาสต์ - รีคัฟเวอรีและอุลตราฟาสต์ - รีคัฟเวอรีไดโอด

ฟาสต์ - รีคัฟเวอรีไดโอดมีช่วงเวลาดำเนินตัว t_{rr} ประมาณ 200 ถึง 750 นาโนวินาที ซึ่งสั้นกว่าซิลิคอนไดโอดมาก และฟาสต์ - รีคัฟเวอรีไดโอดมีอัตราทนแรงดันไบแอสกลับได้สูงถึง 1000 โวลต์ ส่วนอุลตราฟาสต์ - รีคัฟเวอรีไดโอดจะมีช่วงเวลาดำเนินตัว t_{rr} ประมาณ 25 ถึง 100 นาโนวินาทีและมีอัตราทนแรงดันไบแอสกลับได้สูงถึง 1000 โวลต์เช่นเดียวกัน แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแส V_F ของไดโอดทั้งสองชนิดมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันคือประมาณ 0.6 ถึง 1.5 โวลต์ ตัวอย่างค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของฟาสต์-รีคัฟเวอรี และอุลตราฟาสต์-รีคัฟเวอรีไดโอดมีค่าค่อนข้างสูง ไดโอดทั้งสองชนิดนี้จึงเหมาะกับคอนเวอร์เตอร์ที่มีค่าแรงดันเอาต์พุตที่มีแรงดันตั้งแต่ 12 โวลต์ขึ้นไป

ชอตต์กี้ไดโอด

ชอตต์กี้ไดโอดมีค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสค่อนข้างต่ำที่ประมาณ 0.5 โวลต์ จึงเหมาะสมกับคอนเวอร์เตอร์ที่มีค่าแรงดันเอาต์พุตต่ำ ๆ และกระแสสูง เช่น ที่ค่าแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 5 โวลต์ เนื่องจากลักษณะโครงสร้างภายในที่แตกต่างจากฟาสต์ - รีคัฟเวอรีและอุลตราฟาสต์ - รีคัฟเวอรีไดโอด ชอตต์กี้ไดโอดจะไม่เกิดประจุสะสมขึ้นภายในตัวมันขณะนำกระแส ช่วงเวลาดำเนินตัว t_{rr} ของชอตต์กี้ไดโอดจึงมีค่าสั้นมาก โดยมีค่าน้อยกว่า 10 นาโนวินาที และอาจถือว่าชอตต์กี้ไดโอดไม่มีกำลังงานสูญเสียในช่วงนี้ได้

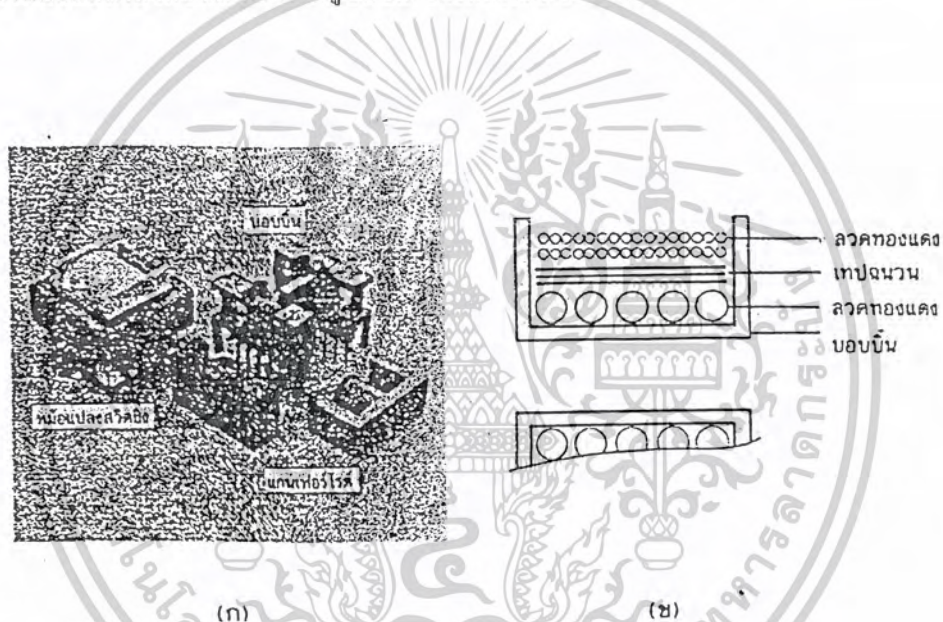
อย่างไรก็ตามขอตักโก้ไดโอดมีข้อเสียอยู่ 2 ประการ คือ

1. ขอตักโก้ไดโอดมีอัตราทนแรงดันขณะไบแอสกลับได้สูงสุดที่ 100 โวลต์เท่านั้น
2. ขอตักโก้ไดโอดมีกระแสรั่วไหลสูงขณะถูกไบแอสกลับทำให้เกิดกำลังสูญเสียค่อนข้างสูง
3. เมื่อนำขอตักโก้ไดโอดมาใช้ในคอนเวอร์เตอร์จะให้ทรานเซียนต์ขณะเริ่มหยุดนำกระแสสูง

5.3 หม้อแปลงสวิตซิ่ง (Switching Transformer)

5.3.1 ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตซิ่ง

หม้อแปลงสวิตซิ่งมีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันไฟตรงที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งอาจมีค่าสูงได้ถึง 310 โวลต์ ให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟค่าที่เอาต์พุต และทำให้เกิดการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตที่ได้ เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด ส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงสวิตซิ่งแสดงไว้ในรูปที่ 5.9 โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 5.9 (ก) แสดงส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตซิ่ง

(ข) การพันขดลวดทองแดงอบน้ำยาบอบบิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์ จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์ แม่เหล็กสูงกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศมาก เฟอร์ไรต์มีค่าจุดอิ่มตัวฟลักซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูงประมาณ ในช่วง 3000 ถึง

4000 เกาส์ และเกิดการสูญเสียในตัวมันค่าที่ความถี่สูง ๆ ดังนั้นหม้อแปลงสวิตชิ่งจึงนิยมใช้แกนเป็นเฟอร์ไรต์มากที่สุด เฟอร์ไรต์ที่นำมาทำแกนของหม้อแปลงสวิตชิ่งจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานในการออกแบบ

บอบบิ้น (Bobbin)

บอบบิ้นหรือแบบรองพันปกติ จะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนได้สูง และไม่ติดไฟบอบบิ้นจะช่วยให้การพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้นและป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ บอบบิ้นจะมีขนาดมาตรฐานตามมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ ขนาด บอบบิ้นส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้มีขาพักลวดทองแดง เพื่อความสะดวกในการพันขดลวดและบัดกรีติดกับแผ่น PCB

ลวดทองแดงอาบน้ำยา (Enamelled Copper Wire)

การพันลวดทั้งไพรมารีและเซคันดารีของหม้อแปลงสวิตชิ่งที่กำลังไม่สูงมากนัก ปกติจะใช้ลวดทองแดง อาบน้ำยาพันบนแกนบอบบิ้น เพื่อให้ได้จำนวนรอบตามต้องการ ขนาดของขดลวดทองแดงที่จะใช้พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่น ๆ

เทปฉนวน (Insulation Tape)

เทปฉนวนใช้พันสำหรับเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตชิ่งและมีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดไพรมารีและขดเซคันดารี ด้วยวัสดุที่ใช้ทำเทปฉนวนอาจเป็นพวงไมลาร์ (Mylar) หรือ โพลีเอสเตอร์ (Polyester) ที่มีความหนาอยู่ระหว่าง 0.05 -0.1 มิลลิเมตร การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับกรออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลงสวิตชิ่งเป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 แกนเฟอร์ไรต์และการเลือกใช้

ลักษณะและขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงสวิตชิงโดยทั่วไป จะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่าง ๆ ตามมาตรฐานเดียวกัน เช่น แกนแบบ EI, EE, ETD หรือ แกนแบบ POT เป็นต้น ปกติผู้ผลิตจะทำแกนเฟอร์ไรต์ออกมาในลักษณะของกลุ่มประกอบ เพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับบอบบิ้น การประกอบแกนเฟอร์ไรต์บนบอบบิ้น

CORE TYPE	A_c (cm ²)	A_w (cm ²)	V_c (cm ³)	l_c (mm)
ETD 34	0.971	1.220	7.64	78.6
ETD 39	1.250	1.740	11.50	92.2
ETD 44	1.740	2.130	18.00	103.0
ETD 49	2.110	2.710	24.20	114.0

ETD

CORE TYPE	A_c (cm ²)	A_w (cm ²)	V_c (cm ³)	l_c (mm)
EE 20/20/5	0.31	0.35	1.34	43.0
EE 30/30/7	0.59	0.78	4.00	66.9
EE 42/42/15	1.82	1.78	17.6	97.0
EE 42/42/20	2.36	1.78	23.1	97.4
EE 42/54/20	2.36	2.40	28.8	122.0
EE 42/66/20	2.36	3.40	34.5	143.0
EE 55/55/21	3.54	2.50	43.7	123.0
EE 55/55/25	4.20	2.50	52.0	123.0
EE 65/66/27	5.32	3.93	78.2	147.0

EE

CORE TYPE	A_c (cm ²)	A_w (cm ²)	V_c (cm ³)	l_c (mm)
EI 19	0.24	0.517	0.950	39.6
EI 22/19	0.41	0.44	1.630	39.3
EI 25/19	0.42	0.819	2.02	48.6
EI 28/20	0.85	0.725	4.11	48.4
EI 30/26	1.11	0.791	6.45	58.1
EI 35/29	1.21	1.36	8.18	67.6
EI 40/35	1.48	1.08	11.3	76.9
EI 50/42	2.30	1.7	21.8	94.8
EI 60/44	2.48	2.94	27.2	109.7

EI

รูปที่ 5.10 แสดงตัวอย่างขนาดของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EI, EE และ ETD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 อุณหภูมิของหม้อแปลงสวิตซ์

การออกแบบหม้อแปลงสวิตซ์ จะถือได้ว่าประสบความสำเร็จถ้าในขณะที่คอนเวอร์เตอร์จ่ายกำลังที่โหลดสูงสุดแล้วหม้อแปลงไม่ร้อน (อุณหภูมิของหม้อแปลงสวิตซ์ขณะทำงานไม่ควรเกิน 80) หม้อแปลงจะร้อนเนื่องจากมีกำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงสูง ซึ่งจะเกิดจากกำลังงานสูญเสียภายในขดลวดทองแดงของหม้อแปลง และการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ อุณหภูมิของหม้อแปลงที่เพิ่มขึ้นขณะทำงาน เนื่องจากการสูญเสียในหม้อแปลงอาจคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta T = \left(\frac{23.5(P_w + P_c)}{\sqrt{A_e A_w}} \right)$$

เมื่อ ΔT คือ อุณหภูมิของหม้อแปลงที่เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้อง เป็น
 P_w คือ กำลังสูญเสียภายในขดลวดทองแดง เป็นวัตต์
 P_c คือ กำลังสูญเสียภายในแกนเฟอร์ไรต์ เป็นวัตต์
 A_e คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์ เป็นตารางเซนติเมตร
 A_w คือ ขนาดช่องพันขดลวดบอบบิ้น เป็นตารางเซนติเมตร

(ค่า ΔT ที่ได้จากสมการที่เป็นค่าโดยประมาณ ซึ่งจะให้ค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจริง ถ้า ΔT มีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 50 °C)

5.3.4 ฉากกัน RFI และ EMI

ฉากกัน RFI หรือ Faraday Screen เพิ่มเข้ามาในหม้อแปลงสวิตซ์ เพื่อป้องกันการเกิดกระแส RF ไหลผ่านระหว่างขดไฟรมารี่และเซคชั่นดาร์รี่ในหม้อแปลง เนื่องจากสนามไฟฟ้าระหว่างขดลวดอาจทำให้เกิดตัวเก็บประจุแฝงคร่อมระหว่างขดไฟรมารี่และเซคชั่นดาร์รี่ ฉากกัน RFI จะเป็นตัวผ่านทางให้กระแส RF ที่เกิดขึ้นไหลลงกราวด์

ฉากกัน RFI สามารถทำได้โดยใช้แผ่นตัวนำบาง ๆ และมีขนาดความกว้างเท่ากับระยะพันขดลวดบนบอบบิ้นเพื่อให้คลุมขดลวดได้ทั้งหมด พันรอบบนแกนเพื่อแยกสนามไฟฟ้าระหว่างขดลวดไฟรมารี่และขดเซคชั่นดาร์รี่ออกจากกัน พันให้ครบรอบ โดยที่ปลายของฉากกันซึ่งเกิดจากการเหลื่อมกันให้น้อยที่สุด เพื่อลดค่าตัวเก็บประจุในฉากกันซึ่งเกิดจากการเหลื่อมกันที่ปลายรอบ และให้ใช้ฉนวนรองระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดปลายเอาไว้ เพื่อป้องกันการเชื่อมถึงกันทางไฟฟ้าที่จุดเริ่มต้นและจุดปลายของฉากกัน

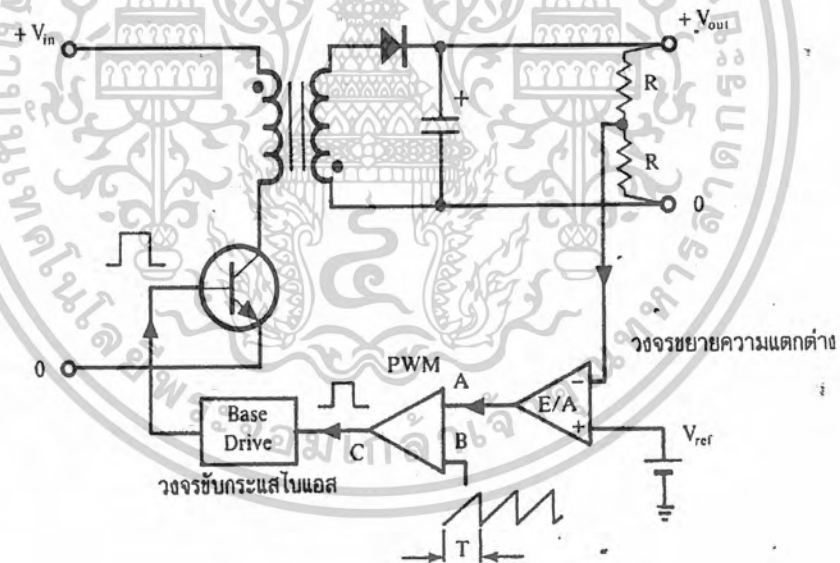
ฉากกัน EMI (Electromagnetic Screen) จะทำไว้เพื่อลดการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน EMI ซึ่งจุดที่จะก่อให้เกิดการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน EMI ได้มากที่สุดของหม้อแปลงสวิตซ์ก็คือช่องอากาศคั่นในแกนเฟอร์ไรต์ การลดสัญญาณรบกวน EMI จะทำได้โดยใช้แผ่นทองแดงที่มีความกว้างประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของความกว้างของบอบบิ้น พันรอบแกนเฟอร์ไรต์ เพื่อทำฉากกัน EMI คลุมรอบช่องอากาศคั่นเอาไว้ และบัดกรีเชื่อมจุดเริ่มต้นและจุดปลายเข้าด้วยกัน จะสามารถลดการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน EMI ลงได้ถึง 12 dB

5.4 วงจรควบคุมสำหรับสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย

วงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไป จึงมักนิยมใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) หรือ PWM เป็นหลักการใช้ PWM เมื่อควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์สามารถทำได้สองลักษณะการทำงานของวงจรควบคุม คือ ในโหมดควบคุมจากแรงดันและโหมดควบคุมกระแส

5.4.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน (Voltage Mode Control)

การทำงานของวงจรควบคุมในโหมดนี้ จะอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันที่เอาต์พุตมาควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อการคงค่าแรงดันเอาต์พุต

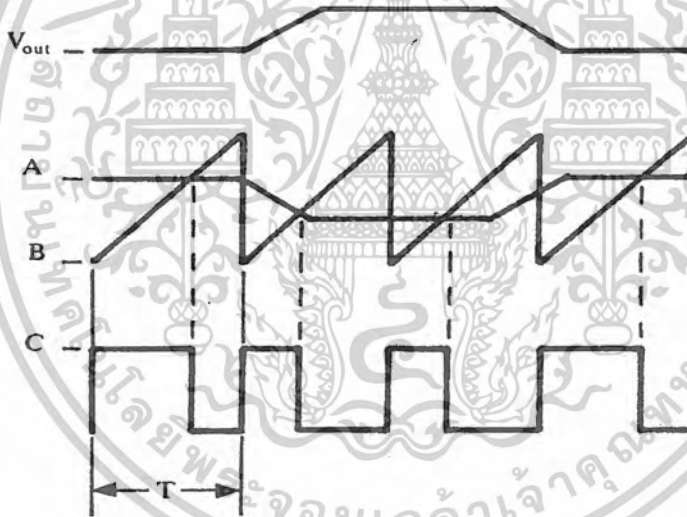


รูปที่ 5.11 แสดงวงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ใน โหมดควบคุมจากแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป วงจรควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V ของ วงจร เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยาย ความแตกต่าง E/A ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ ตำแหน่ง A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อยที่ตำแหน่ง B ของ PWM อีกครั้งหนึ่ง เอาต์พุตที่ได้จาก วงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อย และมีความกว้างของพัลส์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามผลมอดูเลชันของค่าแรงดันที่ตำแหน่ง A และ B ความกว้างของ พัลส์นี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์

เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ขาอินเวอร์ตซึ่งผลต่างของ แรงดันเอาต์พุตและแรงดันอ้างอิงที่จุด A จึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่ 180° กล่าวคือ เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่า มากขึ้น แรงดันที่จุด A จะมีค่าลดลง ความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าลดลงด้วย และ ช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ t_{ON} ก็จะมีค่าลดลง ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง แรงดันที่จุด A จะมีค่าเพิ่มขึ้น ความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าเพิ่มขึ้น t_{ON} ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้คอน เวอร์เตอร์สามารถลงค่าแรงดันเอาต์พุตเอาไว้ได้ ไอซีที่ใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ คือ TL494

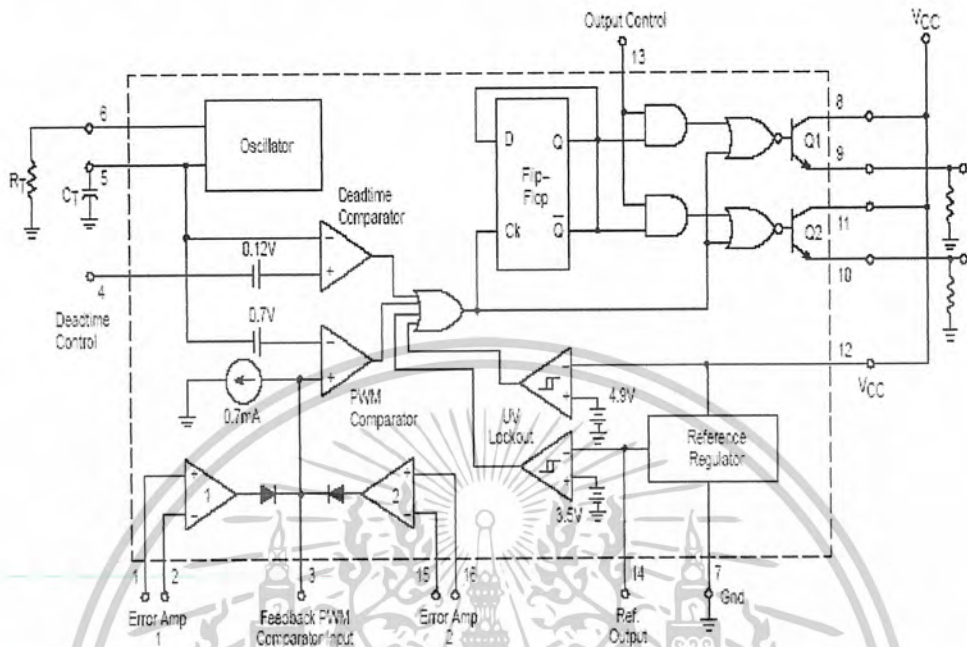


รูปที่ 5.12 แสดงลักษณะของความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของ PWM ซึ่งเป็นผลมาจากการมอดูเลต สัญญาณป้อนกลับและสัญญาณฟันเลื่อยตามรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 ไอซีเบอร์ TL 494 สำหรับโหมคควบคุมจากแรงดัน

เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ โดยทำงานด้วยโหมคควบคุมจากแรงดัน ซึ่งจะได้นำมาเป็นตัวอย่างการทำงานสำหรับวงจรควบคุมด้วยวิธีควบคุมจากแรงดัน



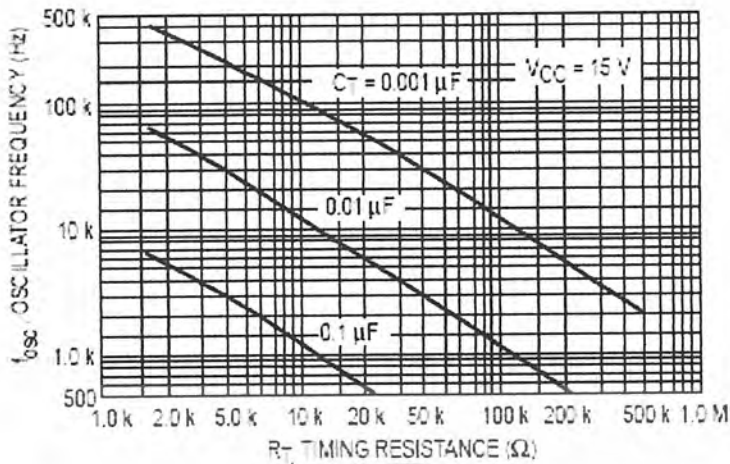
รูปที่ 5.13 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซี TL494 (ที่มา:Motorola)

การกำหนดเวลาการทำงาน

วงจรของ TL 494 เป็นวงจร PWM ที่มีความถี่คงที่ คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์ กำหนดโดยค่าของ R และ C จากภายนอกที่ขา 6 และขา 5 ของไอซี ค่าคาบเวลาการทำงานจะกำหนดได้จาก

$$T = \frac{R_T C_T}{1.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

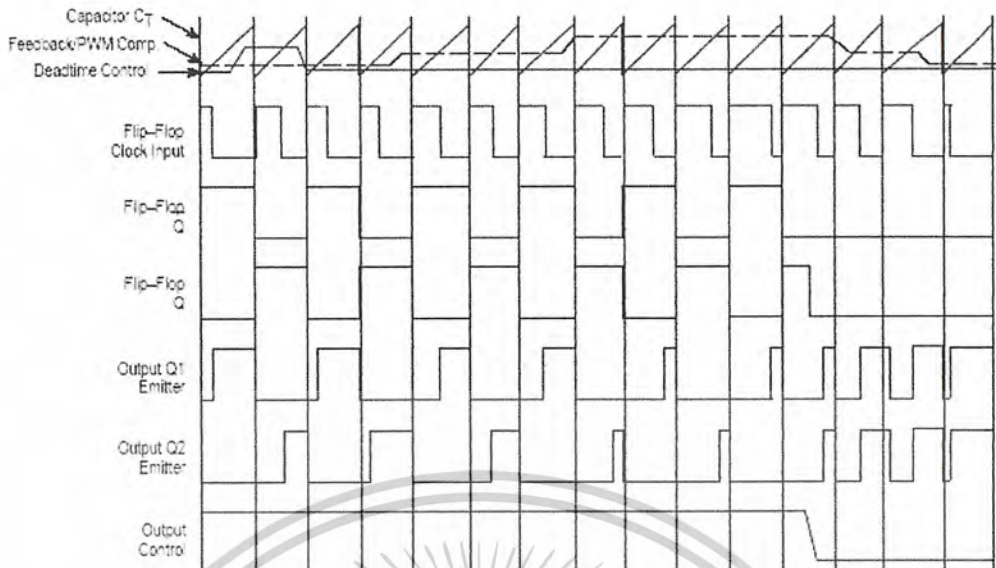


รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ของค่า $R_T C_T$ ในการกำหนดความถี่

การทำงานของไอซีในการลดค่าแรงดันของคอนเวอร์เตอร์

ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซี จะได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยที่ขา 3 กับแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง (Error Amp) ทั้ง 2 ตัวที่ PWM Comparator ส่วน NOR เกทที่ควบคุมทรานซิสเตอร์เอาต์พุต Q_1 และ Q_2 จะทำงานก็ต่อเมื่อขา C_k ของ Flip-Flop อยู่ในสถานะ “Low” เท่านั้น ซึ่ง C_k จะเป็น “Low” ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าแรงดันที่มาจาก Error Amp ทั้ง 2 ตัว นั่นคือแรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์หากมีค่าสูงขึ้น ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะลดลง ในทางกลับกันแรงดันป้อนกลับหากมีค่าลดลงความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะเพิ่มขึ้น

ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีนี สามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันขาที่ 3 จาก 0.5 โวลต์ จนถึง 3.5 โวลต์ ส่วน Error Amp ทั้งสองตัวจะมีช่วงของอินพุตคอมมอนโหมด ตั้งแต่ -0.3 ถึง $(V_{cc} - 2)$ โวลต์ และสามารถใช้ตรวจจับแรงดันหรือกระแสที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ได้ Error Amp ทั้ง 2 ตัว จะให้เอาต์พุตในลักษณะให้สถานะ high (Active high) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะ OR ที่ขา non-inverting ของ PWM Comparator การต่อกันในลักษณะนี้ Error Amp ตัวที่ทำให้เกิดความกว้างเอาต์พุตพัลส์ต่ำสุด จะเป็นตัวควบคุมความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของไอซี



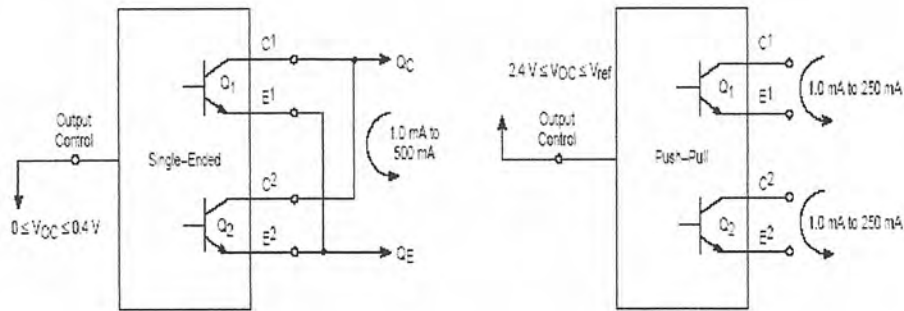
รูปที่ 5.15 แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL494

การกำหนดค่าเวลาเพื่อ t_D

TL 494 สามารถกำหนดค่าเวลาเพื่อ t_D ของวงจรได้ด้วย การต่อแรงดันระหว่าง 0 ถึง 3.3 โวลต์ที่ขา 4 ของไอซี แต่ถ้าหากแรงดันที่ขา 4 มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ ค่าเวลาเพื่อต่ำสุดของไอซีจะไม่ต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ของค่าคาบเวลาการทำงานเนื่องจากมีแรงดันออฟเซต 120 มิลลิโวลต์ต่ออยู่ภายใน ดังนั้น ช่วงเวลา t_{ON} สูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ที่ได้จากไอซีจะเท่ากับ 48% ของค่าคาบเวลา เมื่อต่อขา 13 (output control) เข้ากับขา 14 (+5 V_{ref}) และมีค่าเท่ากับ 96% ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 ลงกราวด์

5.4.3 การเลือกใช้ Q_1 และ Q_2 ที่เอาต์พุตของไอซี

เอาต์พุต Q_1 และ Q_2 ของไอซีสามารถทำงานได้ 2 โหมด คือทำงานพร้อมกันหรือสลับกันทำงาน ซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 (Output Control) โดยขณะที่ C_T ดิสชาร์จเอาต์พุตของ Dead-Time Comparator จะให้พัลส์ออกมา C_k จะมีสถานะเป็น "High" โดยการต่อเข้ากับขา 4 (+5 V_{ref}) Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานตามจังหวะของ Flip-Flop เพื่อใช้ขับคอนเวอร์เตอร์แบบพุก-พุด ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเป็น 2 เท่าของค่าคาบเวลาสัญญาณพื้นฐานของไอซี (ช่วงเวลานำกระแสสูงสุดเท่ากับ 96% ของค่าคาบเวลา)



รูปที่ 5.16 แสดงลักษณะการเลือกใช้อาต์พุตของ TL494

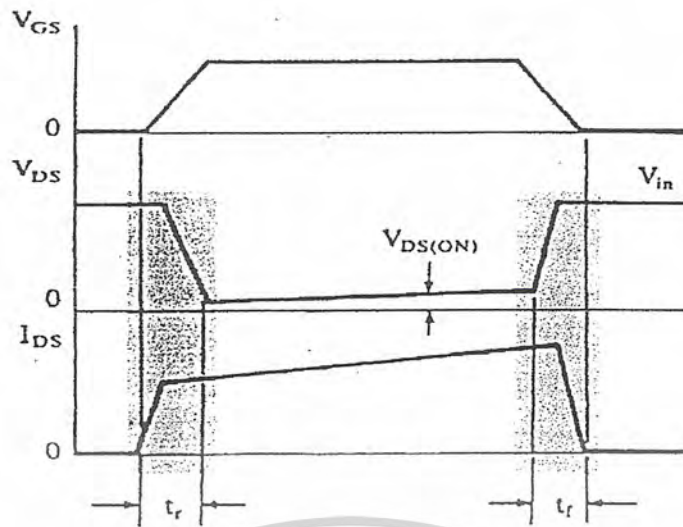
TL 494 ต้องการไฟเลี้ยงในช่วง $7 \leq V_{cc} \leq 40$ โวลต์มีแรงดันอ้างอิงภายใน $V_{ref} = 5$ โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 10 มิลลิแอมป์ เพื่อใช้กับวงจรภายนอกได้โดยมีค่าความถูกต้อง $\pm 1.5\%$ ความคลาดเคลื่อนทางอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า 50 มิลลิโวลต์เมื่อทำงานในช่วง 0 ถึง 70°C

5.5 เพาเวอร์มอสเฟต

เพาเวอร์มอสเฟต (MOSFET POWER TRANSISTOR) สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูงตั้งแต่ 50 กิโลเฮิร์ตซ์ ไปจนถึงประมาณ 200 หรือ 400 กิโลเฮิร์ตซ์ เนื่องจากมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น และการพัฒนาในปัจจุบันมีแนวโน้มจะทำให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้ที่ความถี่สูงขึ้นไปอีก ซึ่งจะส่งผลดีในการลดขนาดของคอนเวอร์เตอร์ ในส่วนวงจรขับของเพาเวอร์มอสเฟตนั้นสามารถทำได้ง่ายกว่า ปัจจุบันเพาเวอร์มอสเฟตจึงเข้ามาแทนที่ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์อย่างรวดเร็วในการผลิตสวิทช์เพาเวอร์ซัพพลายในตลาดอุตสาหกรรมปัจจุบัน

โครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตจะเป็นไปได้ทั้งในลักษณะ N-channel และ P-channel แต่จะอธิบายเฉพาะเพาเวอร์มอสเฟตชนิด N-channel เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



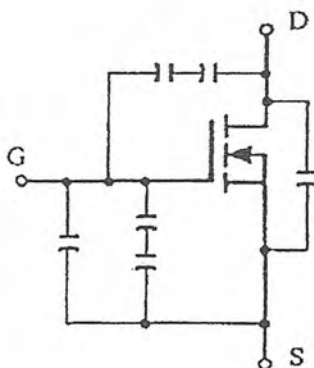
รูปที่ 5.17 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตเมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส ในส่วนที่แรงจะเป็นส่วนที่จะเกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนได้สูง

5.5.1 เงื่อนไขของวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต

การขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสที่ต่างกัน การขับกระแสไบแอสไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เนื่องจากมีเงื่อนไขการไบแอสที่แตกต่างกันสำหรับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ กระแสจะไหลผ่านคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ได้ก็ต่อเมื่อมีกระแสไบแอสไหลผ่านที่เบสและอิมิตเตอร์ แต่เพาเวอร์มอสเฟตจะมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สได้ก็ต่อเมื่อแรงดันตกคร่อมที่ขาเกตและซอร์สมีค่าอย่างต่ำเท่ากับค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) ของมัน แต่ใช้กระแสต่ำ การขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสจึงทำได้ง่าย และยุ่งยากน้อยกว่าไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก

ค่าความจุไฟฟ้าด้านอินพุต (Input Capacitance)

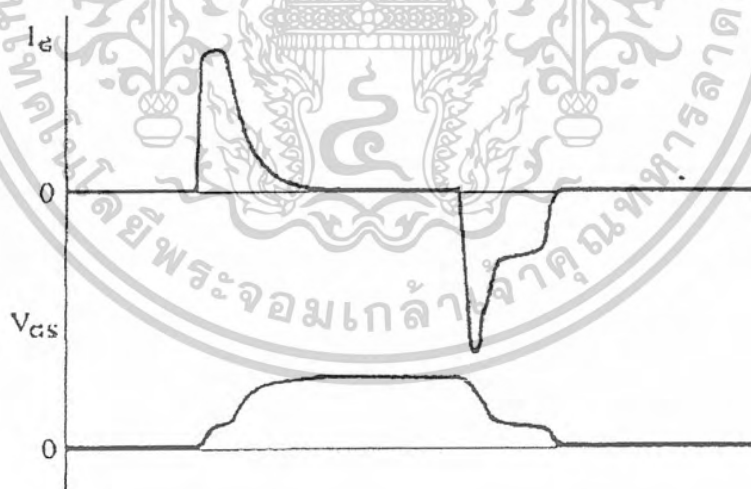
เนื่องจากลักษณะ โครงสร้างภายใน ตัวเพาเวอร์มอสเฟตจึงเหมือนกับมีตัวเก็บประจุที่อยู่รอบ ๆ ขาต่าง ๆ ของมันดังรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 แสดงตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่าง ๆ ภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต

ตัวเก็บประจุเหล่านี้บังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตต้องชาร์จประจุเข้าไปที่ตัวเก็บประจุเสียก่อน เพื่อให้แรงดันตกคร่อมที่ขาเกต V_{GS} มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาเวอร์มอสเฟตจึงจะเริ่มนำกระแสในทางกลับกัน การหยุดการนำกระแสเพาเวอร์มอสเฟตจะต้องทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกไปจนแรงดันตกคร่อมที่ขาเกต V_{GS} มีค่าลดลงต่ำกว่าค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาเวอร์มอสเฟตจึงหยุดนำกระแส ลักษณะของกระแสและแรงดันที่ขาเกตจึงมีลักษณะดังในรูปที่ 5.19

โดยทั่วไปแล้ว ค่าความจุของตัวเก็บประจุในตัวเพาเวอร์มอสเฟตนี้เอง จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของมัน

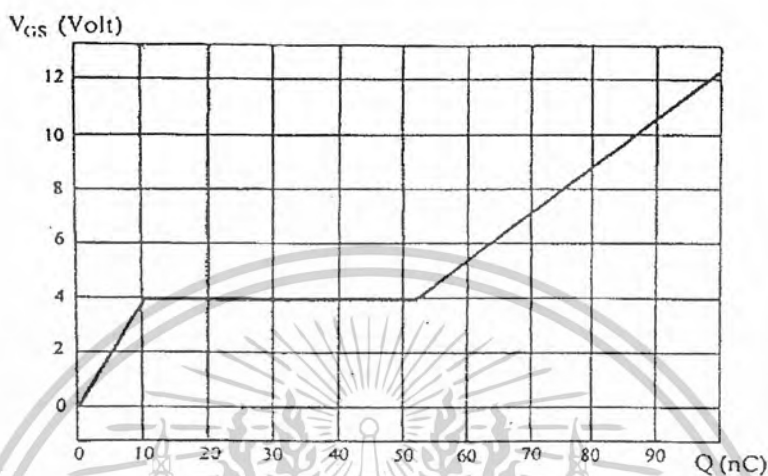


รูปที่ 5.19 แสดงลักษณะแรงดันและกระแสที่ขาเกตขณะเพาเวอร์มอสเฟตถูกไบแอสให้นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดเวลาในการเปลี่ยนสถานะ

ปกติแล้วผู้ผลิตมักจะให้กราฟของค่าแรงดัน V ที่เพิ่ม ในขณะที่ค่าประจุสะสมที่ขาเกตเพิ่มขึ้นหรือที่เรียกว่า Gate Charge Chart มาในค่าชืทด้วย (รูปที่ 5.20) กราฟนี้มีประโยชน์มากในการคำนวณค่ากระแสไบแอสเกต และเวลาในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟต



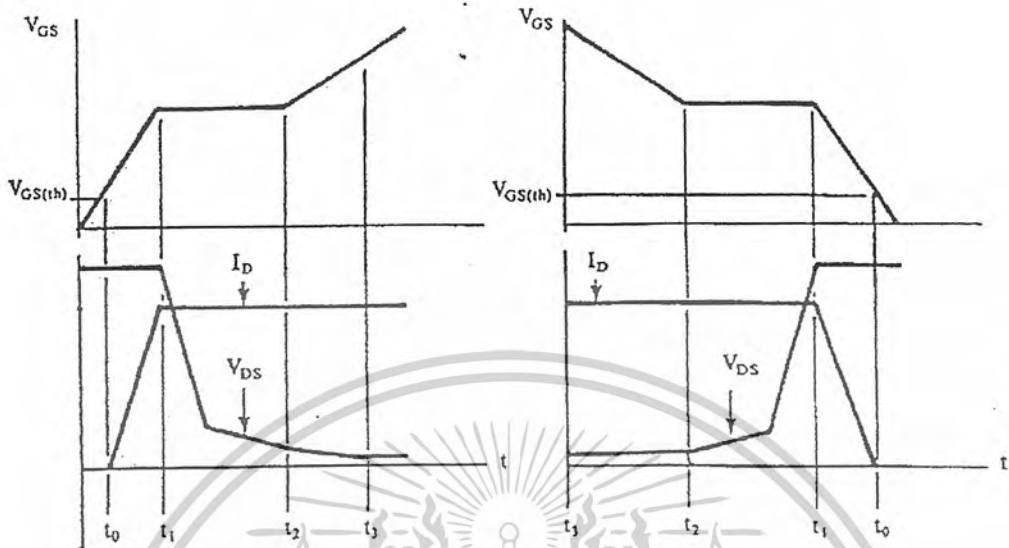
รูปที่ 5.20 แสดงตัวอย่างของ Gate Charge Chart

ลักษณะของกราฟจะแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ตามผลของประจุที่เพิ่มขึ้น คือ

1. ช่วงเวลานำก่อนเริ่มนำกระแส (turn on delay) t_0
2. ช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (rise time) $t_0 \rightarrow t_2$
3. ช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกิน (excess charge time) $t_2 \rightarrow t_3$

เมื่อเพาเวอร์มอสเฟตเริ่มซาร์จประจุที่ขาเกตจนกระทั่งพ้นช่วงเวลานำก่อนเริ่มนำกระแส เมื่อแรงดันที่ขาเกตมากกว่าแรงดันขีดเริ่ม $V_{GS(th)}$ จึงจะเริ่มมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สที่เวลา t_0 ค่าของแรงดันจะยังไม่ลดลงจนกว่าจะผ่านเวลาเท่ากับ แรงดันตกคร่อมเดรนและซอร์ส V_{DS} จึงมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจากค่าแรงดันที่ประมาณ 90% จนเหลือเพียง 10% ของค่าแรงดันตกคร่อม V_{DS} สูงสุดเพาเวอร์มอสเฟตจะนำกระแสได้อย่างเต็มที่ในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 นี้เองและแรงดันตกคร่อมที่ ขาเกต V_{GS} จะคงที่จนกว่าเพาเวอร์มอสเฟตสามารถนำกระแสได้อย่างเต็มที่ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ในช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกิน ค่าความต้านทานระหว่างเดรนและซอร์สจะมีค่าลดลงได้เรื่อยๆ หากปล่อยให้มีการสะสมประจุต่อไปในช่วงเวลา t_2 ถึง t_3 แต่ประจุสะสมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการหน่วงขณะเริ่มหยุดนำกระแส

เนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตจะต้องใช้เวลามากในการคายประจุส่วนเกินนี้ทิ้งไป ดังนั้นการขับเพาเวอร์มอสเฟตที่ขาเกตด้วยแรงดันสูงเกินความจำเป็น จะทำให้ช่วงเวลาที่เริ่มหยุดนำกระแสเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลเสีย

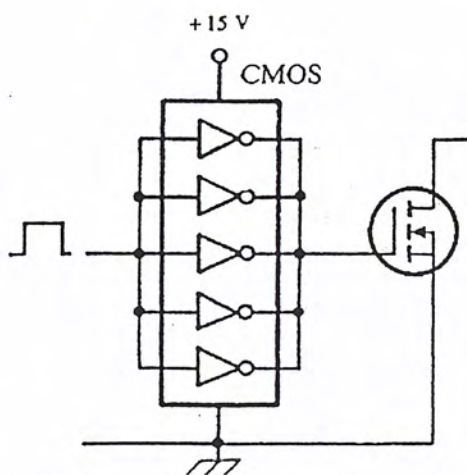


รูปที่ 5.21 (ก) แสดงลักษณะการชาร์จประจุที่ขาเกตตามเวลาที่มีผลต่อการเริ่มนำกระแส
(ข) เมื่อเพาเวอร์มอสเฟตเริ่มหยุดนำกระแส

5.5.2 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย CMOS

เพาเวอร์มอสเฟตสามารถต่อโดยตรงเข้ากับไอซีชนิด CMOS ได้ ไอซี CMOS มาตรฐานเช่นตระกูล 1400 จะมีเอาต์พุตเป็นเฟตในลักษณะคอมพลิเมนต์ารี N หรือ P channel อยู่แล้ว ไอซีตระกูล 1400 สามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟเลี้ยงตั้งแต่ 3 ถึง 18 โวลต์ โดยทั่วไปแรงดันไฟเลี้ยงที่ 12 โวลต์ ถึง 15 โวลต์ จะเหมาะสมสำหรับการใช้ขับเพาเวอร์มอสเฟต

สำหรับการขับเพาเวอร์มอสเฟตที่ต้องนำกระแสสูงๆ การต่อ CMOS ในลักษณะขนานกัน ดังรูปที่ 2.22 จะสามารถเพิ่มกระแสที่ขาเกต และทำให้ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นไปได้อย่างรวดเร็วขึ้นด้วย



-รูปที่ 5.22 แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสด้วยไอซี CMOS

5.5.3 ข้อดีของเพาเวอร์มอสเฟตเมื่อเทียบกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

1. เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยกระแส แต่เพาเวอร์มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยแรงดัน ดังนั้นในการออกแบบวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตจึงทำได้ง่ายกว่า ใช้กำลังไฟที่น้อยกว่าใช้อุปกรณ์ในการสร้างน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวงจรขับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์
2. เพาเวอร์มอสเฟตมีความเร็วในการทำงานแบบสวิสซิ่งสูงกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์
3. พื้นที่ในการทำงานที่ปลอดภัยของเพาเวอร์มอสเฟตจะมากกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เนื่องจากพื้นที่ในการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะถูกจำกัดด้วย Second Breakdown

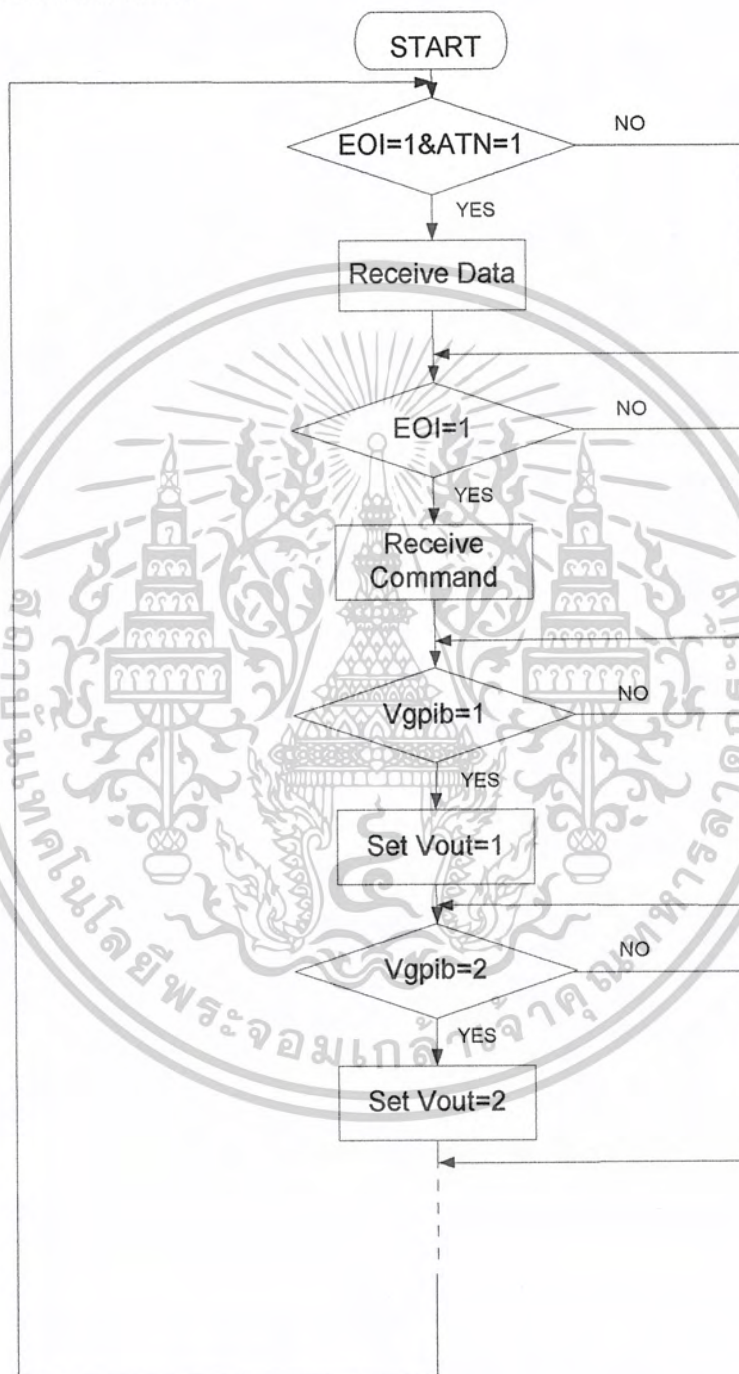
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 การออกแบบส่วนควบคุมแหล่งจ่ายไฟสวิตชิง

ในส่วนนี้จะใช้ Microcontroller (PIC16877) เป็นตัวควบคุมเช่นเดียวกับส่วนของ Interface Card ดังนั้นกระบวนการ Handshack จะมีลักษณะที่เหมือนกัน

5.6.1 การออกแบบส่วน Program

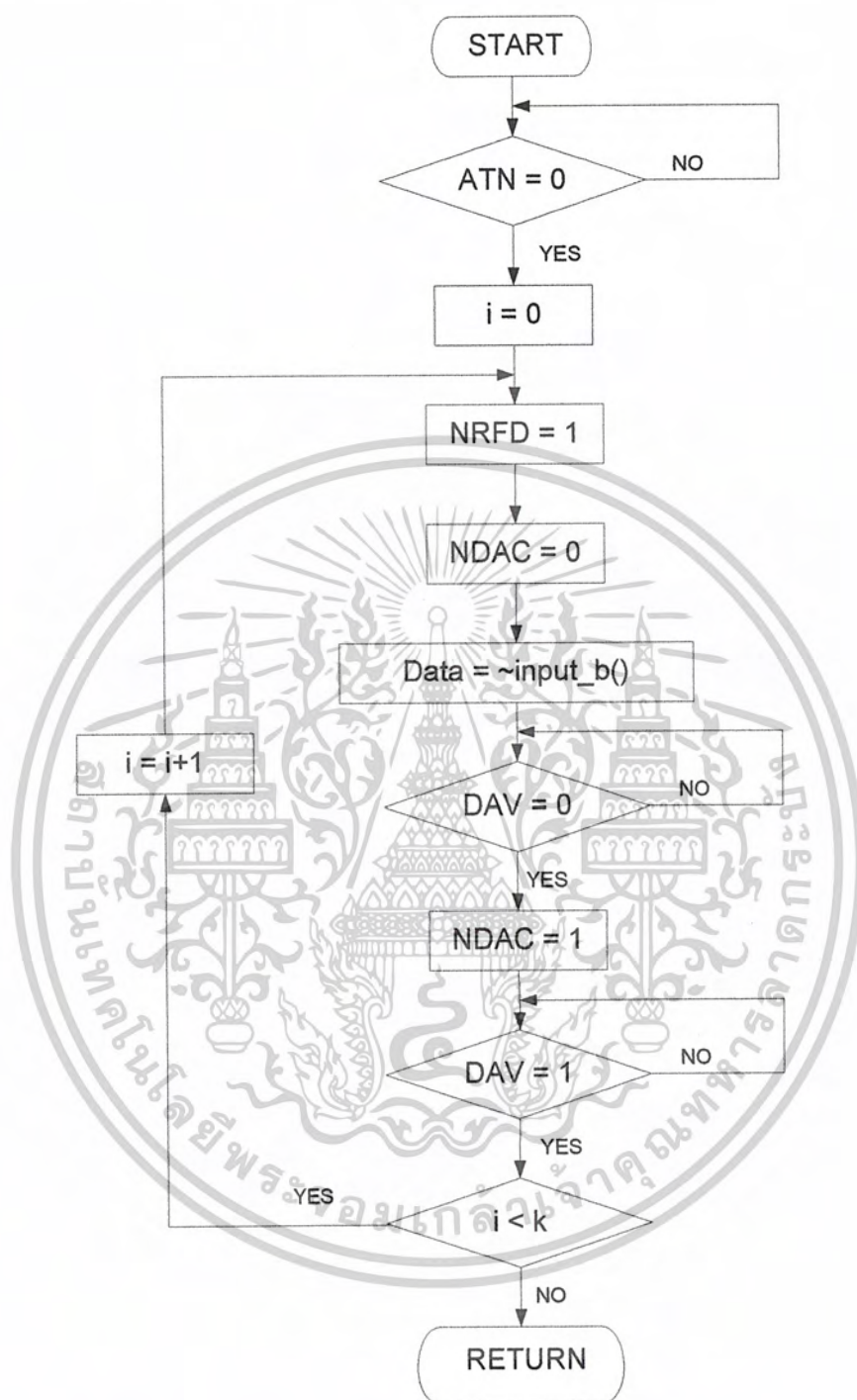
5.6.1.1 ส่วนโปรแกรมหลัก



รูปที่ 5.23 โฟลว์ชาร์ตแสดงส่วนโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

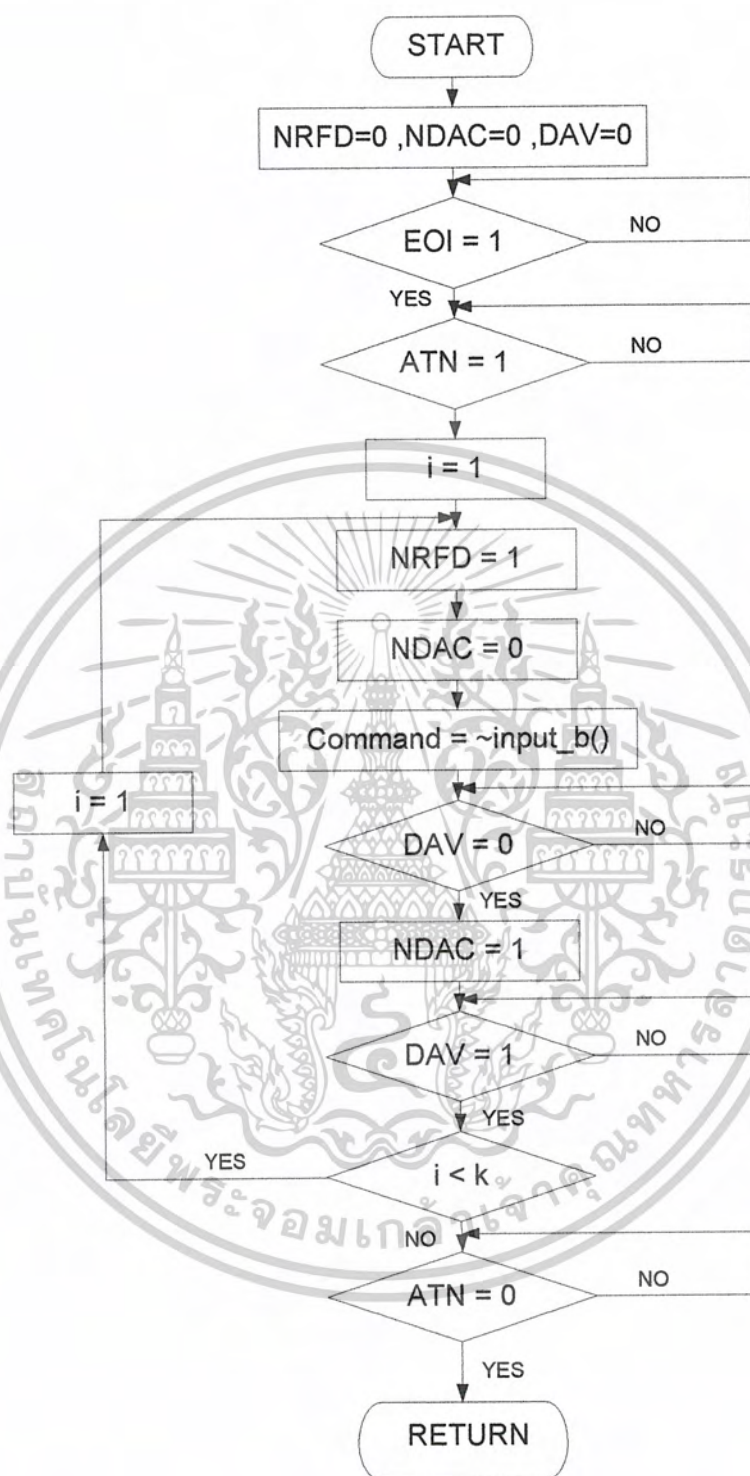
5.6.1.2 โปรแกรมย่อยส่วนรับรหัสคำสั่งมาตรฐาน



รูปที่ 5.24 ไฟล์ชาร์ตแสดงโปรแกรมย่อยส่วนรับรหัสคำสั่งมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.1.3 โปรแกรมย่อยส่วนรับชุดข้อมูลคำสั่ง



รูปที่ 5.25 โฟลว์ชาร์ตแสดงโปรแกรมย่อยส่วนรับชุดข้อมูลคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.2 การออกแบบส่วน Hardware

5.6.2.1 Microcontroller

ในส่วนของ Microcontroller ของส่วนควบคุม Switching Power Supply นี้จะทำหน้าที่รับคำสั่งมาจาก Interface Card ผ่านทางพอร์ต B และเปลี่ยนแปลงคำสั่งนั้นให้เป็นการควบคุมในที่นี้จะเป็นการปรับค่าแรงดันผ่าน Digital to Analog Converter (DAC0800) ผ่านพอร์ต D และใช้แรงดันนี้เป็น Input ในการปรับค่าแรงดันของ Switching Power Supply อีกทีหนึ่ง

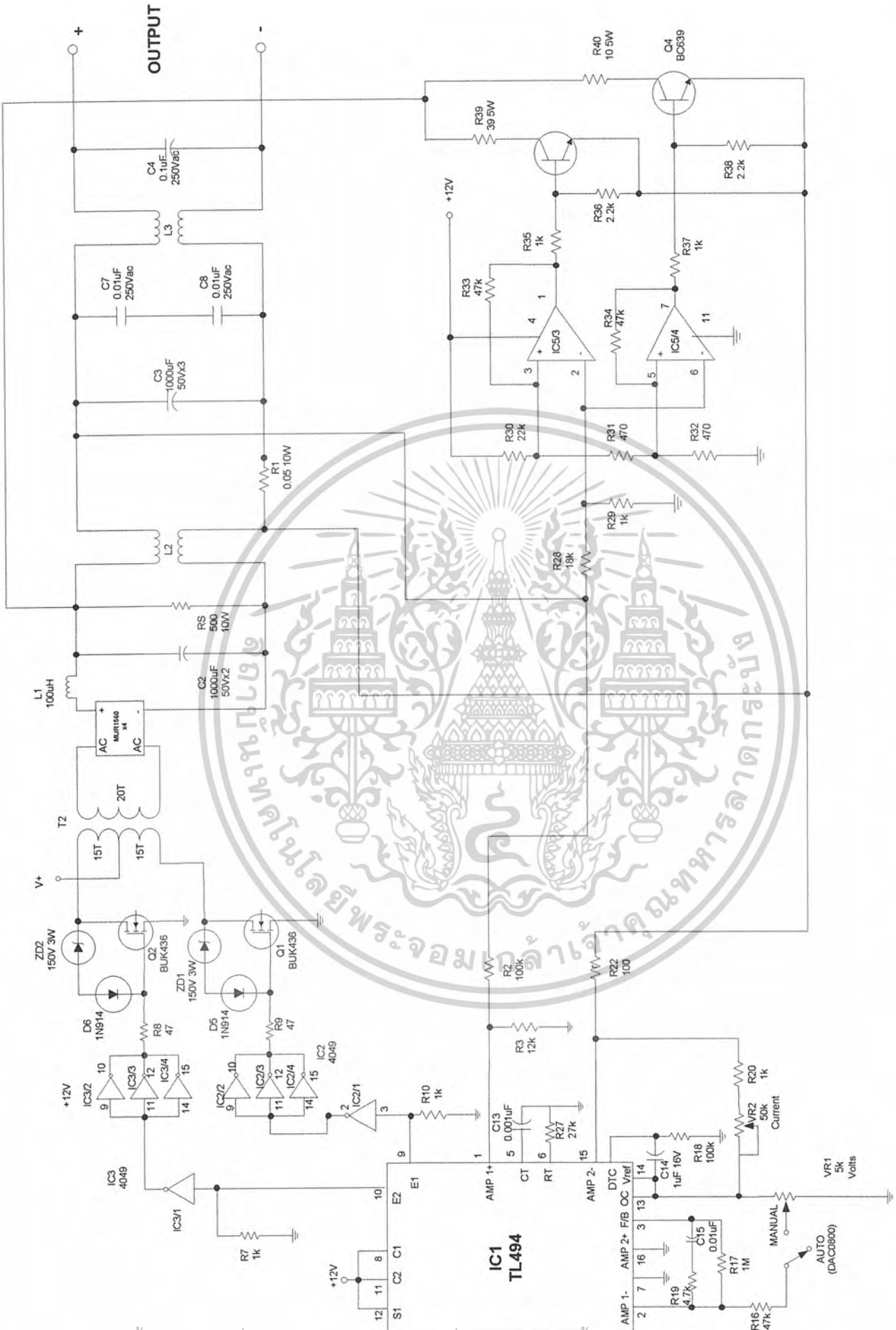
5.6.2.2 Digital to Analog Converter (DAC0800)

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการปรับค่าแรงดันเอาต์พุตของ Switching Power Supply โดยรับ Input เป็นสัญญาณ Digital จากพอร์ต D ของ Microcontroller และทำการเปลี่ยนเป็นแรงดันทางด้าน Output 0-5V เพื่อนำสัญญาณนี้ไปใช้ในการควบคุมแรงดันเอาต์พุตของ Switching Power Supply

ในส่วนที่เหลือคือ วงจร Regulator และการต่อพอร์ต GPIB จะมีลักษณะเหมือนกับวงจรที่อยู่บน Interface Card



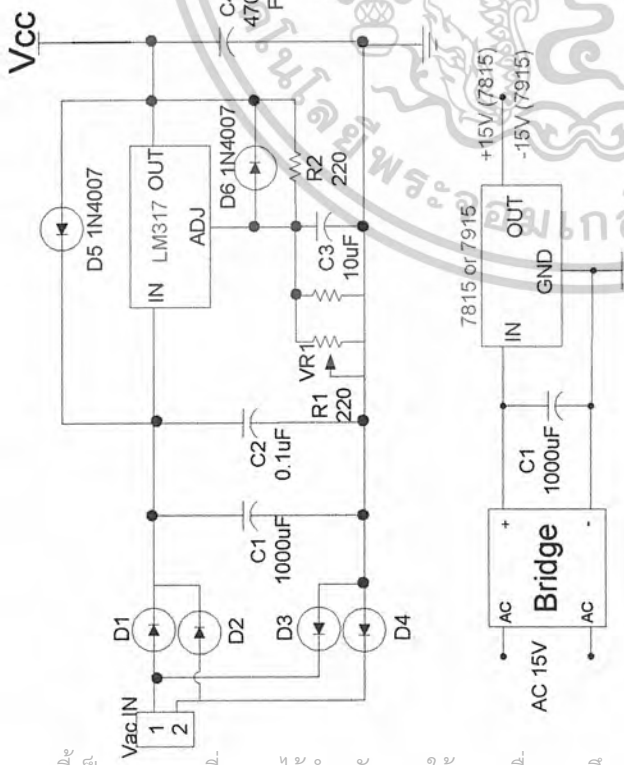
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



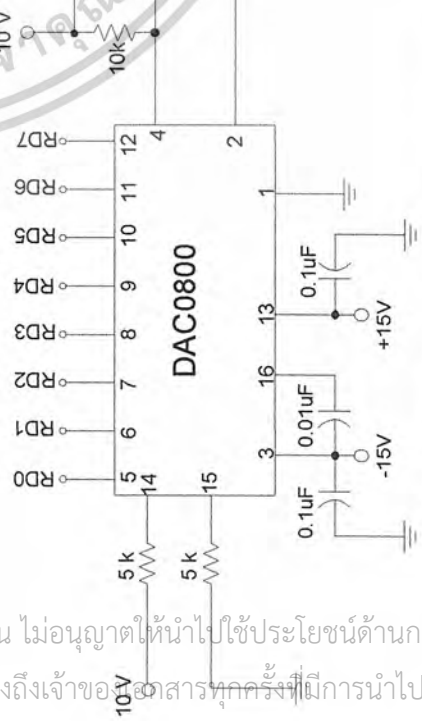
รูปวงจรของ Switching Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

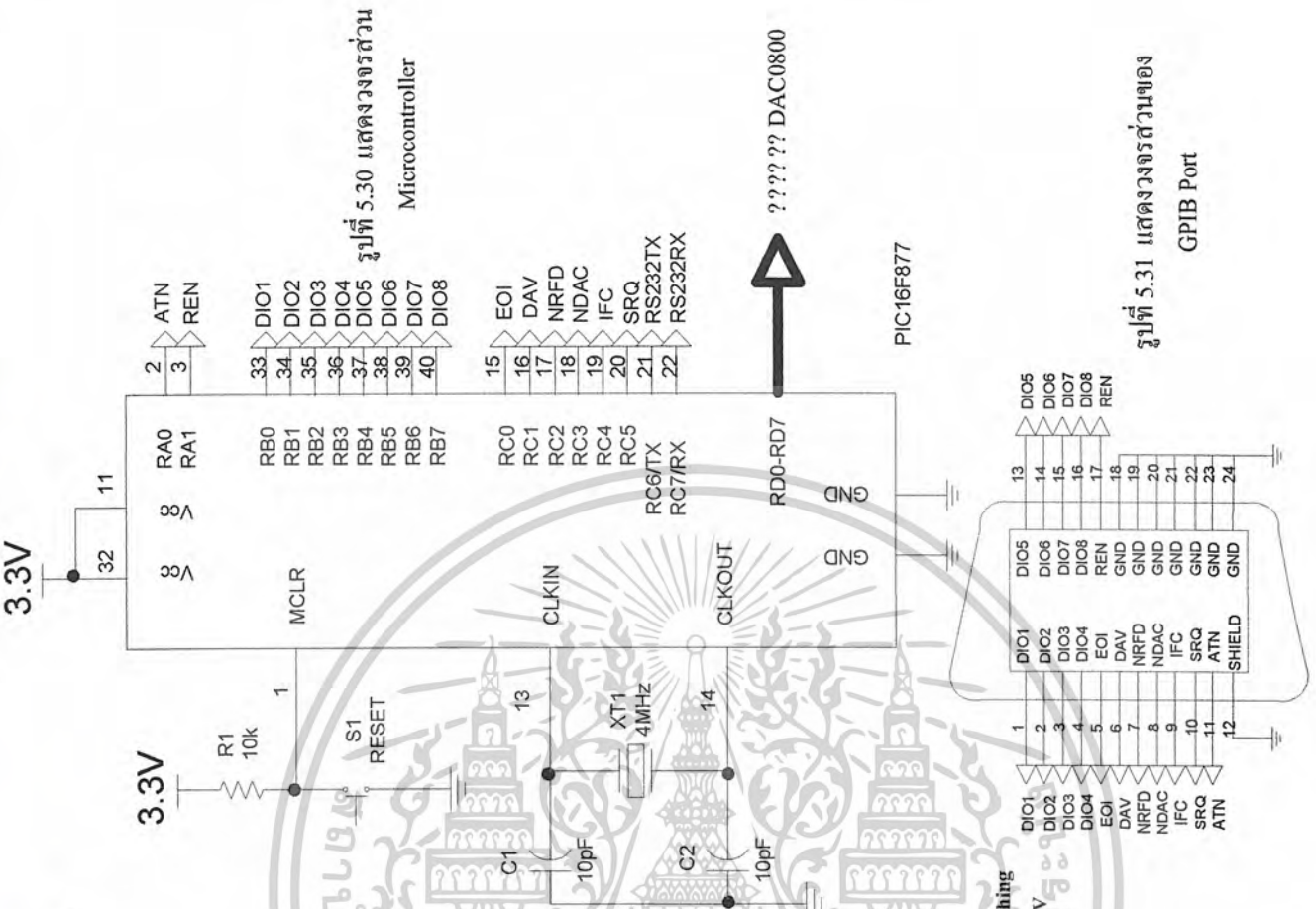
รูปแสดงวงจรควบคุม Switching Power Supply



รูปที่ 5.28 แสดงวงจรมูลฐาน Regulator



รูปที่ 5.29 แสดงวงจรมูลฐาน Digital to Analog Converter



รูปที่ 5.30 แสดงวงจรมูลฐาน Microcontroller

รูปที่ 5.31 แสดงวงจรมูลฐานของ GPIB Port

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

6.1 การทดลองส่วนการควบคุม

ทำการทดลองโดยทำการป้อนค่าแรงดันที่ต้องการปรับเข้าไปทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ทำการเขียนขึ้นมา แล้วทำการวัดแรงดันเอาต์พุตที่ออกมาจาก Switching Powersupply ว่ามีค่าตรงกับค่าที่ต้องการหรือไม่

ตารางที่ 6.2 แสดงการปรับค่าและค่าความผิดพลาดจากการปรับแบบ Auto

ค่าแรงดันที่ป้อนจากโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ (V)	ค่าแรงดันที่วัดได้จาก Output ของ Switching Powersupply (V)	ความผิดพลาด (%)
1	1.04	4
2	2.01	0.5
5	4.91	1.8
10	9.78	2.2
15	15.06	0.4
20	19.85	0.75
25	25.0	0
30	29.8	0.66

6.2 การทดลองส่วนแหล่งจ่ายไฟสวิตติง

6.2.1 การทดลองการวัดโหลดเรกกูเลชัน (Load Regulation)

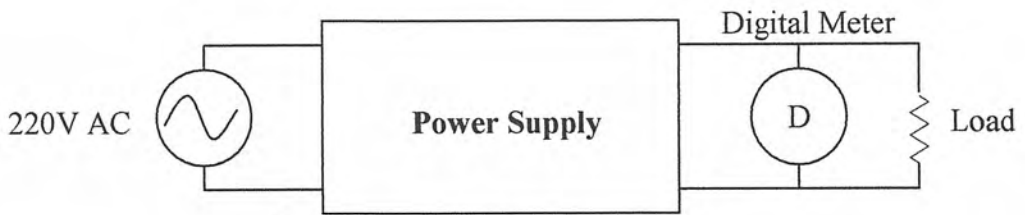
อุปกรณ์ที่ใช้

- ตัวต้านทาน
- Digital Multimeter

การทดสอบ

- ต่อดังตามรูปที่ 6.1 และปรับแรงดันเอาต์พุตของ Power Supply ไว้ที่ 5 V
- วัดค่าแรงดันเอาต์พุตที่ No Load และ Full Load แล้วบันทึกผลในตารางที่ 6.2
- ทำการปรับค่าแรงดันเอาต์พุตของ Power Supply ไว้ที่ 10,15,20,25,30,35,40 V แล้วทำการทดลองเช่นเดียวกัน ตามลำดับ คำนวณหา %regulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 แสดงการวัดค่า Load Regulation

ตารางที่ 6.2 แสดงค่า Load Regulation ค่าแรงดันต่างๆ ของแหล่งจ่ายไฟสวิดิ่ง

V_{supply} (V)	$I(\text{load})$ (A)	V_{out} (V)	%regulation (%)
5	0.5	5	0
	1.0	5	0
	2.0	5	0
10	0.5	10	0
	1.0	10	0
	2.0	9.96	0.4
15	0.5	15	0
	1.0	14.9	0.66
	2.0	14.8	1.33
20	0.5	20	0
	1.0	19.8	1.0
	2.0	19.7	1.5
25	0.5	25	0
	1.0	24.7	1.2
	2.0	24.6	1.6
30	0.5	30	0
	1.0	29.6	1.33
	2.0	29.5	1.66
35	0.5	34.9	0.28
	1.0	34.5	1.42
	2.0	34.4	1.71
40	0.5	39.9	0.25
	1.0	39.4	1.5
	2.0	39.2	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การทดลองวัดสัญญาณรบกวน (%Ripple)

อุปกรณ์ที่ใช้

- Oscilloscope
- ตัวต้านทาน
- Digital Multimeter

การทดสอบ

- ต้องจรรยาตามรูปที่ 6.2
- ปรับแรงดันเอาต์พุตของ Power Supply ไปที่ 5 V
- ต่อ Oscilloscope วัดค่าแรงดันรบกวนที่เอาต์พุตรวม R แล้วบันทึกผล
- ทดสอบเช่นเดียวกับที่ผ่านมา แต่เปลี่ยนเป็นภาคจ่ายไฟเป็น 10,15,20,25,30,35,40V โดยใช้ $R_L = 16.5\Omega$ บันทึกผลตารางที่ 6.3
- คำนวณค่า %Ripple โดย $\% \text{Ripple} = [V_{\text{ripple(rms)}}/V_o(\text{DC})] \times 100\%$



รูปที่ 6.2 แสดงการหาค่า % Ripple

ตารางที่ 6.3 แสดงค่า %Ripple ที่ค่าแรงดันต่างๆ ของแหล่งจ่ายไฟสวิดซึ่ง

Vout (V)	I _{out} (A)	V _{Ripple} (mV _{P-P})	V _{Ripple} (rms)	%Ripple
5	0.303	300	86.60	1.7320
10	0.606	260	75.05	0.7505
15	0.909	280	80.82	0.5388
20	1.212	260	75.05	0.3752
25	1.515	300	86.60	0.3464
30	1.818	340	98.14	0.3271
35	2.121	320	92.37	0.2639
40	2.424	200	57.73	0.1443

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

บทสรุปและแนวทางการพัฒนา

บทสรุป

1. ในการสร้าง GPIB Interface Card ขึ้นมาทดแทนการ์ดที่มีราคาแพง การ์ดที่ทำการสร้างขึ้นมานั้นสามารถทำงานได้เป็นอย่างดีถือว่ามีข้อผิดพลาดน้อย
2. ส่วนของโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาเพื่อควบคุมเครื่องมือวัดต่างๆ มีฟังก์ชันควบคุมในการใช้งานเบื้องต้นครบถ้วน
3. ส่วนของแหล่งจ่ายไฟสวิตซึ่งสามารถจ่ายแรงดันได้ตั้งแต่ 0-40 โวลต์
4. ในส่วนของการควบคุมแหล่งจ่ายไฟสวิตซึ่งสามารถรับค่ามาจาก GPIB Interface Card ได้ แต่ยังสามารถปรับค่าได้ไม่ละเอียดนัก

แนวทางการพัฒนา

1. พัฒนาเพิ่มส่วนการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน Universal Serial Bus Port (USB Port)
2. สามารถพัฒนาโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ให้มีฟังก์ชันในการควบคุมเครื่องมือวัดหลายชนิดมากขึ้น และมีฟังก์ชันควบคุมมากขึ้น
3. พัฒนาลำดับของการนำค่าที่รับได้มาจาก GPIB Interface Card ไปควบคุมแหล่งจ่ายไฟสวิตซึ่งให้ค่าที่ละเอียดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] HAMEG Instruments. “HOSS Manual”. <http://www.hameg.com>
- [2] นพดล มณีรัตน์. “การออกแบบและการสร้างระบบการส่งข้อมูลแบบขนานสำหรับการควบคุมเครื่องมือวัดผ่านระบบมาตรฐาน IEEE-488 (GPIB)”. วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540.
- [3] ประจัน พลังสันติกุล. “เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์”. กรุงเทพฯ: บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 2547.
- [4] ชัยวุฒิ จันทมา. “การเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic 6.0”. กรุงเทพฯ: หจก.ไทยเจริญการพิมพ์, 2537.
- [5] สมศักดิ์ ศรีจรเกียรติ. “เรียน Visual Basic ด้วยตนเอง”. กรุงเทพฯ: บริษัท บิบลีโอไฟล์ส์ พับลิชชิง, 2541.
- [6] ญัฐพล วงศ์สุนทรชัย, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. “ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x”. บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาแนะนำและให้คำปรึกษาจาก รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาสังวรศิลป์ พี่ตทา จารุงศ์รังสี และพี่น้องญาติ ลักษณ์ ประณัย ที่ช่วยแนะนำชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาให้เสมอ ผู้จัดทำจึงขอขอบคุณทุกท่านจากใจจริงไว้ ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

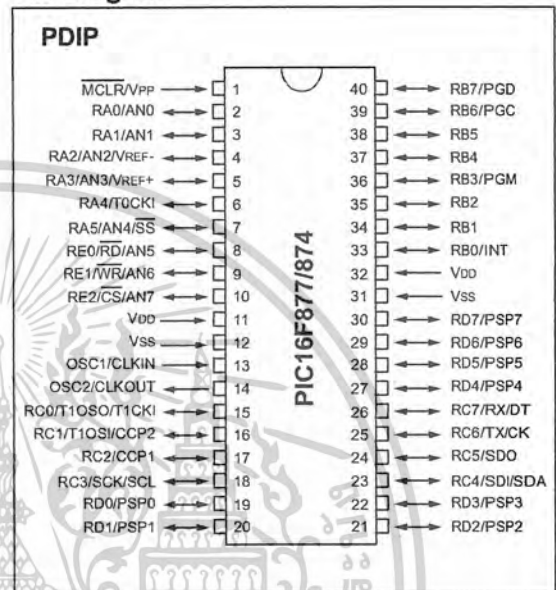
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

PIC16F87X

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions



HAMEG[®]
Instruments

DEUTSCH • ENGLISH • FRANÇAIS • ESPAÑOL



MANUAL • HANDBUCH • MANUEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operation of test instruments using the IEEE-488 bus

The IEEE-488 bus, also known as the General Purpose Interface Bus (GPIB), is a standardized interface system through which interconnected test instruments (e.g. multimeters, power supplies, etc.) or peripherals (e.g. printers, plotters, etc.) and a controller (which can be a computer) can communicate. There are two types of data which can be transferred over the bus: so-called interface messages and device-dependent messages.

The Controller can instruct a device to receive data or transmit data. Devices able to receive data are designated as Listeners. Devices that can transmit data are called Talkers. A given device can be a Listener, a Talker, or both. The designations „Talker” and „Listener” are defined in the IEEE-488 standard, and will be used here as well to indicate the different device states.

History of the IEEE-488 bus

Originally designed by Hewlett-Packard as the Hewlett-Packard Interface-Bus (HP-IB) and marketed from 1965 on for interconnection and control of programmable instruments, the HP-IB standard was adopted in 1975 by the IEEE committee in the United States as the IEEE-488 standard, being officially labelled the General Purpose Interface Bus, and in 1977 in Europe as the IEC 625-1 standard. The European and American standards use different connectors:

- IEC 625-1: 25-pin connector
- IEEE-488: 24-pin connector

However, in spite of their different names and choice of connector types, the European IEC 625-1 bus, the American IEEE-488 or GPIB bus, and the HP-IB bus are fully compatible with one another as regards electrical levels and connections, and where programming is concerned. Adapters are available for mating IEEE-488 connectors with IEC-625 connectors. In the following, the term IEEE-488 bus will be used, since the 24-pin connector specified by the American standard is used by HAMEG's test instruments.

Capabilities of the IEEE-488 bus

For operation of a number of devices connected to a bus, each device is assigned a unique address called the primary address between 0 and 30. On HAMEG equipment, the primary address is selected using DIP switches. The System Controller uses these primary addresses to route information and commands over the bus to the proper instrument or device. In order to instruct a device to begin sending data, the System Controller addresses it as a Talker. To enable an instrument's receiver function, it is addressed as a Listener.

Not every instrument has both Talker and Listener functions, like multimeters, for instance. Some devices can only act as Listeners (e.g. printers), and some only have Talker capabilities (such as a voltmeter that only sends measurements). Only one device at a time on an IEEE-488 bus may be enabled as a Talker, while any number can be Listeners at once. If two or more computers are connected to a bus, only one of them may act as the System Controller at any given time. It then has active controller status, and is referred to as the Controller-in-Charge (CIC). It can also address the other computers and instruct them to send or receive data, or transfer active control to another computer and become an idle controller, i.e. it can then be instructed to send or receive data as a Talker or Listener by the new CIC.

It is also possible for data to be sent over the bus even without the mediation of a controller. This works if the transmitting device has „Talk-only” status, and if the receiving device (or devices) has „Listen-only” status. Data may then be passed from the former to the latter without their being addressed first.

Physical configuration of the IEEE-488 bus

The IEEE-488 bus uses 16 signal lines, 7 ground return lines and one shield drain line. Both of the valid standards - IEC- 625 of the International Electrotechnical Commission

and IEEE-488 of the Institute of Electrical and Electronic Engineers - contain binding stipulations for assignment of the lines to the device connectors (Figure 1). Either ribbon cables or round cables with single or double shielding and twisted conductors are used.

Up to a total of 16 devices - including instruments, controllers, and peripherals - can be connected to the IEEE-488 bus at any one time. This restriction to 16 devices is a consequence of the limited driving capability of the bus. It is defined at ≤ 48 mA. The current consumption of each device driver is ≤ 3 mA (15 devices + 1 controller with 3 mA each = 48 mA). The IEEE-488 bus uses negative logic with standard TTL logic levels between 0V and 5V. Logic 0 is a -TTL high level (≥ 2.0 V), and logic 1 is a TTL low level (≤ 0.8 V).

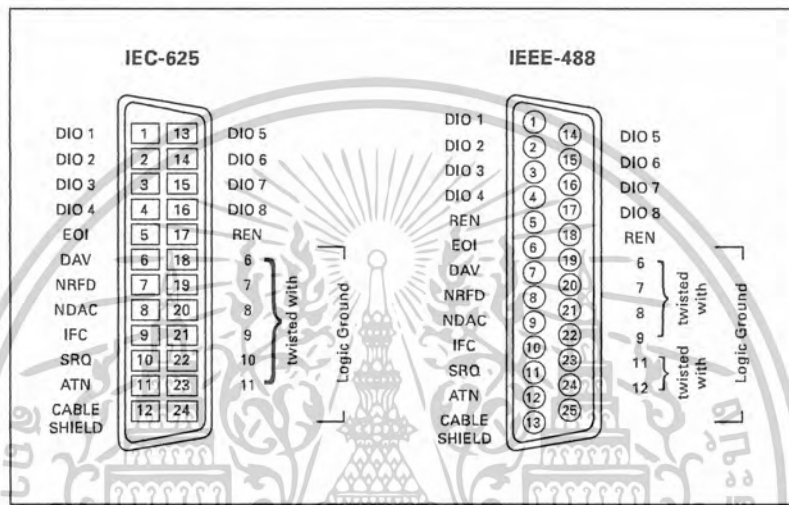


Figure 1: IEEE-488 bus connector configuration

Attention: The 25-pin connector specified by the IEC-625 standard is easy to confuse with the 25-pin connector normally used for RS-232C-serial interfaces. Use of the wrong connector can result in serious damage to the interface electronics!



Figure 2: Shielded IEEE-488 round multiconductor

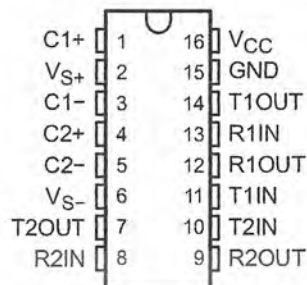
No other interface for communications with peripheral devices is so precisely defined as the IEEE488 bus, from the bus protocol all the way to connector pin assignments. The only limitations for connection of devices are that one device should be added for every two meters of cable (although they need not be equally spaced along the length

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS047L - FEBRUARY 1989 - REVISED MARCH 2004

- Meets or Exceeds TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operates From a Single 5-V Power Supply With 1.0- μ F Charge-Pump Capacitors
- Operates Up To 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- ± 30 -V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- ESD Protection Exceeds JESD 22 - 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Upgrade With Improved ESD (15-kV HBM) and 0.1- μ F Charge-Pump Capacitors is Available With the MAX202
- Applications
 - TIA/EIA-232-F, Battery-Powered Systems, Terminals, Modems, and Computers

MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE
MAX232I . . . D, DW, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The MAX232 is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply TIA/EIA-232-F voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts TIA/EIA-232-F inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V, a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept ± 30 -V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into TIA/EIA-232-F levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

ORDERING INFORMATION

TA	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	PDIP (N)	Tube of 25	MAX232N	MAX232N
	SOIC (D)	Tube of 40	MAX232D	MAX232
		Reel of 2500	MAX232DR	
	SOIC (DW)	Tube of 40	MAX232DW	MAX232
		Reel of 2000	MAX232DWR	
SOP (NS)	Reel of 2000	MAX232NSR	MAX232	
-40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube of 25	MAX232IN	MAX232IN
	SOIC (D)	Tube of 40	MAX232ID	MAX232I
		Reel of 2500	MAX232IDR	
	SOIC (DW)	Tube of 40	MAX232IDW	MAX232I
		Reel of 2000	MAX232IDWR	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



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

LinASIC is a trademark of Texas Instruments.

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

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS047L - FEBRUARY 1989 - REVISED MARCH 2004

Function Tables

EACH DRIVER

INPUT TIN	OUTPUT TOUT
L	H
H	L

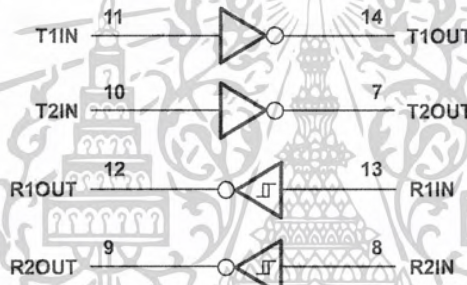
H = high level, L = low level

EACH RECEIVER

INPUT RIN	OUTPUT ROUT
L	H
H	L

H = high level, L = low level

logic diagram (positive logic)



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS047L – FEBRUARY 1989 – REVISED MARCH 2004

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

Input supply voltage range, V_{CC} (see Note 1)	.....	-0.3 V to 6 V
Positive output supply voltage range, V_{S+}$	.....	V_{CC} - 0.3$ V to 15 V
Negative output supply voltage range, V_{S-}	.....	-0.3 V to -15 V
Input voltage range, V_I : Driver	.....	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Receiver	± 30 V
Output voltage range, V_O : T1OUT, T2OUT	.....	$V_{S-} - 0.3$ V to $V_{S+} + 0.3$ V
R1OUT, R2OUT	.....	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Short-circuit duration: T1OUT, T2OUT	.....	Unlimited
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 2 and 3): D package	.....	73°C/W
DW package	.....	57°C/W
N package	.....	67°C/W
NS package	.....	64°C/W
Operating virtual junction temperature, T_J	.....	150°C
Storage temperature range, T_{stg}	.....	-65°C to 150°C

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

NOTES: 1. All voltages are with respect to network GND.

2. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\text{max})$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\text{max}) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.

3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

recommended operating conditions

		MIN	NOM	MAX	UNIT
V_{CC}	Supply voltage	4.5	5	5.5	V
V_{IH}	High-level input voltage (T1IN, T2IN)	2			V
V_{IL}	Low-level input voltage (T1IN, T2IN)			0.8	V
R1IN, R2IN	Receiver input voltage			± 30	V
T_A	Operating free-air temperature			0	°C
				-40	

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted) (see Note 4 and Figure 4)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
I_{CC} Supply current	$V_{CC} = 5.5$ V, All outputs open, $T_A = 25^\circ\text{C}$		8	10	mA

‡ All typical values are at $V_{CC} = 5$ V and $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTE 4: Test conditions are C1-C4 = 1 μF at $V_{CC} = 5 \text{ V} \pm 0.5 \text{ V}$.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS047L - FEBRUARY 1989 - REVISED MARCH 2004

DRIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (see Note 4)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
V _{OH}	High-level output voltage	T1OUT, T2OUT R _L = 3 kΩ to GND	5	7		V
V _{OL}	Low-level output voltage‡	T1OUT, T2OUT R _L = 3 kΩ to GND		-7	-5	V
r _o	Output resistance	T1OUT, T2OUT V _{S+} = V _{S-} = 0, V _O = ±2 V	300			Ω
I _{OS} §	Short-circuit output current	T1OUT, T2OUT V _{CC} = 5.5 V, V _O = 0		±10		mA
I _{IS}	Short-circuit input current	T1IN, T2IN V _I = 0			200	μA

† All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

‡ The algebraic convention, in which the least-positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

§ Not more than one output should be shorted at a time.

NOTE 4: Test conditions are C1-C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C (see Note 4)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SR	Driver slew rate	R _L = 3 kΩ to 7 kΩ See Figure 2			30	V/μs
SR(t)	Driver transition region slew rate	See Figure 3		3		V/μs
	Data rate	One TOUT switching		120		kbit/s

NOTE 4: Test conditions are C1-C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

RECEIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (see Note 4)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
V _{OH}	High-level output voltage	R1OUT, R2OUT I _{OH} = -1 mA	3.5			V
V _{OL}	Low-level output voltage‡	R1OUT, R2OUT I _{OL} = 3.2 mA			0.4	V
V _{IT+}	Receiver positive-going input threshold voltage	R1IN, R2IN V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C		1.7	2.4	V
V _{IT-}	Receiver negative-going input threshold voltage	R1IN, R2IN V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C	0.8	1.2		V
V _{hys}	Input hysteresis voltage	R1IN, R2IN V _{CC} = 5 V	0.2	0.5	1	V
r _i	Receiver input resistance	R1IN, R2IN V _{CC} = 5, T _A = 25°C	3	5	7	kΩ

† All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

‡ The algebraic convention, in which the least-positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

NOTE 4: Test conditions are C1-C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C (see Note 4 and Figure 1)

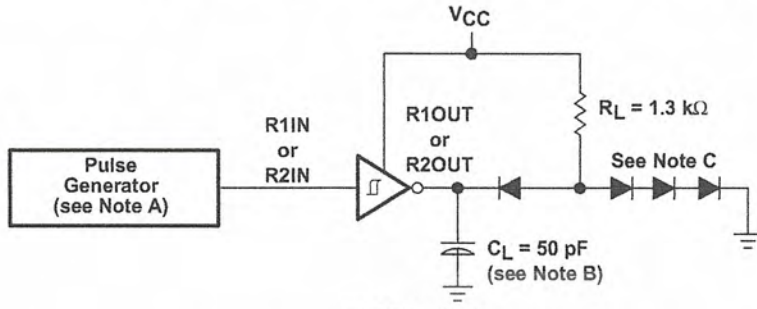
PARAMETER		TYP	UNIT
t _{PLH(R)}	Receiver propagation delay time, low- to high-level output	500	ns
t _{PHL(R)}	Receiver propagation delay time, high- to low-level output	500	ns

NOTE 4: Test conditions are C1-C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

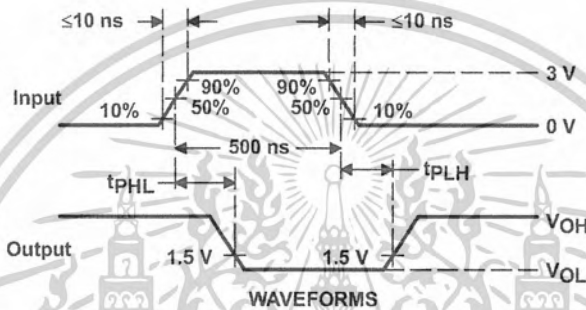


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



TEST CIRCUIT



WAVEFORMS

- NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.
 B. C_L includes probe and jig capacitance.
 C. All diodes are 1N3064 or equivalent.

Figure 1. Receiver Test Circuit and Waveforms for t_{PHL} and t_{PLH} Measurements



DAC0800/DAC0802 8-Bit Digital-to-Analog Converters

General Description

The DAC0800 series are monolithic 8-bit high-speed current-output digital-to-analog converters (DAC) featuring typical settling times of 100 ns. When used as a multiplying DAC, monotonic performance over a 40 to 1 reference current range is possible. The DAC0800 series also features high compliance complementary current outputs to allow differential output voltages of 20 V_{p-p} with simple resistor loads as shown in Figure 1. The reference-to-full-scale current matching of better than ±1 LSB eliminates the need for full-scale trims in most applications while the nonlinearities of better than ±0.1% over temperature minimizes system error accumulations.

The noise immune inputs of the DAC0800 series will accept TTL levels with the logic threshold pin, V_{LC}, grounded. Changing the V_{LC} potential will allow direct interface to other logic families. The performance and characteristics of the device are essentially unchanged over the full ±4.5V to ±18V power supply range; power dissipation is only 33 mW with ±5V supplies and is independent of the logic input states.

The DAC0800, DAC0802, DAC0800C and DAC0802C are a direct replacement for the DAC-08, DAC-08A, DAC-08C, and DAC-08H, respectively.

Features

- Fast settling output current: 100 ns
- Full scale error: ±1 LSB
- Nonlinearity over temperature: ±0.1%
- Full scale current drift: ±10 ppm/°C
- High output compliance: -10V to +18V
- Complementary current outputs
- Interface directly with TTL, CMOS, PMOS and others
- 2 quadrant wide range multiplying capability
- Wide power supply range: ±4.5V to ±18V
- Low power consumption: 33 mW at ±5V
- Low cost

Typical Applications

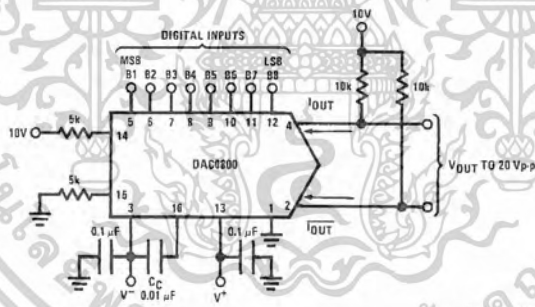


FIGURE 1. ±20 V_{p-p} Output Digital-to-Analog Converter (Note 5)

Ordering Information

Non-Linearity	Temperature Range	Order Numbers				
		J Package (J16A) (Note 1)	N Package (N16E) (Note 1)	SO Package (M16A)		
±0.1% FS	0°C ≤ T _A ≤ +70°C	DAC0802LCJ	DAC-08HQ	DAC0802LCN	DAC-08HP	DAC0802LCM
±0.19% FS	-55°C ≤ T _A ≤ +125°C	DAC0800LJ	DAC-08Q	DAC0800LCN	DAC-08EP	DAC0800LCM
±0.19% FS	0°C ≤ T _A ≤ +70°C	DAC0800LCJ	DAC-08EQ			

Note 1: Devices may be ordered by using either order number.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage ($V^+ - V^-$)	$\pm 18V$ or $36V$
Power Dissipation (Note 3)	500 mW
Reference Input Differential Voltage (V14 to V15)	V^- to V^+
Reference Input Common-Mode Range (V14, V15)	V^- to V^+
Reference Input Current	5 mA
Logic Inputs	V^- to V^- plus 36V
Analog Current Outputs ($V_{S-} = -15V$)	4.25 mA
ESD Susceptibility (Note 4)	TBD V

Storage Temperature	$-65^\circ C$ to $+150^\circ C$
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	$260^\circ C$
Dual-In-Line Package (ceramic)	$300^\circ C$
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	$215^\circ C$
Infrared (15 seconds)	$220^\circ C$

Operating Conditions (Note 2)

	Min	Max	Units
Temperature (T_A)			
DAC0800L	-55	$+125$	$^\circ C$
DAC0800LC	0	$+70$	$^\circ C$
DAC0802LC	0	$+70$	$^\circ C$

Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $I_{REF} = 2$ mA and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ unless otherwise specified. Output characteristics refer to both I_{OUT} and I_{OUT-} .

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Resolution		8	8	8	8	8	8	Bits
	Monotonicity		8	8	8	8	8	8	Bits
	Nonlinearity				± 0.1			± 0.19	%FS
t_s	Settling Time	To $\pm 1/2$ LSB, All Bits Switched "ON" or "OFF", $T_A = 25^\circ C$		100	135				ns
		DAC0800L				100	135		ns
		DAC0800LC				100	150		ns
t_{PLH} , t_{PHL}	Propagation Delay Each Bit All Bits Switched	$T_A = 25^\circ C$		35	60		35	60	ns
				35	60		35	60	ns
TCI_{FS}	Full Scale Tempco			± 10	± 50		± 10	± 50	ppm/ $^\circ C$
V_{OC}	Output Voltage Compliance	Full Scale Current Change $< 1/2$ LSB, $R_{OUT} > 20$ M Ω Typ	-10		18	-10		18	V
I_{FS4}	Full Scale Current	$V_{REF} = 10,000V$, $R_{14} = 5,000$ k Ω $R_{15} = 5,000$ k Ω , $T_A = 25^\circ C$	1.984	1.992	2.000	1.94	1.99	2.04	mA
I_{FS5}	Full Scale Symmetry	$I_{FS4} - I_{FS2}$		± 0.5	± 4.0		± 1	± 8.0	μA
I_{ZS}	Zero Scale Current			0.1	1.0		0.2	2.0	μA
I_{FSR}	Output Current Range	$V^- = -5V$ $V^- = -8V$ to $-18V$	0	2.0	2.1	0	2.0	2.1	mA
			0	2.0	4.2	0	2.0	4.2	mA
V_{IL}	Logic Input Levels Logic "0"	$V_{LC} = 0V$			0.8			0.8	V
V_{IH}	Logic "1"		2.0			2.0			V
I_{IL}	Logic Input Current Logic "0"	$V_{LC} = 0V$ $-10V \leq V_{IN} \leq +0.8V$		-2.0	-10		-2.0	-10	μA
I_{IH}	Logic "1"	$2V \leq V_{IN} \leq +18V$		0.002	10		0.002	10	μA
V_{IS}	Logic Input Swing	$V^- = -15V$	-10		18	-10		18	V
V_{THR}	Logic Threshold Range	$V_S = \pm 15V$	-10		13.5	-10		13.5	V
I_{IS}	Reference Bias Current			-1.0	-3.0		-1.0	-3.0	μA
dI/dt	Reference Input Slew Rate	(Figure 11)	4.0	8.0		4.0	8.0		mA/ μs
$PSS|_{FS+}$	Power Supply Sensitivity	$4.5V \leq V^+ \leq 18V$		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%
$PSS|_{FS-}$		$-4.5V \leq V^- \leq 18V$ $I_{REF} = 1mA$		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$ and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ unless otherwise specified. Output characteristics refer to both I_{OUT} and I_{OUT}^- .

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
I+	Power Supply Current	$V_S = \pm 5V$, $I_{REF} = 1\text{ mA}$		2.3	3.8		2.3	3.8	mA
				-4.3	-5.8		-4.3	-5.8	mA
I-		$V_S = 5V$, $-15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		2.4	3.8		2.4	3.8	mA
				-6.4	-7.8		-6.4	-7.8	mA
I+		$V_S = \pm 15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		2.5	3.8		2.5	3.8	mA
				-6.5	-7.8		-6.5	-7.8	mA
P _D	Power Dissipation	$\pm 5V$, $I_{REF} = 1\text{ mA}$		33	48		33	48	mW
		$5V$, $-15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		108	136		108	136	mW
		$\pm 15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		135	174		135	174	mW

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 3: The maximum junction temperature of the DAC0800 and DAC0802 is 125°C. For operating at elevated temperatures, devices in the Dual-In-Line J package must be derated based on a thermal resistance of 100°C/W, junction-to-ambient, 175°C/W for the molded Dual-In-Line N package and 100°C/W for the Small Outline M package.

Note 4: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

Note 5: Pin-out numbers for the DAC080X represent the Dual-In-Line package. The Small Outline package pin-out differs from the Dual-In-Line package.

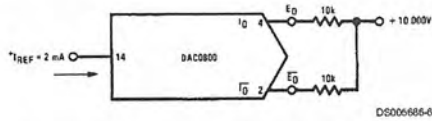
Connection Diagrams



See Ordering Information

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

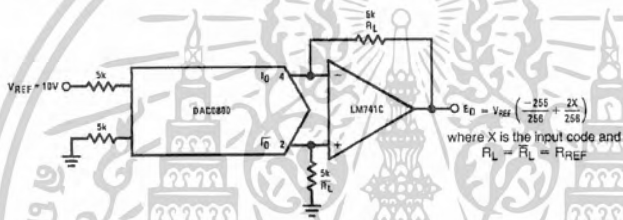
Typical Applications (Continued)



DS006686-6

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	E_O	\bar{E}_O
Pos. Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	-9.920	+10.000
Pos. Full Scale-LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	-9.840	+9.920
Zero Scale+LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	-0.080	+0.160
Zero Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	0.000	+0.080
Zero Scale-LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	+0.080	0.000
Neg. Full Scale+LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	+9.920	-9.840
Neg. Full Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	+10.000	-9.920

FIGURE 7. Basic Bipolar Output Operation (Note 5)



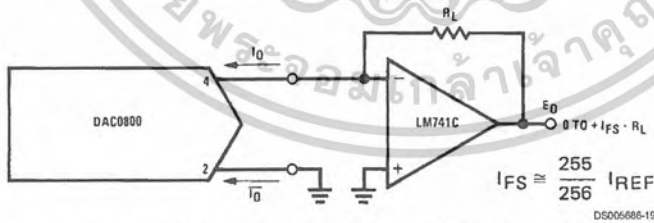
where X is the input code and $R_L = \bar{R}_L = R_{REF}$

DS006686-18

If $R_L = \bar{R}_L$ within $\pm 0.05\%$, output is symmetrical about ground

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	E_O
Pos. Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	+9.960
Pos. Full Scale-LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	+9.880
(+)Zero Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	+0.040
(-)Zero Scale	0	1	1	1	1	1	1	1	-0.040
Neg. Full Scale+LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	-9.880
Neg. Full Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.960

FIGURE 8. Symmetrical Offset Binary Operation (Note 5)



$$I_{FS} \cong \frac{255}{256} I_{REF}$$

DS006686-19

For complementary output (operation as negative logic DAC), connect inverting input of op amp to I_O (pin 2), connect I_O (pin 4) to ground.

FIGURE 9. Positive Low Impedance Output Operation (Note 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้