ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ แหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล

Digital Control Power Supply

ชื่อนักศึกษา

1. นายจตุพล	อังโชติพันธุ์	รหัสประจำตัว	42035289
2. นายณัฐศักดิ์	จันทร์เพชร	รหัสประจำตัว	42035299
3. นายสิริวัฒน์	คงสุข	รหัสประจำตัว	42035313
4. นายสราวุธ	เทียมเพื่อน	รหัสประจำตัว	42035318

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์โกศล ตราชู

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์สุชิน อาจหาญ

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์		ลายมือชื่อ
1. อาจารย์โกศล	ตราชู	.....
2. อาจารย์สุชิน	อาจหาญ	.....
3. อาจารย์อำพล	ทองระอา	.....
4. อาจารย์ไพบูลย์	พวงวงศ์ตระกูล	.....
5. อาจารย์สุระชัย	พิมพ์สาลี	.....

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันเสาร์ที่ 9 ธันวาคม พ.ศ. 2543 เวลา 11.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 31 เดือน ธค. พ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์

แหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล

DIGITAL CONTROL POWER SUPPLY

นายจตุพล อังโชติพันธุ์
นายณัฐศักดิ์ จันทร์เพชร
นายสิริวัฒน์ คงสุข
นายสราวุธ เทียมเพื่อน

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่
เลขทะเบียน 40164
วัน, เดือน, ปี 17 ส.ค. 2544

b 11092166
i

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง แหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล

Digital Control Power Supply

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการเชื่อมต่อทางพอร์ตอนุกรม
2. เพื่อออกแบบแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล
3. เพื่อสร้างแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล
4. เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องจ่ายไฟที่ควบคุมการจ่ายไฟอัตโนมัติ
5. เพื่อนำเครื่องจ่ายไฟที่ควบคุมการจ่ายไฟอัตโนมัติไปใช้งาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ และเข้าใจการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์และ ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ได้วงจรต้นแบบที่ใช้ควบคุมการจ่ายไฟแบบอัตโนมัติ
3. ได้เครื่องต้นแบบแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล
4. ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจ่ายไฟแบบดิจิตอล และควบคุมการจ่ายไฟอัตโนมัติ
5. ได้นำเครื่องจ่ายไฟที่ควบคุมการจ่ายไฟอัตโนมัติไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	แหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล
นักศึกษา	นายจตุพล อังโชติพันธุ์
	นายณัฐศักดิ์ จันทร์เพชร
	นายสิริวัฒน์ คงสุข
	นายสราวุธ เทียมเพื่อน
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์โกศล ตราชู
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์สุชิน อาจหาญ
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล โครงสร้างของระบบประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลสองส่วนได้แก่ส่วนคอมพิวเตอร์และส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นศูนย์กลาง ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายแรงดัน และ รับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์แต่ละตัวแบบอนุกรมโดยผ่าน RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thisis Title	Digital Control Power Supply
Students	Mr.Jatupon Ungchotipan
	Mr.Nattasak Junpech
	Mr.Siriwut Kongsuk
	Mr.Sarawut Teampurn
Advisor	Mr. Koson Trachu
Co-Advisor	Mr.Suchin Adhan
Education Level	Bachelor of in Industrial Education
Program in	Electronics and computers
Academic Year	2000

ABSTRACT

This thesis presents the project of digital power supply. Contraption of this project consist of a microcomputer and a microcontroller unit. The microcontroller unit is a centralized host, that control voltage,sent - recive data between it microcomputer by using RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือและ ให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนแนวความคิดต่างๆ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหาในการดำเนินงานรวมทั้งด้านเวลาและสถานที่เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ จากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านรวมทั้งสมาชิกในกลุ่มที่ร่วมมือกันทำงานจนสำเร็จ

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณท่านบุพการีซึ่งได้ให้โอกาสและ ได้ให้การสนับสนุนในการศึกษามาโดยตลอดรวมทั้งคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้กรุณาให้งบประมาณสนับสนุนในการจัดทำครั้งนี้จึงทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญภาพ	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของการทำปริญญานิพนธ์	1
1.4 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 หลักการออกแบบแหล่งจ่ายไฟ	3
2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟ	3
2.2.2 อัตราทนกำลังแบบแรงดัน - กระแส	4
2.2.3 การเรียงกระแส	6
2.2.4 การเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น	7
2.2.5 การเรียงกระแสแบบบริดจ์	7
2.2.6 อัตราทนกำลังของวงจรเรียงกระแส	9
2.2.7 วงจรกรองกระแส	10
2.2.8 วงจรกรองกระแสแบบพาย	13
2.2.9 การเลือกตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรกรองกระแส	14
2.2.10 อัตราทนกำลังและแรงดันใช้งานสูงสุด	15
2.2.11 การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน	15
2.2.12 การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม	16
2.2.13 การต่อตัวต้านทานร่วม	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.2.14 ตัวเก็บประจุบายพาส	17
2.2.15 การรักษาระดับแรงดันให้คงที่	18
2.2.16 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมและแบบขนาน	19
2.2.17 วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ซีเนอร์ไดโอด	20
2.2.18 วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ทรานซิสเตอร์	24
2.2.19 วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ไอซี	27
2.2.20 การรักษาระดับแรงดันโดยใช้ไอซี 3 ขา	29
2.2.21 เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันเอาต์พุต	31
2.2.22 วงจรรักษาระดับแรงดันที่จ่ายกระแสได้สูงขึ้น	34
2.2.23 วงจรจ่ายกระแสคงที่	39
2.2.24 การป้องกันไดโอดเรียงกระแส	39
2.2.25 การจำกัดกระแสเอาต์พุต	43
2.2.26 การป้องกันแรงดันเกิน	45
2.2.27 ความร้อน	46
2.2.28 แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง	46
2.2.29 แหล่งจ่ายไฟแบบไร้หม้อแปลงไฟฟ้า	48
2.2.30 เมื่อระดับแรงดันสูงขึ้นและกำลังงานเพิ่มขึ้น	49
2.2.31 การลดความร้อนที่เกิดขึ้น	56
2.3 ส่วนของการสื่อสารข้อมูล	59
2.3.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C	65
2.3.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ I^2C	66
2.3.3 คุณสมบัติทั่วไปของบัส I^2C	68
2.3.4 อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่า ตัวส่ง	68
2.3.5 ความเที่ยงตรงของวงจร ADC	70
2.3.6 ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณ	70
2.3.7 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน	74
3.1 กล่าวนำ	74
3.2 การออกแบบวงจร	75
3.2.1 ส่วนของแหล่งจ่ายไฟ	75
3.2.2 ส่วนของวงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	78
3.2.3 ส่วนของการควบคุมโดยไมโครคอมพิวเตอร์	83
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	86
4.1 การทดลองป้อนค่าแรงดันออกทางเอาต์พุต	86
4.1.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง	86
4.1.2 ผลการทดลอง	86
4.2 การทดลองการจ่ายแรงดันออกทางเอาต์พุต	86
4.2.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง	87
4.2.2 ผลการทดลอง	87
4.3 การทดลองวงจรป้องกันการลัดวงจร	87
4.3.1 ลำดับขั้นการทดลอง	87
4.3.2 ผลการทดลอง	87
4.4 การทดลองส่วนรับข้อมูลจากคีย์เมทริกซ์สวิตช์	88
4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง	88
4.4.2 ผลการทดลอง	88
4.5 การทดลองในส่วนของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก	89
4.5.1 ลำดับขั้นการทดลอง	89
4.5.2 ผลการทดลอง	89
4.6 การทดลองส่วนควบคุมอุปกรณ์อุปกรณ์รับข้อมูลโดยไมโครคอมพิวเตอร์	90
4.6.1 ลำดับขั้นการทดลองและผลการทดลอง	90
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และการพัฒนา	93
5.1 สรุป	93
5.2 ปัญหา	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5.3 แนวทางการแก้ปัญหา	94
5.4 แนวทางการพัฒนาโครงงาน	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก ก รูปต้นแบบของแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล	95
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	98
ภาคผนวก ค ผังการทำงานและโปรแกรม	100
ภาคผนวก ง รายละเอียดข้อมูลและคุณสมบัติของอุปกรณ์	145
บรรณานุกรม	173
ประวัติผู้แต่ง	174

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าแรงดันที่ป้อนกับค่าแสดงที่ LCD	86
ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันที่วัดได้ของแต่ละช่อง	87
ตารางที่ 4.3 การแสดงผลของของ LCD เมื่อมีการกดค่าคีย์เมทริกซ์สวิตช์	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบทั่วไป	5
รูปที่ 2.2 ลักษณะการทำงานของไดโอด	6
รูปที่ 2.3 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น	8
รูปที่ 2.4 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	8
รูปที่ 2.5 ตัวเก็บประจุ C_1 จะทำหน้าที่กรองกระแสเพื่อให้แรงดันไฟตรงตกคร่อม R_L	10
รูปที่ 2.6 ความลาดชันของการคายประจุของระดับแรงดัน	12
รูปที่ 2.7 วงจรกรองกระแสแบบพาย	13
รูปที่ 2.8 ตัวเก็บประจุที่ใช้กรองกระแสต่อกันแบบขนาน	15
รูปที่ 2.9 ตัวเก็บประจุที่ใช้กรองกระแสต่อกันแบบอนุกรม	17
รูปที่ 2.10 ตัวเก็บประจุ	17
รูปที่ 2.11 ค่าความต้านทานภายใน	19
รูปที่ 2.12 การรักษาระดับแรงดันของซีเนอร์ไดโอด	19
รูปที่ 2.13 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	24
รูปที่ 2.14 วงจรควบคุมการจ่ายกระแสโดยทรานซิสเตอร์	24
รูปที่ 2.15 ระดับแรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุต	26
รูปที่ 2.16 วงจรรวมที่ใช้รักษาระดับแรงดันแบบทั่วไป	27
รูปที่ 2.17 ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบ 3 ขา	28
รูปที่ 2.18 วงจรรักษาระดับแรงดันโดยใช้ไอซีแบบ 3 ขา	29
รูปที่ 2.19 ขนาดแรงดันที่ไม่เป็นมาตรฐาน	31
รูปที่ 2.20 วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ไอซีเบอร์ LM 338	33
รูปที่ 2.21 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้เบอร์ LAS 39U	34
รูปที่ 2.22 วงจรที่สามารถจ่ายกระแสได้สูงถึง 6 - 7 แอมแปร์	35
รูปที่ 2.23 การเพิ่มค่าความสามารถในการจ่ายกระแสเอาต์พุต	36
รูปที่ 2.24 ไอซีเบอร์ LAS 52XX เป็นวงจรรักษาระดับแรงดันแบบไฮบริด	38
รูปที่ 2.25 เป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน ซึ่งต่อในลักษณะจ่ายกระแสคงที่	38
รูปที่ 2.26 การดึงกระแสของวงจรเรียงกระแส	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.27 การลดกระแสจำนวนมากที่ไหลผ่านไดโอด	41
รูปที่ 2.28 วงจรที่ไม่มีความปลอดภัย	42
รูปที่ 2.29 วิธีการลดความเสียหายในวงจร	43
รูปที่ 2.30 ตัวต้านทานที่ใช้ตรวจจับอนุกรม	44
รูปที่ 2.31 การตัดการทำงานของวงจร	45
รูปที่ 2.32 วงจรที่ใช้ป้องกันแรงดันเกิน	47
รูปที่ 2.33 การต่อซีเนอร์ไดโอดอนุกรมกันหลายตัว	48
รูปที่ 2.34 แหล่งจ่ายไฟแบบไร้หม้อแปลงโดยในรูป	49
รูปที่ 2.35 ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟกำลังงานสูง	50
รูปที่ 2.36 แนวคิดในการเอาชนะปัญหาในเรื่องการต่อไดโอดหลายตัวอนุกรมกัน	52
รูปที่ 2.37 การต่อวงจรกรองกระแส	52
รูปที่ 2.38 การใช้ฉนวนในการติดตั้งตัวเก็บประจุ	54
รูปที่ 2.39 การต่อสายทางขดปฐมภูมิสำหรับแหล่งจ่ายไฟแรงดันตรง	55
รูปที่ 2.40 ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะไม่ทำงานเป็นทรานซิสเตอร์ที่ต่ออนุกรม	57
รูปที่ 2.41 วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งสองวงจร	58
รูปที่ 2.42 โครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C	59
รูปที่ 2.43 ผังแสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆบนระบบบัส I^2C	65
รูปที่ 2.44 วงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ในระบบบัส I^2C	66
รูปที่ 2.45 การต่อตัวต้านทานพูลอัปบนสายสัญญาณในระบบบัส I^2C	67
รูปที่ 2.46 การต่อตัวต้านทาน RS เพื่อลดสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่ที่อาจเข้ามาในบัส I^2C	67
รูปที่ 2.47 ผังการทำงานของวงจร ADCซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น	68
รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของวงจรรวม	74
รูปที่ 3.2 วงจรเรคกูเลเตอร์	76
รูปที่ 3.3 การต่อวงจรสวิตชิ่งเลือกขดหม้อแปลง	77
รูปที่ 3.4 การต่อวงจรป้องกันแรงดันเกินทางเอาต์พุต	77
รูปที่ 3.5 วงจรควบคุม	78
รูปที่ 3.6 วงจรเมทริกซ์สวิตช์	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.7 การต่อ LCD เข้ากับพอร์ต P1	80
รูปที่ 3.8 วงจรกำเนิดสัญญาณเสียง	81
รูปที่ 3.9 วงจรภาคจ่ายไฟ	81
รูปที่ 3.10 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลและเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก ที่ใช้ควบคุมแรงดัน	82
รูปที่ 3.11 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลและเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก ที่ใช้ควบคุมกระแส	83
รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการติดต่อระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์	83
รูปที่ 3.13 ผังงานการติดต่อข้อมูลของไมโครคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์	84
รูปที่ 3.14 วงจรติดต่อข้อมูลกับคอมพิวเตอร์	85
รูปที่ 4.1 การทดลองการต่อวงจร แปลงสัญญาณแอนะลอก	89
รูปที่ 4.2 โปรแกรมที่เรียกมาใช้งาน	89
รูปที่ 4.3 การกำหนดพอร์ต	89
รูปที่ 4.4 การเลือกพอร์ตนำมาใช้งาน	91
รูปที่ 4.5 การกำหนดค่าแรงดันและกระแส	92
รูปที่ ก.1 ชุดแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล	94
รูปที่ ก.2 แผงวงจรรวมชุดแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล	94
รูปที่ ก.3 การต่อแผงวงจรรวมกับไมโครคอมพิวเตอร์	95
รูปที่ ข.1 วงจรรวมอุปกรณ์รับข้อมูล อุปกรณ์แสดงผล และวงจรสื่อสารข้อมูล	97
รูปที่ ข.2 ลายทองแดงของส่วนการ์ด	98
รูปที่ ค.1โปรแกรมควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์	133
รูปที่ ค.2 ผังงานของโปรแกรมควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	138
รูปที่ ค.3โปรแกรมควบคุมการทำงานโดยไมโครคอมพิวเตอร์	142
รูปที่ ค.4 ผังงานของโปรแกรมควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์	143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์

จากสภาพในปัจจุบันนั้นในการใช้งานแหล่งจ่ายทางไฟฟ้า (Power Supply)จะมีการควบคุมอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะคือ แบบแอนะลอก (Analog)และดิจิตอล (Digital) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในลักษณะการใช้งานแบบดิจิตอลมีความสะดวกและสามารถปรับแต่งได้อย่างรวดเร็วทำให้ดิจิตอลเข้ามามีบทบาทมากขึ้น เพียงแค่เราป้อนค่าแรงดันที่ต้องการก็จะมีแรงดันออกมา การใช้งานในลักษณะนี้จะมีขอบเขตของการใช้งาน โดยผู้ใช้จะต้องควบคุมอยู่ที่เครื่องตลอดเวลาและ การตรวจสอบก็จะทำได้ยาก จึงได้มีการคิดพัฒนาในส่วนของวงจรและการติดต่อใช้งานทางพอร์ตอนุกรม ในวงจรจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าแรงดันและกระแส โดยวงจรจะแยกออกจากกันคือแต่ละส่วนจะมีรูปแบบเป็นตัวการ์ด

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการเชื่อมต่อทางพอร์ตอนุกรม
2. เพื่อออกแบบแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล
3. เพื่อสร้างแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล
4. เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องจ่ายไฟที่ควบคุมการจ่ายไฟอัตโนมัติ
5. เพื่อนำเครื่องจ่ายไฟที่ควบคุมการจ่ายไฟอัตโนมัติไปใช้งาน

1.3 ขอบเขตของการทำปริญญานิพนธ์

โครงงานเรื่องแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอลสามารถจำแนกขอบเขตได้เป็นข้อๆ ดังนี้

1. สามารถปรับค่าแรงดัน 0 – 25 V จำนวน 4 ชุด
2. แรงดันเอาต์พุต สามารถปรับค่าได้อิสระต่อกัน
3. มีเอาต์พุตสำหรับต่อใช้งาน 4 เอาต์พุต
4. สามารถกำหนดค่าของแรงดันผ่านทางคีย์บอร์ดและพอร์ตอนุกรม
5. สามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ พร้อมทั้งมีวงจรป้องกันการลัดวงทางเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ และเข้าใจการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์และ ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ได้วงจรต้นแบบที่ใช้ควบคุมการจ่ายไฟแบบอัตโนมัติ
3. ได้เครื่องต้นแบบแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล
4. ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจ่ายไฟแบบดิจิตอล และควบคุมการจ่ายไฟอัตโนมัติ
5. ได้นำเครื่องจ่ายไฟที่ควบคุมการจ่ายไฟอัตโนมัติไปใช้งาน

1.5 เนื้อหาโดยสังเขป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีเนื้อหาทั้งหมด 5 บทดังนี้

บทที่ 1 บทนำ ซึ่งเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับความเป็นมา และความสำคัญของปัญหาที่ต้องทำให้เกิดโครงงานนี้ขึ้นรวมทั้งยังกล่าวถึงวัตถุประสงค์ ขอบเขตและประโยชน์ของการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ จะกล่าวถึงเนื้อหาที่นำมาอ้างอิงและใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล

บทที่ 3 การออกแบบ และ การสร้างเป็นเนื้อหา โดยละเอียดตั้งแต่ขั้นตอนในการออกแบบวงจรในส่วนต่างๆ การสำเอาส่วนต่างๆ มาอินเตอร์เฟตกัน เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอการทดลองและผลการทดลอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็นส่วนๆ ตามการออกแบบและการสร้าง

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหาแนวทางแก้ไขและพัฒนา ซึ่งมีการสรุปผลเกี่ยวกับความสามารถประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟ และกล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นนับตั้งแต่เริ่มสร้างโครงงานจนกระทั่งโครงงานเสร็จสมบูรณ์ตลอดจนแนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งเสนอแนวทางการพัฒนาแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

โดยทั่วๆ ไป แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงนี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทดลองต่างๆ ไม่เฉพาะแต่ในสถานศึกษาเท่านั้นแม้กระทั่งในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งทุกคนต้องรู้จักดีว่าแหล่งจ่ายไฟมีความสำคัญแค่ไหน การออกแบบจะต้องพิจารณาถึงค่าแรงดันขาออกแล้วยังจะต้องพิจารณาถึงค่าการจ่ายกระแสความต้านทานภายใน, การรักษาค่าแรงดันการส่งผ่านความร้อน, ความเชื่อถือของอุปกรณ์ และ ความไวต่อการเสียหาย บางครั้งอาจจะต้องพิจารณาคุณสมบัติในเรื่องการลดสัญญาณรบกวนทรานเซี้ยนต์(Transient), การป้องกันค่าแรงดันเกิน, วงจรกำจัดกระแสขาออก และการตรวจจับแรงดันขาออกของแหล่งจ่ายไฟกระแสสูง ที่ติดตั้งใกล้ๆ กับอุปกรณ์ที่ใช้มันอยู่แบบในระยะไกล เราจึงจะต้องทราบหลักการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟซึ่งมีลักษณะดังนี้

2.2 หลักการออกแบบแหล่งจ่ายไฟ

2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟ

อุปกรณ์ที่เป็นหลักใหญ่ในแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแรงดันต่ำ ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer), ตัวเรียงกระแส (Rectifier), วงจรกรองกระแส (Filter), และวงจรเพิ่มเติม เช่น วงจรรักษาระดับแรงดัน, วงจรลดทรานเซี้ยนต์ (Transient), วงจรจำกัดกระแส, วงจรป้องกันแรงดันเกิน และ ตัวแสดงสถานะต่างๆ

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นตัวเปลี่ยนแรงดันและ กระแสหน้าที่หลักของหม้อแปลงคือการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงตามบ้าน ลงมาเป็นระดับแรงดันที่เหมาะสมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานส่วนหน้าที่อย่างที่ 2 ก็คือเป็นตัวแยก (Isolation) ระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ

หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวด 2 ขดหรือมากกว่า พันอยู่รอบแกนเหล็กผสม (ส่วนใหญ่) แกนเดียวกันในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบพื้นฐาน ซึ่งประกอบด้วย ขดลวด 2 ขด ขดปฐมภูมิ (Primary) และขดทุติยภูมิ (Secondary) ถูกแยกออกจากกันทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของกระแสและแรงดัน ระหว่างขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิมีดังนี้

$$V_P I_P = V_S I_S \tag{2.1}$$

ซึ่ง V_P เป็นแรงดันที่ป้อนให้กับขดปฐมภูมิ, V_S เป็นแรงดันที่ ปรากฏขึ้นคร่อมขดทุติภูมิ, I_P เป็นกระแสที่ไหลในขดปฐมภูมิ และ I_S เป็นกระแสที่ถูกดึงจากขดทุติยภูมิ

สามารถเขียนสมการที่ (2.1) ใหม่ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กว่าดังนี้

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} \tag{2.2}$$

ในสมการ (2.2) นี้ อัตราส่วนระหว่างกระแสและแรงดันเป็นสัดส่วนกลับซึ่งกันและกัน

อัตราส่วนของแรงดันจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของจำนวนรอบของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยมีความสัมพันธ์ตามสมการ 2.3

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} \tag{2.3}$$

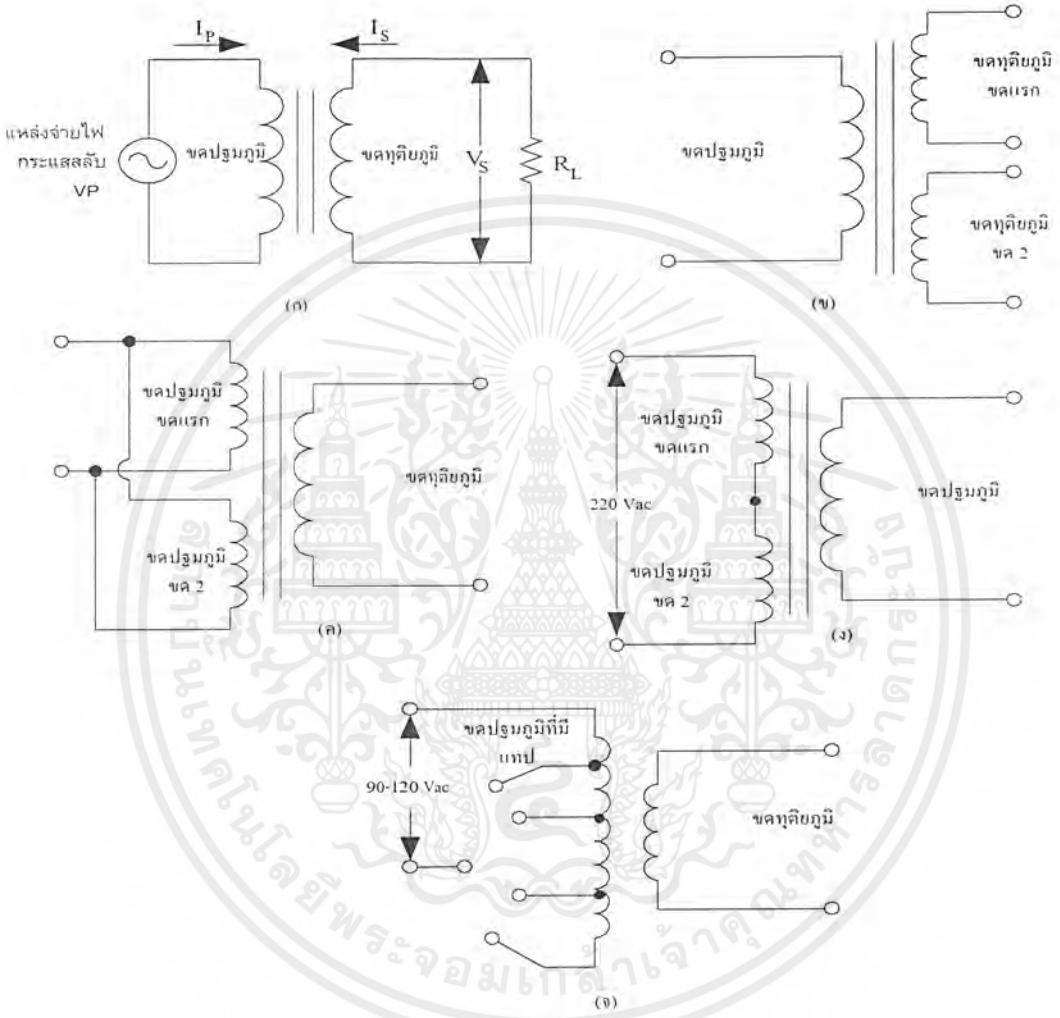
เมื่อ N_p และ N_s เป็นจำนวนรอบของขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิตามลำดับ ส่วน V_p และ V_s

ถ้าได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่นอัตราค่าแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้า จะเป็นค่าเฉลี่ยยกกำลังสองถอดราก (Root - Mean - Square : RMS) ดังนั้นหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 6.3 โวลท์ จะผลิตแรงดันยอด (Peak) เท่ากับ 1.414 เท่าของค่าแรงดัน RMS หรือแรงดันไฟสลับ 6.3 โวลต์ จะผลิตแรงดันยอดได้ถึง 8.9 โวลต์

2.2.2 อัตราทนกำลังแบบแรงดัน – กระแส

อัตราทนกำลังหลักของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังได้แก่ อัตราทนกำลังแบบแรงดันและกระแส หรือ วีเอ(VA) อัตราทนกำลังวีเอตามพื้นฐานโดยทั่วไป จะบอกให้เราทราบว่า หม้อแปลงไฟฟ้าตัวนั้นสามารถจ่ายกำลังได้มากเพียงใด หม้อแปลงไฟฟ้าจัดว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบทั่วไป

สำหรับกรณีส่วนใหญ่แล้ว อัตราทนกำลังวีเอทางด้านขดปฐมภูมินับว่ามีความสำคัญกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากขดปฐมภูมิจะอยู่ข้างในสุด และอยู่ใกล้กันกับแกนมากที่สุด ดังนั้น ขดปฐมภูมิจึงได้รับการระบายความร้อนจากสภาพแวดล้อมได้น้อยกว่า จึงไม่มีการปลอดภัยที่จะใช้งานที่อัตราทนกำลังวีเอสูงกว่าของขดปฐมภูมิ

หม้อแปลงไฟฟ้ามีคุณลักษณะหลายแบบนอกเหนือจากแบบพื้นฐานที่แสดงในรูปที่ 2.1 (ก) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอื่นๆ จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.1 (ข) ถึง 2.1 (จ)

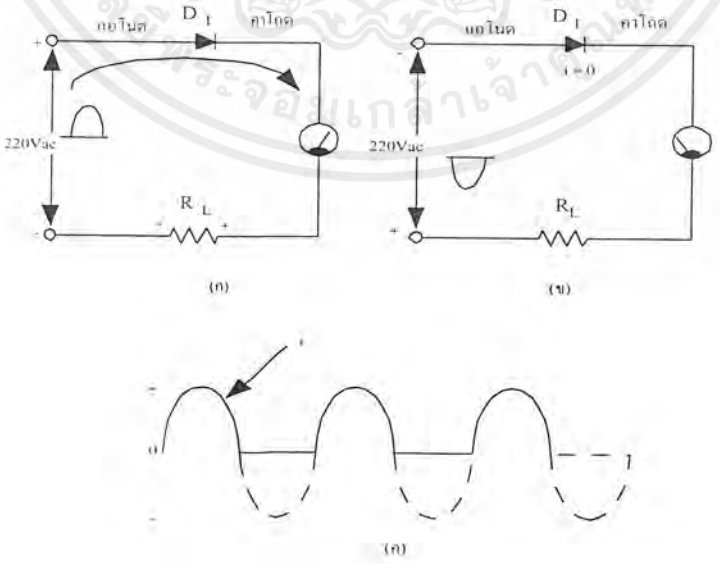
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การเรียงกระแส

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะไม่ทำงานโดยใช้กระแสสลับบ่อยนัก โดยมากจะจำกัดให้ใช้งานกับไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น คุณสมบัติหลักของกระแสตรงก็คือมีขั้วเดียวแน่นอน นั่นคือกระแสจะไหลในทิศทางเดียวเท่านั้น วงจรเรียงกระแส เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมันเองทางเดียวเท่านั้นเปรียบเหมือนวงจะเรียงกระแสเป็นตัวปิดเปิดทางเดียว หรือสวิตช์ทางเดียวสำหรับกระแสไฟฟ้า ทั้งหลอดสูญญากาศและไดโอดที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ถูกใช้เป็นวงจรเรียงกระแส

จะอธิบายสิ่งต่างๆ เหล่านี้ได้โดยเริ่มแรกกำหนดให้ขั้วหนึ่งของแบตเตอรี่เป็นขั้วบวก ส่วนอีกขั้วหนึ่งเป็นขั้วลบ โดยไม่จำเป็นต้องรู้ถึงฟิสิกส์ของอะตอมและอิเล็กตรอน การเลือกทฤษฎีใดทฤษฎีหนึ่งมาใช้อธิบาย จะมีโอกาสถูกและผิดเท่าๆ กันจะมีความผิดพลาดได้ถ้าหากเราเลือกทฤษฎีผิด โดยที่กระแสจะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบและอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก สัญลักษณ์ของไดโอดนั้น ด้านหัวลูกศรจะชี้ไปในทิศทางการไหลของกระแส

ในรูปที่ 2.2 (ก) แสดงวงจรเรียงกระแสด้วยไดโอดอย่างง่ายๆ เมื่อขั้วของไฟกระแสสลับที่ขั้วแอโนดของตัวเรียงกระแสเป็นบวก (รูปที่ 2.2 (ก)) จะทำให้ไดโอดได้รับไบแอสตรง (Forward Bias) ดังนั้นจะมีกระแสไหล สำหรับครึ่งไซเกิลลบของกระแสสลับ ขั้วแอโนดของวงจรเรียงกระแสเป็นลบ (รูปที่ 2 (ข)) ทำให้ไดโอดได้รับไบแอสกลับ (Reverse Bias) ภายใต้เงื่อนไขนี้จะไม่มีกระแสไหลเพราะว่าไดโอดถูกตัววงจรออกเปรียบเหมือนวงจรเปิด



รูปที่ 2.2 การทำงานของไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเรียงกระแสโดยไดโอดแสดงให้เห็นในรูป 2.2 (ค) เนื่องจากมีเพียงครึ่งไซเกิลของรูปคลื่นไฟกระแสสลับที่ทำให้เกิดกระแสไหลวงจร ในรูปที่ 2.2 (ก) และ 2.2 (ข) เรียกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น เนื่องจากรูปคลื่นขาออกของวงจรเรียงกระแส ประกอบด้วยพัลซ์ของกระแสเพียงทิศทางเดียว ซึ่งเรียกกันว่าไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระเพื่อม (Pulsating DC) ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระเพื่อมนี้ไม่ค่อยมีประโยชน์เท่าใดนัก ในวงจรส่วนใหญ่มันจะต้องถูกกรองเพื่อให้เกิดแรงดันกระแสตรงที่บริสุทธิ์ ซึ่งจะไหลอย่างสม่ำเสมอเมื่อวัดด้วยโวลต์มิเตอร์

2.2.4 การเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแสดงให้เห็นในรูป 2.3 (ก) โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบพิเศษที่มีแทปกลาง (Center-Tapped) ของขดทุติยภูมิ เมื่อเริ่มไซเกิลใดๆ ด้านปลายด้านหนึ่งของขดทุติยภูมิจะเป็นขั้วบวก ส่วนอีกด้านหนึ่งจะเป็นขั้วลบ ค่าความต่างศักย์ที่แทปกลางจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าความต่างศักย์ทั้งหมด โดยการใช้แทปกลางเป็นขั้วร่วมค่าความต่างศักย์ที่จุด A และ B จะมีค่าท่ากันในเรื่องขนาด แต่จะมีขั้วตรงข้ามกัน

สำหรับครึ่งไซเกิล (Cycle) หนึ่งของไฟกระแสสลับที่เข้ามาจุด A จะมีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับแทปกลางขณะที่จุด B มีค่าเป็นลบ ภายใต้สภาวะนี้ ได้ ไดโอด D_1 จะได้รับไบแอสตรงและจะได้รับไบแอสกลับ กระแสจะไหลออกจากหม้อแปลงไฟฟ้าจากจุด A ผ่านไดโอดตัวต้านทานที่เป็นโหลดแล้วจึงกลับเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้าอีกครั้งทางแทปกลาง ให้สังเกตถึงทิศทางของกระแสที่ไหลผ่าน เมื่อไดโอดนำกระแสสำหรับครึ่งไซเกิลบวก ในครึ่งไซเกิลที่สองขั้วของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีขั้วตรงกันข้าม ภายใต้สภาวะนี้ ไดโอดจะได้รับไบแอสกลับและไดโอดจะได้รับไบแอสตรง กระแสจะไหลออกจากจุด B ผ่านไดโอดไปยังตัวต้านทานและไหลกลับเข้าสู่ขดทุติยภูมิอีกครั้งทางแทปกลาง

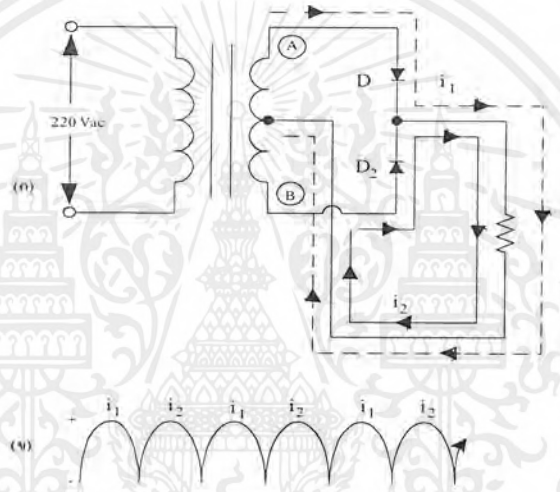
สิ่งสำคัญที่น่าสังเกตก็คือกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานที่เป็นโหลดจะไหลในทิศทางเดียวกันสำหรับทุกครึ่งไซเกิลของไฟกระแสสลับซึ่งการกระทำเช่นนี้จะก่อให้เกิดรูปคลื่น ดังแสดงในรูป 3 (ข) โดยรูปคลื่นของกระแสที่มีส่วนโค้งสองอันคู่จะง่ายต่อการกรองกระแส และประสิทธิภาพดีกว่ารูปคลื่นจากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น โดยค่าริปเปิ้ลเท่ากับ 48 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่าความถี่ริปเปิ้ลนี้ จะมีค่าเป็น 2 เท่า ของความถี่ไฟสลับที่ใช้ ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยของไฟขาออกที่ยังไม่ได้กรองกระแสจะมีค่าประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าความต่างศักย์แบบอาร์เอ็มเอสที่ป้อนเข้ามา

2.2.5 การเรียงกระแสแบบบริดจ์

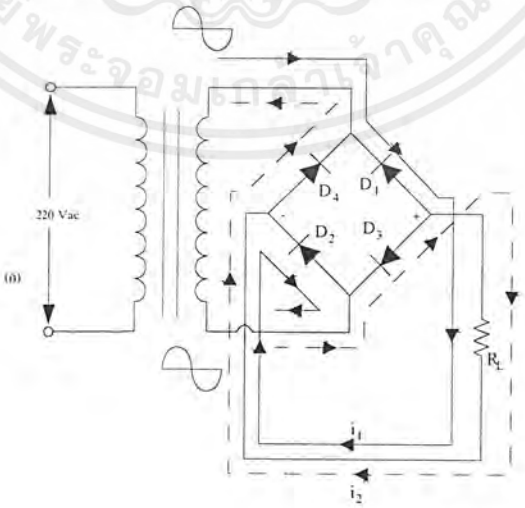
สำหรับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นในรูปแบบอื่นๆ แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.4 วงจรนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่าวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ซึ่งประกอบด้วยไดโอด 4 ตัว ในวงจรบริดจ์นี้ไม่ต้องการหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดทุติยภูมิแบบมีแทปกลาง ซึ่งก็เหมือนๆ กับหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วๆ ไป ขั้วของด้านปลายของขดทุติยภูมิจะมีขั้วตรงกันข้ามเสมอ ดังนั้นในแต่ละครึ่งไซเกิล ไดโอด 2 ตัวจะได้รับไบ - แอสกลับ หรืออาจจะพูดได้ว่าไดโอดทำหน้าที่เป็นแทปกลาง ในครึ่งไซเกิลแรก แรงดันที่จุด A จะมีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด B ดังนั้นไดโอด D_1 และ D_2 จะได้รับไบแอสตรงในขณะที่ไดโอด D_3 และ D_4 ได้รับไบแอสกลับ กระแสจะไหลออกจากหม้อแปลงไฟฟ้าที่จุด A ผ่านไดโอด D_1 ตัวต้านทานที่เป็นโหลด R_L ไดโอด D_2 แล้วจึงไหลกลับเข้าสู่ขดทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าที่จุด B



รูปที่ 2.3 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น



รูปที่ 2.4 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในครึ่งไซเกิลที่สองขั้วของกระแสไฟสลับจะเปลี่ยนเป็นตรงกันข้าม ทำให้จุด A มีขั้วเป็นลบและจุด B มีขั้วเป็นบวก ภายใต้สภาวะนี้ ไดโอด D_3 และ D_4 จะได้รับไบแอสตรงส่วนไดโอด D_1และ D_2จะได้รับไบแอสกลับ กระแสจะไหลผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าที่จุด B ผ่านไดโอด D_3 , R_L และ D_4 แล้วจึงไหลกลับเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้าทางจุด A และเช่นเดียวกันกับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทั่วๆ ไปทิศทางการไหลของกระแสในตัวต้านทานที่เป็นโหลดจะมีทิศทางเดียวกันทั้งสองครึ่งไซเกิล

ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระเพื่อมที่ผลิตได้จากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์นี้ยังไม่ค่อยจะมีประโยชน์เท่าใดนักในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ ในการผลิตไฟฟ้ากระแสแบบบริสุทธิ์จากไฟขาออกของวงจรเรียงกระแสใช้วงจรกรองกระแสวงจรกรองกระแสในรูปแบบที่ง่ายที่สุดได้แก่ การต่อตัวเก็บประจุตัวเดียวขนานคร่อมตัวต้านทานที่เป็นโหลด ดังแสดงในรูปที่ 2.5

2.2.6 อัตราทนกำลังของวงจรเรียงกระแส

มีคุณสมบัติหลักๆ อยู่สี่อย่างที่ใช้กับวงจรเรียงกระแส ได้แก่ค่ากระแสกระชาก (Surge - Current) กระแสรั่วไหล (Leakage Current)กระแสที่ไหลในทิศทางตรง (Forward Current) และแรงดันย้อนกลับสูงสุด (Peak Inverse Voltage: PIV) สำหรับคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้สองอย่างหลังเป็นสิ่งที่มีความสำคัญสูงสุด

กระแสกระชาก เป็นค่ากระแสสูงสุดในช่วงระยะเวลาสั้นๆ โดยทั่วๆ ไปจะกำหนดจากไซเกิลของไฟกระแสสลับ (1/50 วินาที หรือ 20 มิลลิวินาที) กระแสจำนวนนี้จะมีค่าสูงมากและไม่ใช่กระแสในตอนปฏิบัติงาน กระแสรั่วไหล เป็นค่ากระแสที่ไหลเมื่อไดโอดในวงจรเรียงกระแสได้รับไบแอสกลับ ซึ่งค่านี้โดยทั่วไปแล้วมีค่าน้อยมากเท่าใดก็จะดีมากเท่านั้น กระแสที่ไหลในทิศทางตรง เป็นค่ากระแสสูงสุดที่ไดโอดนั้นทนได้โดยไม่เกิดความเสียหาย จากค่าคุณสมบัติที่ระบุในหนังสือแสดงคุณสมบัติของไดโอดค่ากระแสที่กล่าวถึงก็เป็นกระแสที่ไหลในทิศทางตรง

ค่าทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด (PIV) หรือเรียกอีกอย่างว่า ค่าแรงดันไบแอสกลับสูงสุด (Peak-Reverse Voltage : PRV) เป็นค่าความต่างศักย์ในการไบแอสกลับสูงสุดที่ไดโอดสามารถทนได้โดยไม่เกิดการเสียหาย โดยอัตราการทนแรงดันย้อนกลับสูงสุดเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาขึ้นกับนักออกแบบแหล่งจ่ายไฟ เมื่อใดก็ตามที่แหล่งจ่ายไฟให้ทำไดโอดเสียหายบ่อยๆ มันก็เป็นการแน่ใจได้ว่าสาเหตุมาจากอัตราการทนแรงดันย้อนกลับสูงสุดนั้นไม่เพียงพอ

ในวงจรกรองกระแสของแหล่งจ่ายไฟ สำหรับครึ่งไซเกิลหนึ่งๆ ไดโอดจะได้รับไบแอส-ตรงและมีกระแสไหล ในครึ่งไซเกิลนั้นตัวเก็บประจุสำหรับกรองกระแส (C_1ในรูปที่ 2.5) จะประจุจนมีระดับแรงดันบวกสูงสุด (เท่ากับ 1.414 x แรงดันอาร์เอ็มเอส) แรงดันที่ประจุนี้จะยังคงอยู่บน C_1 สำหรับครึ่งไซเกิลต่อไประดับแรงดันไฟสลับจะให้ไบแอสกลับกับวงจรเรียงกระแส จนถึงค่า

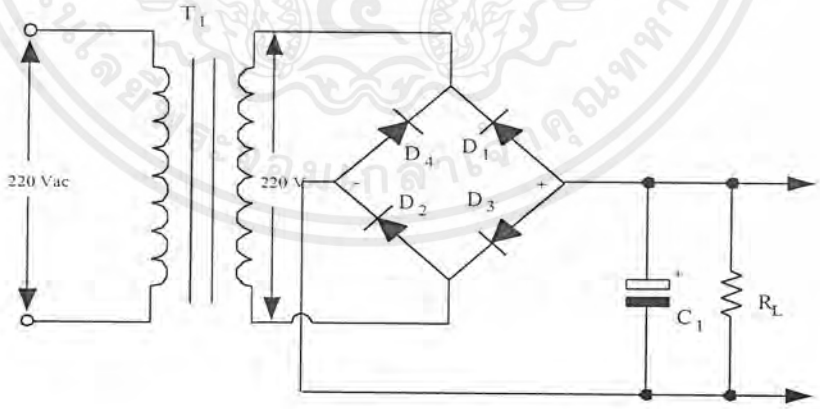
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันที่เป็นลบสูงสุด (เท่ากับ 1.414 x แรงดันอาร์เอ็มเอส) ระดับความต่างศักย์นี้จะถูกรวมเข้ากับแรงดันจากตัวเก็บประจุ ทำให้ค่าแรงดันย้อนกลับสูงสุดจริงๆ เป็น 2 เท่าของค่าแรงดันยอดตามปกติ

การติดตั้งแหล่งจ่ายไฟตรงจะต้องแน่ในว่าได้ติดวงจรเรียงกระแสในที่มีการระบายอากาศได้ดี วงจรเรียงกระแสจะกำเนิดความร้อนขึ้นมา จึงต้องการการระบายอากาศที่ดีวงจรเรียงกระแสแบบที่ยึดติดกับแผ่นระบายความร้อน มักจะต้องการแผ่นระบายความร้อนที่มีขนาดใหญ่เพียงพอ สำหรับวงจรเรียงกระแสแบบที่มีขาออกมาในแนวยาว (Axial-Lead Rectifiers) ควรจะติดตั้งห่างจาก แผ่นวงจรพิมพ์และวงจรเรียงกระแสตัวอื่นอย่างต่ำ 1/8 นิ้ว และเว้นระยะขาให้เหลืออยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์แต่ละข้าง 0.4 นิ้ว นอกจากนี้ไม่ควรติดตั้งวงจรเรียงกระแสใกล้กับอุปกรณ์ที่ไวต่อความร้อน เช่น พวกออปแอมป์ วงจรออสซิลเลเตอร์ และทรานซิสเตอร์

2.2.7 วงจรกรองกระแส

หน้าที่ของวงจรกรองกระแสในแหล่งจ่ายไฟก็คือ ทำให้รูปคลื่นของไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระเพื่อมนั้นราบเรียบขึ้น และ ทำให้ใกล้เคียงกับไฟฟ้ากระแสตรงบริสุทธิ์เท่าที่จะทำได้วงจรกรองกระแสที่ง่ายที่สุดได้แก่ การต่อตัวเก็บประจุขนานกับทางออกของวงจรเรียงกระแสและโหลดวงจรกรองกระแสแบบนี้เรียกว่า "วงจรกรองกระแสแบบบังคับ" (Brute - Force - Filer) ตัวอย่างจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตัวเก็บประจุ C_1 จะทำหน้าที่กรองกระแสเพื่อให้แรงดันไฟตรงตกคร่อม R_L

ในระหว่างที่ระดับแรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสกำลังเพิ่มขึ้น ตัวเก็บประจุ C_1 จะได้รับการประจุดังแสดงในรูปที่ 2.6 หลังจากที่ระดับแรงดันสูงสุดได้ผ่านพ้นไป โดยระดับแรงดันที่ผ่านการเรียงกระแสเริ่มลดลงและมาถึงจุดที่ความต่างศักย์ของมันลดต่ำกว่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุสำหรับกรองกระแส C_1 ที่ระยะเวลานั้นประจุที่เก็บไว้ในตัวเก็บประจุจะเริ่มปล่อยเข้าสู่โหลด R_L ซึ่งจะมีผลในการเติมเข้าไปในช่องว่างระหว่างยอดคลื่น เป็นการเพิ่มระดับแรงดันเฉลี่ยออกให้ใกล้เคียงกับค่าแรงดันสูงสุด (PV) ความลาดชันของการคายประจุในดังแสดงในรูปที่ 2.6 จะแสดงให้เห็นถึงกระแสถูกดึงออกจากตัวเก็บประจุที่ใช้กรองแส ในระหว่างที่ระดับแรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสต่ำกว่าระดับแรงดันของตัวเก็บประจุ

ความสามารถของวงจรกรองกระแสที่จะทำให้ระดับแรงดันขาออกเรียบ (ลดความลาด - ชันของเส้นกราฟในแนวระดับในรูปที่ 2.6) นั้นขึ้นอยู่กับทั้ง R_L และ C_1 และแสดงค่าให้เห็นโดยตัวประกอบริปเปิ้ลที่ไม่มีหน่วย (Ripple Factor : R.F.)

$$R.F. = \frac{V_R}{V_S} \tag{2.4}$$

โดย R.F. เป็นตัวประกอบริปเปิ้ล (ไม่มีหน่วย), VR เป็นความสูงของค่าริปเปิ้ลเมื่อไม่ได้ต่อ C1 และ Va เป็นระดับแรงดันขาออกเฉลี่ยนเมื่อมี C_1 ในวงจร

ในสมการที่ (2.4) สามารถแทนที่ด้วยรูปแบบที่เป็นประโยชน์มากกว่าคือ

$$R.F. = \frac{1}{346 f R_L C_1} \tag{2.5}$$

เมื่อ f เป็นความถี่ริปเปิ้ลมีค่าเป็นเฮริตซ์ (Hertz), R_L เป็นค่าความต้านทานของโหลด มีค่าเป็นโอห์ม และ C_1 เป็นค่าความจุมีหน่วยเป็นฟารัด

เมื่อใช้การเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ดังนั้นเราสามารถเขียนแบบทั่วๆ ไปของสมการให้อยู่ในรูปแบบเฉพาะดังนี้

สำหรับวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

$$R.F. = \frac{1}{173 R_L C_1} \tag{2.6}$$

สำหรับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

$$R.F. = 1/346 R_L C_1 \tag{2.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสมการ (2.6) และ (2.7) อาจจัดใหม่ เพื่อจะหาค่าต่ำสุดของตัวประจุ (C_1 ในรูปที่ 2.5) ที่ต้องการในการทำงาน

สำหรับวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

$$C_1(\mu F) = \frac{10^6}{173R_L(\%R.F.)} \tag{2.8}$$

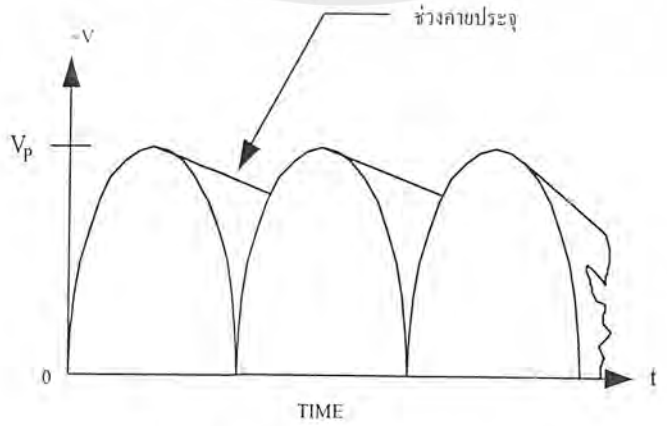
สำหรับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

$$C_1(\mu F) = \frac{10^6}{346R_L(\%R.F.)} \tag{2.9}$$

สมการ (2.8) และ (2.9) จะใช้ได้สำหรับแหล่งจ่ายไฟที่ใช้วงจรกรองแสแบบบังคับ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และทำงานด้วยความถี่ไฟสลับ 50 เฮิรตซ์

มีกฎแบบง่ายๆ ในการคำนวณหาค่าต่ำสุดของ C_1 เท่ากับ 1,000 ไมโครฟารัดต่อกระแสโหลด 1 แอมแปร์ ซึ่งคำแนะนำนี้ใช้กับค่าตัวประกอบริปเปิ้ลเท่ากับ 0.5 และใช้ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อมีวงจรรักษาระดับแรงดันต่อถัดมาจากวงจรกรองกระแส

การกรองกระแสมีผลทำให้เพิ่มค่าเฉลี่ยของระดับแรงดันขาออก ระดับแรงดันที่ผลิตได้ในรูปที่ 2.8 จะเป็นดังนี้ (สำหรับความถี่ไฟสลับ 50 เฮิรตซ์)



รูปที่ 2.6 ความลาดชันของการคายประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

$$V_O = V_P - (\frac{1}{100C_1}) \quad (2.10)$$

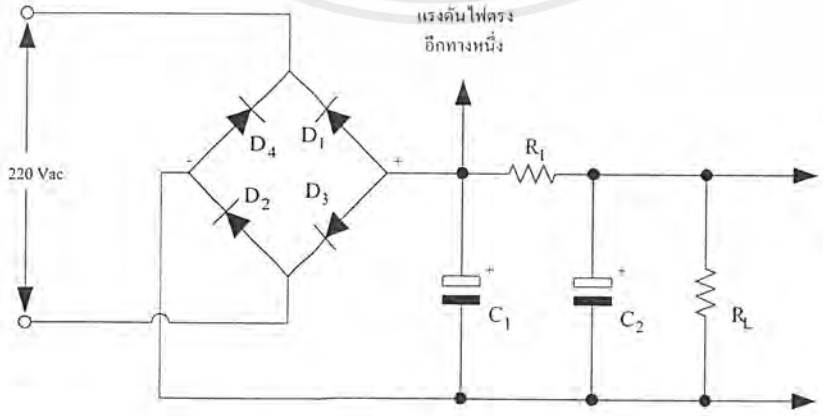
วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

$$V_O = V_P - (\frac{1}{200C_1}) \quad (2.11)$$

เมื่อ Vo เป็นค่าความตามศักย์ขาออก, V_P เป็นระดับแรงดันสูงสุดจากวงจรเรียงกระแส (1.414 x แรงดันอาร์เอ็มเอส), I_O เป็นค่ากระแสโหลดขาออกหน่วยเป็นแอมแปร์ และ C_1 เป็นค่าความจุหน่วยเป็นฟารัด

2.2.8 วงจรกรองกระแสแบบพาย

วงจรกรองกระแสแบบพายแสดงในรูปที่ 2.7 เป็นการปรับปรุงการกรองกระแสให้ดีขึ้น เนื่องจากเป็นการปรับปรุงเพื่อลดริปเปิ้ล ที่ทำให้การรักษาระดับแรงดันไม่คงที่ และโดยจำกัดกระแสโดย R_1 โดยที่ R_1 นี้จะช่วยเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ทางด้านขาออกของแหล่งจ่ายไฟ ผลกระทบของการใช้วงจรกรองกระแสแบบพายนี้ อาจจะถูกมองข้ามไปถ้าการลดค่าริปเปิ้ลเป็นตัวหลักที่ต้องคำนึงถึงและกระแสโหลดค่อนข้างคงที่ ตัวอย่างที่ดีอันหนึ่งของการใช้งานได้แก่ภาคปรี - แอมป์ของวงจรขยายเสียง คลาส A เนื่องจากวงจรใช้กำลังงานต่ำ แต่ต้องการกระแสที่เกือบจะคงที่



รูปที่ 2.7 วงจรกรองกระแสแบบพาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะเดียวกันวงจงภาคปรีแอมป์นี้ ก็ต้องการแหล่งจ่ายไฟที่ปราศจากริปเปิ้ลเพื่อไม่ให้เกิดเสียงฮัมขึ้นมาค่าตัวประกอบริปเปิ้ลทางขาออกของรูปที่ 2.7 (ที่ตกคร่อม R_L) สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้คือ

$$R.F. = \frac{K}{C_1 C_2 R_1 R_2} \tag{2.12}$$

โดยที่ C_1 และ C_2 มีหน่วยเป็นฟารัด, R_1 และ R_L มีหน่วยเป็นโอห์ม, K เป็นค่าคงที่

2.2.9 การเลือกตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรกรองกระแส

ค่าของตัวประจุที่ใช้ในวงจรกรองกระแสของแหล่งจ่ายไฟจะมีค่าสูงเมื่อเทียบกับค่าของตัวเก็บประจุอื่นๆ ที่ใช้ในวงจรที่ถูกป้อนโดยแหล่งจ่ายไฟ แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแรงดันสูง จะใช้ตัวเก็บประจุอยู่ในย่าน 5 ไมโครฟารัดถึง 100 ไมโครฟารัดในขณะที่แหล่งจ่ายไฟแรงดันต่ำจะมีตัวเก็บประจุในวงจรกรองกระแสอยู่ในย่านเกิน 500 ไมโครฟารัด มาจากเส้นทางของการป้อนกลับที่ไม่ต้องการสมการที่ต้องการใช้ เพื่อที่จะคำนวณหาค่าตัวประกอบริปเปิ้ลที่ต้องการลดลง แต่อาจจะไม่เพียงพอสำหรับการตัดสัญญาณไฟกระแสสลับความถี่ต่ำ สำหรับสัญญาณเสียงนั้น การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ของตัวประกอบริปเปิ้ลที่ใช้นี้ โดยทั่วไปแล้วก็เป็นการเพียงพอแต่เมื่อการตอบสนองด้านความถี่ต่ำของวงจรขยายเสียงเข้าใกล้ย่านไฟตรง เราอาจจะต้องการค่าความจุไฟฟ้าที่สูงขึ้น เพื่อให้เหมาะสมในการดีคัปปลิ้ง กฎโดยทั่วไปก็คือ การเลือกค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้ (ก) ให้การตอบสนองต่อความถี่ต่ำที่ต้องการ หรือ (ข) เพื่อให้เกิดการลดค่าริปเปิ้ลตามที่ต้องการ เมื่อค่าต่างๆ เหล่านี้ไม่เท่ากันก็ให้เลือกใช้ค่าความจุค่าที่สูงกว่ามีกฎง่ายๆ ในการเลือกค่าความจุสำหรับการดีคัปปลิ้งซึ่งจะให้ค่ารีแอคแตนซ์เท่ากับหนึ่งในสิบของค่าความต้านทาน ที่ความถี่ต่ำสุดของการทำงาน จะได้สมการคือ

$$C = \frac{1}{2f(0.1R_S)} \tag{2.13}$$

เมื่อ C เป็นค่าความจุหน่วยเป็นฟารัด, F เป็นจุดที่ค่าการตอบสนองความต่ำถี่โดยกำลังลดลง –3 dB และ R_S เป็นความต้านทานของวงจรแหล่งจ่ายไฟ

วิธีการออกแบบที่ถูกต้องก็คือ การคำนวณค่าความจุที่ต่ำที่สุดจากตัวประกอบริปเปิ้ล และช่วงการตอบสนองความถี่แล้ว จึงเลือกเอาค่าที่สูงกว่าจากค่าทั้งสองที่คำนวณได้ค่าความจุค่าสูง

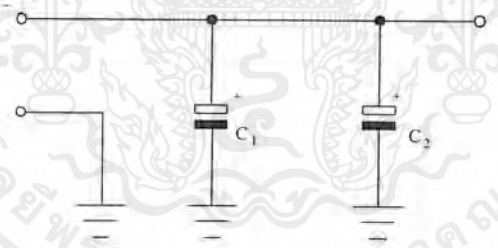
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถหาได้จากตัวเก็บประจุแบบอิเล็กทรอไลต์ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดคือ แบบอะลูมิเนียม และแทนทาลัม

2.2.10 อัตราทนกำลังและแรงดันใช้งานสูงสุด

อัตราทนกำลังของตัวเก็บประจุแบบอิเล็กทรอไลต์ ต้องคำนึงถึงได้แก่ ค่าความจุและระดับแรงดันใช้งานสูงสุด (DC Working Voltage : WVDC) โดยปกติแล้วค่าความจุของตัวเก็บประจุอิเล็กทรอไลต์แบบอะลูมิเนียมจะมีค่าความคลาดเคลื่อน (Tolerance) จาก –20% ถึง +100% ถ้าค่าตัวประกอบริปเปิ้ลหรือการตอบสนองความถี่ค่อนข้างวิกฤต ให้เพิ่มค่าความจุของวงจรกรองกระแสจากที่คำนวณได้อีก 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์

สำหรับอัตราการการทนแรงดันใช้งานสูงสุดนั้น โดยปกติจะยอมให้มีค่าความคลาดเคลื่อนได้อีก +20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการออกแบบที่ไม่รัดกุมนั้น จะใช้งานตัวเก็บประจุในวงจรกรองกระแสที่ค่าความตามศักย์สูงกว่า 80% ของค่าระดับแรงดันใช้งานสูงสุด และค่าความตามศักย์ในวงจรอาจเปลี่ยนแปลงไปประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงควรจะเลือกอัตราการทนแรงดันใช้งานสูงสุดอย่างน้อย สูงกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ ของค่าแรงดันที่คาดว่าจะเป็นจริง



รูปที่ 2.8 ตัวเก็บประจุที่ใช้กรองกระแสต่อกันแบบขนาน

2.2.11 การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

ในบางกรณีจำเป็นที่จะต้องรวมค่าตัวเก็บประจุเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ค่าความจุสูงขึ้น เมื่อตัวเก็บประจุ 2 ตัว หรือมากกว่าต่อขนานกัน (ในรูปที่ 2.8) ค่าความจุรวม C_T จะหาได้จากสมการดังนี้คือ

$$C_T = C_1 + C_2 + ...C_n \qquad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการทนแรงดันใช้งานสูงสุดของตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันนี้ จะเท่ากับอัตราทนแรงดันสูงสุดของตัวเก็บประจุตัวที่ต่ำที่สุดในกลุ่ม ยกตัวอย่างเช่น ถ้าตัวเก็บประจุที่มีอัตราการทนแรงดันสูงสุด 50 โวลต์ ต่อขนานกับตัวเก็บประจุที่มีอัตราการทนแรงดันสูงสุด 25 โวลต์ จะได้อัตราการทนแรงดันสูงสุดของตัวเก็บประจุคู่นี้เท่ากับ 25 โวลต์

2.2.12 การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม

ในรูปที่ 2.9 จะแสดงให้เห็นถึงตัวเก็บประจุต่อแบบอนุกรมกัน เพื่อที่จะเพิ่มค่าอัตราการทนแรงดันสูงสุด แต่วิธีนี้จะเป็นการลดค่าของความจุตามกฎการต่ออนุกรมกันของตัวเก็บประจุ ส่วนใหญ่แล้วตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรมกันที่มีค่าเท่ากัน ค่าความจุรวมจะเท่ากับ C/n เมื่อ C เป็นค่าความจุของแต่ละตัว และ n เป็นจำนวนตัวที่ต่ออนุกรมกัน

ถ้าตัวเก็บประจุทั้งหมด มีค่าความจุและอัตราการทนแรงดันสูงสุดเท่ากันแล้ว อัตราการทนแรงดันสูงสุดรวมทั้งหมดจะเท่ากับผลรวมของอัตราการทนแรงดันสูงสุดแต่ละตัวรวมกัน ดังนั้นถ้านำเอาตัวเก็บประจุ ขนาด 200 ไมโครฟารัด อัตราการทนแรงดันสูงสุด 450 โวลต์ จำนวน 4 ตัว มาต่ออนุกรมกัน จะได้ค่าความจุเท่ากับ 50 ไมโครฟารัด โดยมีอัตราการทนแรงดันสูงสุดเท่ากับ 1800 โวลต์ ส่วนใหญ่แล้วเรามักจะเห็นตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกันในวงจรกำลังงานสูงหลอดสุญญากาศ และวงจรขยายสัญญาณวิทยุของนักวิทยุสมัครเล่น เป็นต้น

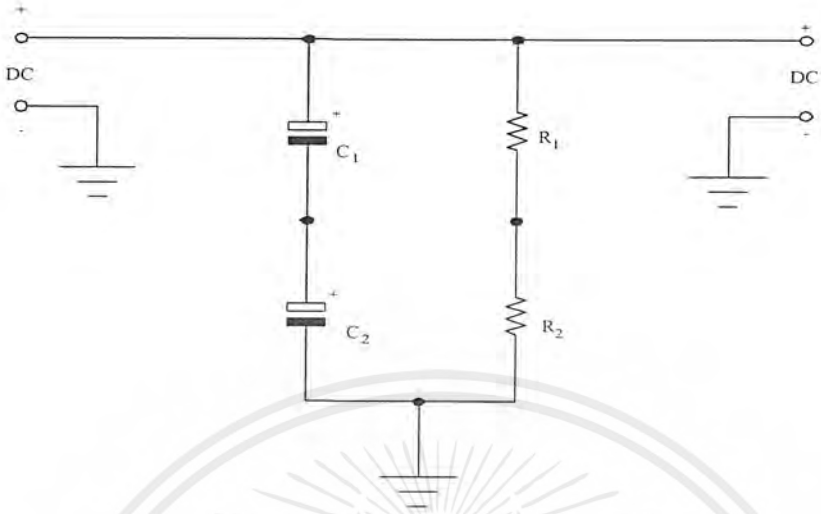
2.2.13 การต่อตัวต้านทานร่วม

ในบางวงจรจะเห็นมีตัวต้านทานที่ใช้ควบคุมความสมดุลของระดับแรงดัน R_1 และ R_2 (ในรูปที่ 2.9) โดยจะต่อขนานกับตัวเก็บประจุแต่ละตัว ตัวต้านทานเหล่านี้ ควรจะมีค่าความต้านทาน (R_0) ประมาณ 100 โอห์มต่อโวลต์ และอัตราการทนกำลังงานสูงกว่า V^2_C/R ยกตัวอย่างเช่น ตัวเก็บประจุมีค่าแรงดันใช้งานสูงสุด 450 โวลต์ ดังนั้น R = (450 x 100) = 45,000 โอห์ม (ใช้ค่ามาตรฐาน 47,000 โอห์ม) โดยมีอัตราการทนกำลังงานสูงกว่า (450^2/45000 หรือ 4.5 วัตต์) จะเลือกใช้ขนาด 5 วัตต์ก็ได้ แต่ถ้าใช้ขนาด 7 วัตต์ หรือ 10 วัตต์จะมีความเหมาะสมกว่าหรือเลือกใช้อัตราการทนกำลังงานค่าต่ำลงมา เนื่องจากเวลาใช้งานแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ จะต่ำกว่าค่าอัตราการทนแรงดันสูงสุดเสมอ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าระดับแรงดันจะไม่สูงกว่า 250 โวลต์ ตกคร่อมตัวเก็บประจุแล้ว สามารถเลือกใช้ตัวต้านทานขนาดทนกำลังงาน 2 วัตต์ ได้

โดยปกติสามารถรวมค่าอัตราการทนแรงดันสูงสุด แต่ถ้าค่าความจุไม่เท่ากันแล้ว ค่าแรงดันตกคร่อมจะมีค่าไม่เท่ากัน จะต้องคำนวณค่ารีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุแต่ละตัวที่ค่าความถี่ของริปเปิ้ล แล้วจึงคำนวณหาค่าแรงดันตกคร่อมค่ารีแอคแตนซ์แต่ละตัวโดยการคำนวณด้วยสมการของ

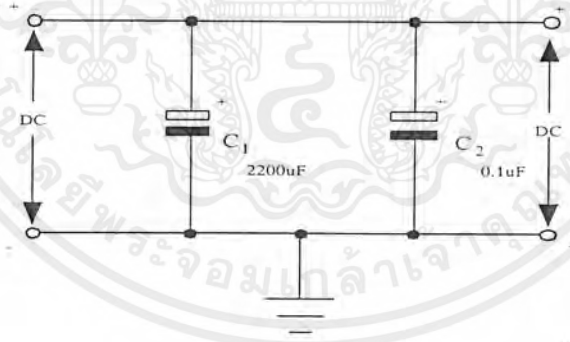
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.9 ตัวเก็บประจุที่ใช้กรองกระแสต่อกันแบบอนุกรม

การแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) จะเป็นไปได้ที่ตัวเก็บประจุหนึ่งตัวหรือมากกว่า จะได้รับแรงดันตกคร่อมมากกว่าตัวอื่นๆ



รูปที่ 2.10 ตัวเก็บประจุ

2.2.14 ตัวเก็บประจุบายพาส

ในรูปที่ 2.10 มักจะพบในแหล่งจ่ายไฟของวงจรขยายกำลังสัญญาณความถี่วิทยุทั่วไปโดยตัวเก็บประจุแบบอิเล็กทรอไลต์จะไม่มีความสามารถในการส่งผ่านความถี่ สัญญาณวิทยุหรือความถี่สูง ในงานเหล่านั้นเราต้องการตัวเก็บประจุค่าสูงๆ สำหรับลดค่าริปเปิ้ล และตัวเก็บประจุแบบเซรามิกหรือไมก้าสำหรับเหนี่ยวนำความถี่สูงทิ้งไป สำหรับในรูปที่ 2.10 ตัวเก็บประจุขนาด 2,200 ไม-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40164

โครฟารัด สำหรับลดค่าริปเปิ้ลในแหล่งจ่ายไฟ และตัวเก็บประจุขนาด 0.1 ไมโครฟารัด สำหรับเหนี่ยวนำความถี่สูงทิ้งไป

2.2.15 การรักษาระดับแรงดันให้คงที่

จุดมุ่งหมายของการรักษาระดับแรงดันให้คงที่ ก็คือ การรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ แม้ว่ากระแสของโหลดเอาต์พุต ระดับแรงดันอินพุต หรือทั้งสองอย่าง มีการเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม ปัญหาเบื้องต้นของการรักษาระดับแรงดันซึ่งก่อให้เกิดความยุ่งยากกับอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้านซึ่งมีอยู่หลายสาเหตุ ปัญหาแรกได้แก่ การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟจากสายไฟตามบ้าน ซึ่งสามารถจะเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ หรือในแบตเตอรี่รถยนต์ระดับแรงดันสามารถเปลี่ยนแปลงได้ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโดยปกติจะเปลี่ยนแปลง 20-25 เปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงแรงดันของแบตเตอรี่อย่างมากมายนี้ จะก่อให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ เช่น เครื่องเสียงที่ติดตั้งอยู่ภายในรถยนต์

ส่วนสาเหตุประการที่สองของการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันเอาต์พุตได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลดรากแท้ของปัญหาได้แก่ ไม่มีแหล่งจ่ายไฟใดมีคุณสมบัติเหมือนกับในอุดมคติเลย เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟทุกชนิดจะมีค่าความต้านทานภายใน บางครั้งเรียกว่าความต้านทานของแหล่งจ่ายไฟ (Source Resistance :R_S) ปัญหาในเรื่องค่าความต้านทานภายในนี้ แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.11 โดย R_S จะต่ออนุกรมอยู่กับแหล่งจ่ายแรงดัน V_I

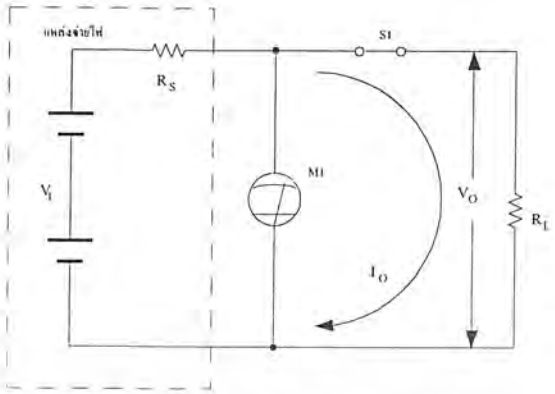
เมื่อไม่มีกระแสเอาต์พุตไหล ระดับแรงดันเอาต์พุต V_O จะมีค่าเท่ากับ V_I แต่เมื่อเกิดการไหลของกระแสเอาต์พุตก็จะเกิดแรงดัน (เท่ากับ $I_O \times R_S$) ตกคร่อมความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายไฟ ภายใต้สภาวะเช่นนี้ ค่าความต่างศักย์ที่เป็นจริงของเอาต์พุต $V_O = V_I - (I_O \times R_S)$ เราสามารถสรุปได้ว่าการจะรักษาให้ระดับแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุดก็โดย

1) พยายามรักษาค่า I_O ให้คงที่
2) ลดความต้านทาน R_S ให้น้อยที่สุด
3) จัดหาวงจรระดับรักษาแรงดันซึ่งเป็นวิธีการที่สมเหตุสมผลมากที่สุด

ค่าเปอร์เซนต์ของการรักษาระดับแรงดัน (Percentage of Regulation : % REG) เป็นวิธีการวัดค่าการรักษาระดับแรงดัน

เมื่อ V_O เป็นระดับแรงดันเอาต์พุตเมื่อไม่มีโหลด และ V_{Lmax} เป็นระดับแรงดันเอาต์พุต เมื่อแหล่งจ่ายไฟจ่ายกระแสออกไปสูงที่สุดเต็มขีดจำกัด

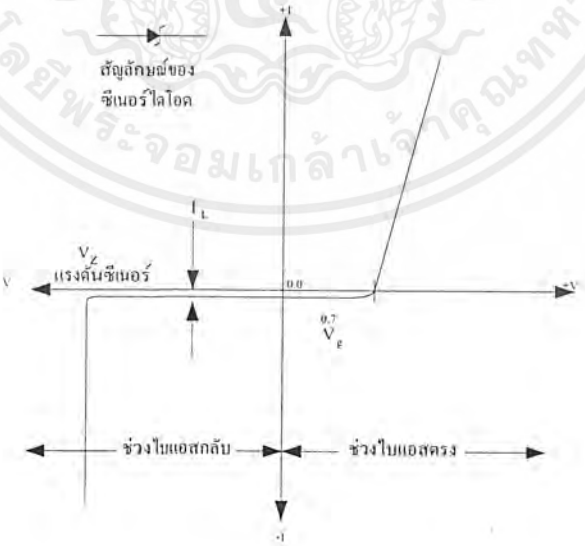
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ค่าความต้านทานภายใน (R_S)

2.2.16 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมและแบบขนาน

วงจรรักษาระดับแรงดัน แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ แบบอนุกรมและแบบขนาน วงจรรักษาระดับแรงดันแบบขนาน เป็นแบบหนึ่งซึ่งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันจะต่ออย่างขนานกับโหลด ตัวอย่างได้แก่ วงจรที่ใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์ในการรักษาระดับแรงดัน ส่วนวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมนั้น อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันจะต่ออนุกรมกับโหลด ตัวอย่างได้แก่วงจรทั้งหมดที่ใช้ทรานซิสเตอร์ต่ออนุกรมเพื่อควบคุมระดับแรงดันเอาต์พุต



รูปที่ 2.12 การรักษาระดับแรงดันของซีเนอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.17 วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ซีเนอร์ไดโอด

ซีเนอร์ไดโอดเป็นวงจรรักษาระดับแรงดันที่หาได้ง่ายที่สุด ในรูปที่ 2.12 จะแสดงให้เห็นถึงสัญลักษณ์ และกราฟแสดงคุณลักษณะระหว่างกระแสต่อแรงดันของซีเนอร์ไดโอด

ซีเนอร์ไดโอดเป็นไดโอดที่ทำจากรอยต่อของสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็น (PN Junction) โดยได้มีการควบคุมและรักษาระดับแรงดันพังทลาย (Avalanche Voltage : V_Z) ซึ่งเรียกว่าแรงดันซีเนอร์ (Zener Potential)

ซีเนอร์ไดโอดจะเหมือนกับไดโอดทั่วไป เมื่อให้ทำงานในย่านที่ได้รับไบแอสตรงดังแสดงในรูปที่ 2.12 ในช่วงระหว่าง 0 โวลต์ ถึงประมาณ 0.7 โวลต์ (V_g) กระแสจะเพิ่มขึ้นจากค่ากระแสรั่วไหลพื้นฐาน (I_L) ไปสู่ค่ากระแสที่มีค่าเฉพาะ แต่มีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่ระดับแรงดันสูงกว่า V_g กระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นต่อการเพิ่มขึ้นของระดับแรงดัน ซึ่งเรียกกันว่า เป็นย่านการทำงานตามกฎของโอห์ม (Ohm's Law Region Of Operation)

ซีเนอร์ไดโอดนั้น จะทำงานคล้ายกับไดโอดแบบรอยต่อพีเอ็น ในย่านการทำงานแบบไบแอสกลับ ระหว่าง 0 โวลต์ และแรงดันซีเนอร์ (V_Z) โดยจะเกิดกระแสไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เรียกว่า "กระแสรั่วไหลเมื่อได้รับไบแอสกลับ" (I_L)

ความแตกต่างระหว่างซีเนอร์ไดโอดกับไดโอดแบบทั่วไป ได้แก่ เมื่อได้รับไบแอสกลับถึงจุดซีเนอร์ (Vz) ที่ค่าความต่างศักย์นี้ รอยต่อของไดโอดจะเกิดการพังทลาย (Avalanches) และกระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ค่าแรงดันที่ตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด จะมีค่าคงที่ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ป้อนเข้ามา ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้ จะทำให้เกิดการรักษาค่าระดับแรงดันโดยซีเนอร์ไดโอด

ในรูปที่ 2.13 เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่รักษาระดับแรงดันด้วยซีเนอร์ไดโอด โดยตัวต้านทาน RL จะแทนค่าโหลดที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟนี้ (เท่ากับ Vz + I3) ตัวเก็บประจุ C_1 เป็นตัวเก็บประจุที่ใช้กรองกระแสแบบธรรมดาที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟทั่วไป การเลือกค่าความจุของ C_1 ใช้กฎอย่างง่าย ๆ ก็คือไม่ต่ำกว่า 1000 ไมโครฟารัด ต่อค่ากระแสโหลด 1 แอมแปร์ หรือ 500 ไมโครฟารัด ต่อกระแส 1 แอมแปร์

ตัวเก็บประจุ C_2 ในรูปที่ 2.13 ใช้ในการกดสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากซีเนอร์ไดโอด ในหลาย ๆ วงจรที่ไม่คำนึงถึงสัญญาณรบกวน ก็อาจตัด C_2 ออกไปจากวงจรได้

คำนวณค่าของ R_S ในหน่วย โอห์ม

เงื่อนไขที่1 :

$$R_S = \frac{V_{\min} - V_Z}{1.1 I_S} \qquad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขที่2 :

$$R_S = \frac{Rin\ -V_Z}{1.1I_3} \tag{2.16}$$

เงื่อนไขที่3 :

$$R_S = \frac{V_{\min} - V_Z}{1.1I_3} \tag{2.17}$$

กำลังงานสูญเสียของ D_S หน่วยเป็นวัตต์

$$P_{DS} = \frac{(V\min\text{-}V_Z)^2}{R_S} - (I_3V_Z) \tag{2.18}$$

กำลังงานสูญเสียของ R_S หน่วยเป็นวัตต์

$$P_{RS} = \frac{(V\max\text{-}V_Z)^2}{R_S} \tag{2.19}$$

หรือ

$$P_{RS} = P_{DS} + I_3V_Z \tag{2.20}$$

การออกแบบวงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ซีเนอร์ไดโอดดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.13 โดยมีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 4 ขั้น คือ

1) พิจารณาถึงสภาวะการทำงาน

2) เลือกค่าความต่างศักย์ของซีเนอร์

3) เลือกค่าความต้านทานและอัตราทนกำลังของ R_S

4) คำนวณค่ากำลังสูญเสียของซีเนอร์ไดโอด

ซีเนอร์ไดโอดจะต้องทำงานอยู่ภายใต้เงื่อนไข 3 ข้อ แต่อันดับแรกจะต้องเลือกเงื่อนไขที่ใกล้เคียงกับวงจรของเราที่สุด เงื่อนไขต่าง ๆ เหล่านั้นได้แก่

1) ระดับแรงดันไฟป้อน (V_S) มีค่าเปลี่ยนแปลง ส่วนกระแสโหลด (I_3) มีค่าคงที่

2) ระดับแรงดันไฟป้อนมีค่าคงที่ส่วนกระแสโหลดมีค่าเปลี่ยนแปลง

3) ระดับแรงดันไฟป้อนมีค่าเปลี่ยนแปลง และกระแสโหลดมีค่าเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้ในการออกแบบสำหรับทั้ง 3 กรณีนั้น แสดงให้เห็นในตารางที่ 1 และต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นขั้นตอนการออกแบบและตัวอย่างสำหรับเงื่อนไขแบบที่ 1 ถึงเงื่อนไขแบบที่ 3

การออกแบบสำหรับเงื่อนไขที่ 1

โดยการทำตามขั้นตอนข้างล่างเพื่อกำหนดตัวแปรของวงจร :

1) เลือกค่า V_z จากการใช้งาน

2) เลือกค่ากระแสโหลด

3) คำนวณหาค่า R_S

4) คำนวณค่ากำลังสูญเสียของซีเนอร์ไดโอด

5) คำนวณค่าอัตราทนกำลังของซีเนอร์ไดโอด

6) คำนวณค่ากำลังสูญเสียของตัวต้านทาน R_S

7) เลือกอัตราทนกำลังของตัวต้านทาน R_S

ตัวอย่าง : จงออกแบบวงจรรักษาระดับแรงดันโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เพื่อให้ได้ระดับแรงดันเอาต์พุตเป็นไฟตรง 6.8 โวลต์ โดยมีกระแสโหลด 75 มิลลิแอมป์ แหล่งจ่ายไฟมาจากแบตเตอรี่รถยนต์ ซึ่งปกติแล้วจะมีค่าแรงดันไฟตรงเปลี่ยนแปลงจาก 12 ถึง 15 โวลต์เนื่องจากความเร็วของเครื่องยนต์จะเปลี่ยนจากตอนเดินเบาไปสู่รอบหมุนสูงขึ้น

ขั้นตอนที่ 1 : เลือกค่า V_z = 6.8 โวลต์ดีซี (จากการกำหนดให้มา)

ขั้นตอนที่ 2 : กำหนดค่ากระแสโหลด = 0.075 แอมแปร์ (จากการกำหนดให้มา)

ขั้นตอนที่ 3 : $R_S = \dfrac{(V_{\min} - V_Z)}{1.1I_3}$

ข้อสังเกต : ใช้ค่า $1.1I_3$ เพื่อยอมให้กระแสไหลใน R_S เพิ่มขึ้น 10%

$$R_S = (12 - 6.8)/(1.1 \times 0.075)$$
$$= 5.2(V)/0.083(A)$$
$$= 63\Omega$$

ขั้นตอนที่ 4 : คำนวณหาค่า P_{DS}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{DS} = \frac{(V\,\max - V_Z)^2}{R_1} - (I_3 V_Z)$$

$$P_{DS} = [(15 - 6.8)2/63] - (0.075 \times 6.8)$$

$$= 0.57W$$

ขั้นตอนที่ 5 : เลือกอัตราทนกำลังของ D5 เนื่องจากการคำนวณได้ค่า P_D เท่ากับ 0.57 วัตต์ เราสามารถใช้ซีเนอร์ขนาด 1วัตต์ ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปแล้ว เป็นการฝึกหัดที่ดีที่สุดที่จะใช้ไดโอดที่มีอัตราการทนกำลังสูงกว่าค่า P_{D5} ที่ได้จากการคำนวณ 20% หรือมากกว่า

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณหาค่า P_{RS}

$$P_{RS} = P_{DS} + I_3 V_Z$$

$$= 0.57 + (0.075)(6.8)$$

$$= 1.08W$$

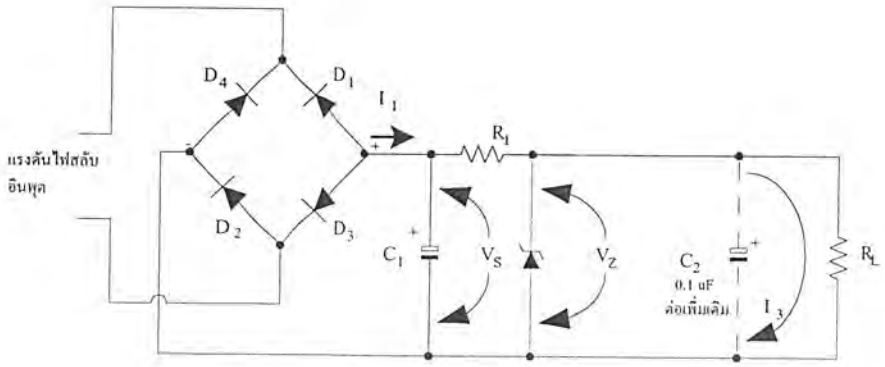
ขั้นตอนที่ 7 : พิจารณาเลือกอัตราทนกำลังของ R_S เนื่องจาก P_{RS} เท่ากับ 1.07 วัตต์ เราจะเลือกใช้ตัวต้านทาน R_S ขนาด 2 วัตต์ ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานค่าถัดไปที่มี โดยเราใช้หลักเดียวกับอัตราทนกำลังของซีเนอร์ไดโอด คือเผื่อไว้ 20% หรือมากกว่า

การออกแบบสำหรับเงื่อนไขที่ 2 และ 3

สำหรับเทคนิคในการออกแบบตามเงื่อนไขที่ 2 และ 3 นั้น จะเหมือนกับในเงื่อนไขที่ 1 ทุกอย่างยกเว้น ในเงื่อนไขที่ 2 ใช้ค่า I_{3max} แทนค่า I_3 (เงื่อนไขที่ 2 ใช้แทนค่ากระแสที่เปลี่ยนแปลง) ในเงื่อนไขที่ 3 ใช้ค่า V_{min} เช่นเดียวกับเงื่อนไขที่ 1 และใช้ค่า I_{3max} เช่นเดียวกับเงื่อนไขที่ 2

ซีเนอร์ไดโอดนั้น จะได้รับผลกระทบจากความผิดพลาดของระดับแรงดันอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และนอกจากนี้ จากหลักความจริงที่ว่าระดับแรงดันซีเนอร์นั้นมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงไปได้มากกว่าที่จะมีค่าคงที่อย่างแน่นอน แต่ก็ยังมีวิธีการในการเอาชนะข้อจำกัดเหล่านี้ แต่ในขณะนี้จะต้องระมัดระวังถึงความเที่ยงตรง ความแน่นอน ระดับแรงดันอ้างอิงสามารถพบได้จากไดโอดแบบพิเศษที่ใช้เป็นแรงดันอ้างอิงและในอุปกรณ์ที่เป็นแบบวงจรรวม ซึ่งภายในบรรจุซีเนอร์ไดโอดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

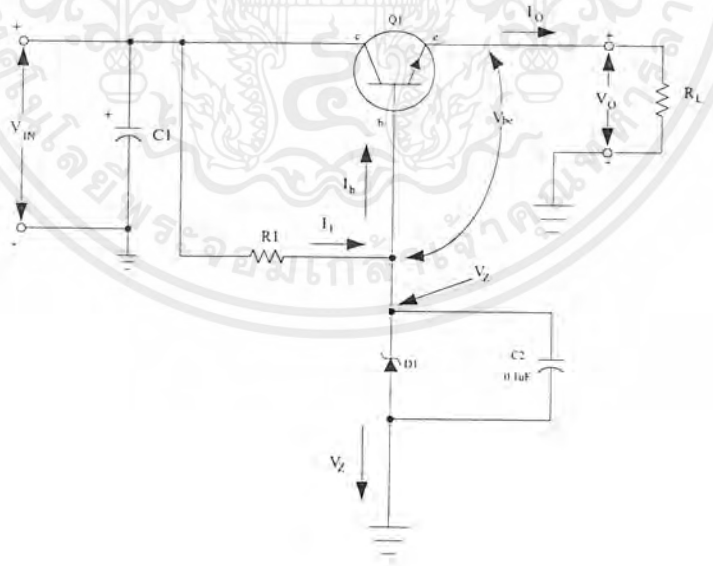


รูปที่ 2.13 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

2.2.18 วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ทรานซิสเตอร์

เราสามารถที่จะเพิ่มความสามารถในการจ่ายกระแสของซีเนอร์ไดโอด โดยการใช้ซีเนอร์ไดโอดในการควบคุมรอยต่อระหว่าง B-E ของทรานซิสเตอร์

ในรูปที่ 2.14 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดัน ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ต่ออนุกรม (Q_1) โดยในรูปที่ 2.14 นี้ เป็นตัวอย่างของวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม เนื่องจากรอยต่อระหว่างขา C-E ของ Q_1 จะต่ออนุกรมอยู่กับโหลด (R_L)



รูปที่ 2.14 วงจรควบคุมการจ่ายกระแสโดยทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุ C_1 ในรูปที่ 2.14 นั้นเป็นตัวเก็บประจุที่ใช้กรองกระแสแบบธรรมดา ที่อยู่ตรงเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส ตัวเก็บประจุนี้ควรจะมีค่าอย่างต่ำ 1000 ไมโครฟารัดต่อกระแสโหลดเอาต์พุตสูงสุด 1 แอมแปร์ (I_{Omax}) ระดับแรงดันเอาต์พุตจะถูกกำหนด โดยค่าความต่างศักย์ของซีเนอร์ (Vz) และมีค่าโดยประมาณเท่ากับ

$$V_O = V_Z + Vbe \tag{2.21}$$

เมื่อ V_{be} มีค่าประมาณ 0.7 โวลต์ สำหรับทรานซิสเตอร์แบบซิลิกอน

ค่ากระแสโหลดสำหรับซีเนอร์ไดโอดในรูปที่ 2.14 จะเป็นกระแสเบส (I_b) ของ Q_1 เนื่องจากกระแสนี้มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับระดับแรงดันอินพุต เราใช้สมการในการออกแบบในเงื่อนไขที่ 3 ข้างต้น สำหรับวงจรรักษาระดับแรงดันด้วยซีเนอร์ไดโอด

เราจะต้องเลือกทรานซิสเตอร์สำหรับ Q_1 ซึ่งจะต้อง (1) สามารถรับค่ากระแสเอาต์พุตสูงสุด (I_O) ได้ (2) มีค่าระดับแรงดันที่ขาคอลเลคเตอร์อย่างน้อยสูงเท่ากับค่าสูงสุดของ V_{in} (3) สามารถกระจายกำลังงานโดยแทนค่าด้วย $(V_{in} - V_{in}) \times I_O$ และ (4) มีค่าอัตราขยายกระแส (Current Gain : hfe) ที่เพียงพอเมื่อถูกขับด้วย I_b ที่เหมาะสม

อัตราขยายกระแส (เบต้าหรือ hfe) เป็นอัตราส่วนระหว่างกระแสคอลเลคเตอร์ (I_c) ต่อกระแสเบส (I_B)

$$hfe = \frac{I_C}{I_B} \tag{2.22}$$

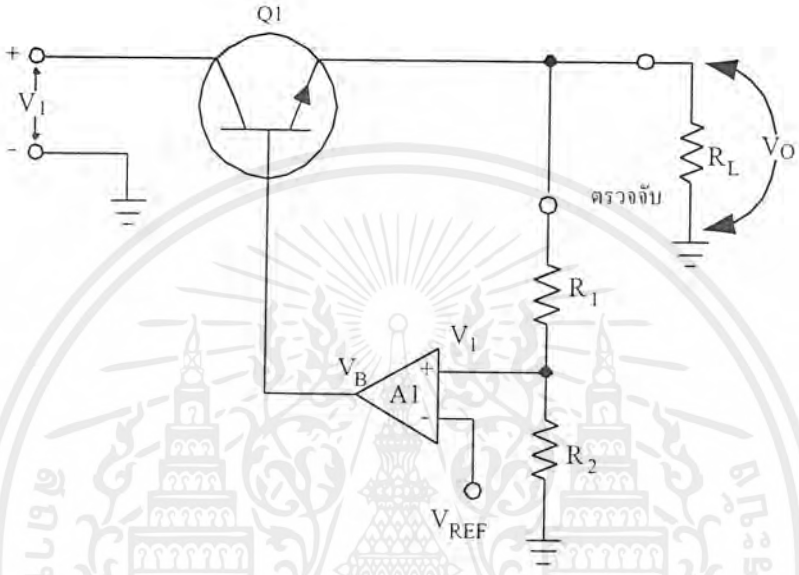
ทรานซิสเตอร์ที่เลือกมาใช้เป็น Q_1 จะต้องมีคุณสมบัติตรงตามกฎเกณฑ์นี้

วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมนั้นสามารถดัดใหม่ดังแสดงในรูปที่ 2.15 โดยทรานซิสเตอร์ที่ต่ออนุกรมอยู่นั้นเหมือนกับในรูปที่ 2.14 แต่วงจรที่ใช้ควบคุมที่ขาเลสของทรานซิสเตอร์ได้รับการเปลี่ยนแปลงใหม่ ในรูปที่ 2.15 แรงดันที่ใช้ควบคุมขาเบสจะเป็นความต่างศักย์เอาต์พุต (V_B) ที่สร้างจากวงจรขยายสัญญาณ A_1

วงจรขยายนี้จะมีอินพุตที่เป็นแบบค่าความแตกต่าง (Differential Input) โดยระดับแรงดันอ้างอิง (V_{REF}) จะป้อนเข้าสู่ขาอินพุตที่ไม่กลับสัญญาณ (Non-Inverting Input) ในขณะที่ระดับความต่างศักย์เอาต์ที่เป็นจริงนี้อาจจะเป็นค่า V_O ที่แท้จริง หรือเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดันเอาต์พุต (V_1) หลังจากผ่านวงจรแบ่งระดับแรงดัน (R_1 และ R_2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

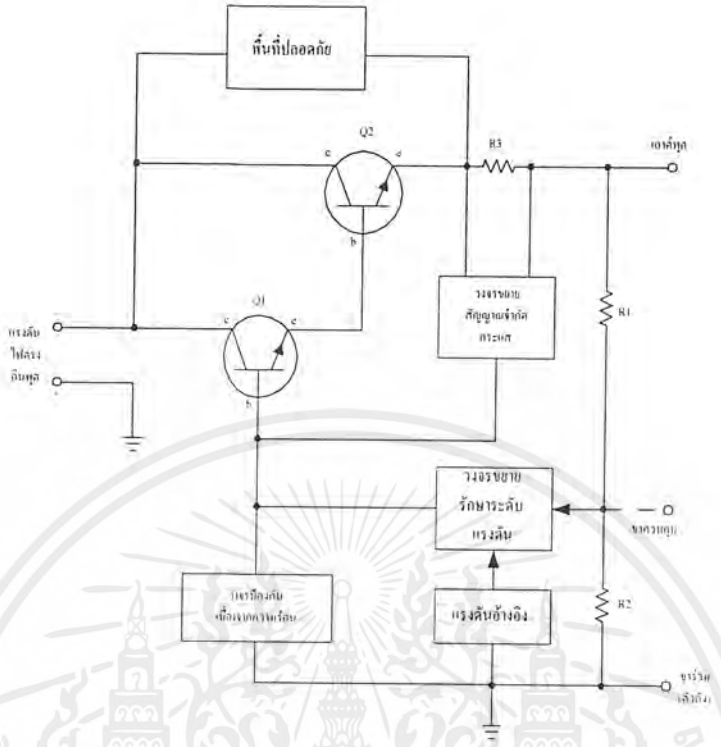
เอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณ A_1 นี้จะแปรผันโดยตรงกับ (ก) ค่าความแตกต่างของอัตราขยายแรงดันของ A_1 และ (ข) ค่าแรงดันที่แตกต่างกันของ V_{REF}-V_1



รูปที่ 2.15 ระดับแรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุต

วงจรรักษาระดับแรงดันในรูปที่ 2.15 นี้ บางครั้งเรียกว่า วงจรรักษาระดับแรงดันแบบป้อนกลับ (Feedback Voltage Regulator) เนื่องจากมันทำงานโดยการเปรียบเทียบค่าระดับแรงดันเอาต์พุตที่เป็นจริงกับที่ควรจะเป็น จาก V_{VRF} เส้นทางที่ใช้ในการตรวจรับ (Sense Line) นั้นจะใช้สำหรับรับเอาตัวอย่างของระดับแรงดัน ในหลายๆ กรณีเส้นทางที่ใช้ตรวจรับจะต่อโดยตรงกับขั้วเอาต์พุตของวงจรรักษาระดับแรงดัน ส่วนบางกรณีเส้นทางที่ใช้ในการตรวจรับจะต่อโดยตรงกับขั้วเอาต์พุตของวงจรรักษาระดับแรงดัน ส่วนบางกรณีเส้นทางที่ใช้ในการตรวจรับจะถูกแยกออกไปดังนั้นมันสามารถที่จะต่อเข้ากับขั้นบวกที่โหลดเลย ซึ่งกรณีนี้จะเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นเมื่อแหล่งจ่ายไฟกระแสสูงถูกต่อเข้ากับโหลด โดยใช้สายตัวนำที่ยาวมากกว่า 2-3 นิ้วขึ้นไป แรงดันที่ลดลงเกิดขึ้นในสายตัวนำอาจจะมากจนต้องคำนึงถึง และถ้าใช้เส้นทางในการตรวจรับแยกออกไปที่โหลดแล้วจะทำให้วงจรรักษาระดับแรงดันเห็นค่าแรงดันที่ตัวโหลดแทนที่จะไปรับรู้ถึงแรงดันที่เอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟเองที่ไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ไปวงจรรวมที่ใช้รักษาแรงดัน

2.2.19 วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ไอซี

ปัจจุบันนี้มีวงจรรักษาระดับแรงดันที่ทำมาจากวงจรรวม หรือ วงจรไฮบริด (Hybrid Regulator) ที่มีความเชื่อถือได้สูง จำหน่ายมากมาย อุปกรณ์เหล่านั้นบางตัวก็เป็นแบบง่าย ๆ ในขณะที่บางชนิดก็มีความสลับซับซ้อนมากอุปกรณ์เหล่านี้มีขายในย่านกระแสจาก 100 มิลลิแอมป์ ถึง 35 แอมป์ และระดับแรงดันไฟตรงจาก 2 โวลต์ถึง 24 โวลต์

อุปกรณ์บางตัวจะมีขั้วต่อเพียง 3 ขั้ว (อินพุต เอาต์พุตและขาร่วม) และทำงานให้ระดับแรงดันค่ามาตรฐานออกมาคงที่ ในขณะที่บางตัวจะมีขาต่อมากกว่านี้ และสามารถปรับค่าแรงดันได้ การบรรจุอุปกรณ์ลงในตัวถังจะเริ่มจากตัวถังของทรานซิสเตอร์แบบ 3 ขา จนกระทั่งถึงตัวถังแบบตีนตะขาบ (DIP) และตัวถังโลหะ ตัวถังแบบไอซี จนกระทั่งถึง ตัวถังแบบพิเศษที่ทำมาโดยเฉพาะ

ในรูปที่ 2.16 จะแสดงให้เห็นถึงผังการทำงานภายในของวงจรรักษาระดับแรงดันแบบทั่วไปที่มีคุณภาพสูง และบรรจุในตัวถังแบบสามขาและสี่ขาของไอซีรักษาระดับแรงดัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะบรรจุอยู่ภายในตัวถังทรานซิสเตอร์แบบมาตรฐาน ส่วนคุณสมบัติในการป้องกันกระแสเกินจะได้กล่าวในภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบ 3 ขา จะทำงานกับระดับแรงดันอินพุตจาก จนถึง 35 หรือ 40 โวลต์ (ขึ้นอยู่กับแต่ละรุ่น) บางรุ่นต้องการเพียงความแตกต่างระหว่างแรงดันอินพุตกับเอาต์พุตแค่ 2 โวลต์ (Vo + 2 โวลต์) สำหรับวงจรรักษาระดับแรงดันขนาด +5โวลต์ จะต้องการระดับแรงดันทางด้านอินพุตเท่ากับ 7 ถึง 8โวลต์ ซึ่งก็เป็นเหตุผลที่ทำไมบัสของไมโครคอมพิวเตอร์แบบ S-100 ใช้ระดับแรงดัน 8 โวลต์ (ยังไม่ได้รับรักษาระดับแรงดัน) ที่บัสแหล่งจ่ายไฟหลัก เนื่องจากหม้อแปลงจุดไส้หลอดขนาด 6.3 โวลต์ อาร์เอ็มเอสจะสามารถจ่ายระดับแรงดันที่ถูกต้อง ถ้าใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เต็มคลื่นและใช้วงจรกรองกระแส ขนาด 1000 ไมโครฟารัดต่อแอมแปร์

สำหรับไอซีที่ใช้รักษาระดับแรงดันแบบตัวถัง 3 ขา ส่วนใหญ่แล้ว ตัวเลขที่บอกชนิดจะบอกเราถึงบางสิ่งบางอย่างที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของมันยกตัวอย่างเช่นอัตราการทนแรงดัน อัตราการทนกระแสโดยประมาณ และให้ระดับแรงดันบวกหรือลบ

ตัวเลขที่พิมพ์อยู่บนตัวถังแต่ละตัวนั้นบอกเราถึงขั้วของแรงดันที่ไอซีนั้นจะให้มีอยู่ 2 กลุ่มหลักๆ คือแบบไฟบวกและแบบไฟลบ โดยจะกำหนดเป็นตัวเลขอยู่ 4 แบบคือ

แบบให้แรงดันบวก : 78XX และ LM340NXX

แบบให้แรงดันลบ : 79XX และ LM320NXX

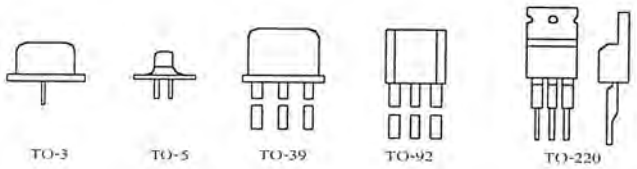
สำหรับทั้ง 4 กรณี ค่า XX จะระบุถึงระดับแรงดันเอาต์พุต ยกตัวอย่าง เช่นเบอร์ 7805 และ LM340NO5 จะเป็นไอซีรักษาระดับแรงดัน 5 โวลต์ ในขณะที่เบอร์ 7812 และ LM340N12 จะเป็นไอซีรักษาระดับแรงดันขนาด 12 โวลต์

ส่วนตัวอักษร N นั้น จะระบุถึงแบบของตัวถังที่บรรจุอยู่ และจะบอกโดยอ้อมถึงอัตราทนกระแสโดยประมาณ โดยชื่อตัวถังที่ตั้งขึ้นมา ได้แก่

H จะหมายถึง ตัวถังแบบ TO-5 จะจ่ายกระแสได้ประมาณ 100 mA

K จะหมายถึง ตัวถังแบบ TO-3 จะจ่ายกระแสได้ประมาณ 1A*

T จะหมายถึง ตัวถังแบบ TO-220 จะจ่ายกระแสได้ประมาณ 750 mA



รูปที่ 2.17 ตัวถังของไอซีรักษาระดับแรงดันแบบ 3 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ * หมายถึง ใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เป็นอากาศ ซึ่งจะจ่ายกระแสได้สูงกว่านี้ โดยใช้แผ่นระบายความร้อนที่เหมาะสม หรือใช้พัดลมช่วยเป่า ตัวถังแบบ TO-3 สามารถมีอัตราทนกำลังได้ 3.5 และ 10 แอมป์ แต่ส่วนใหญ่แล้วจะทนได้สูงสุด 1 แอมป์

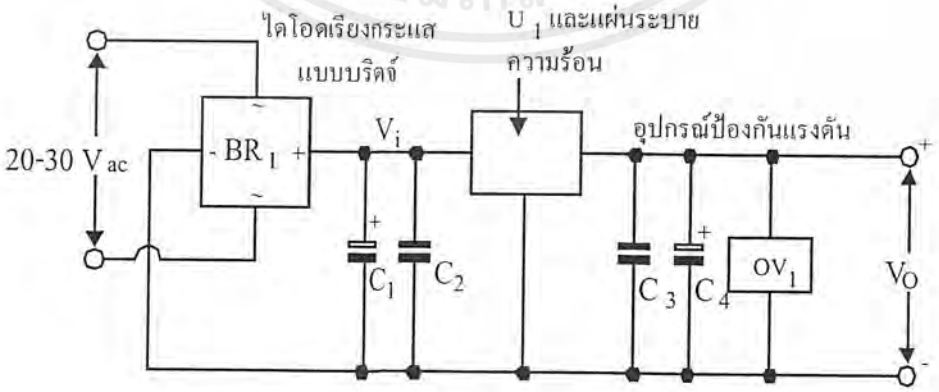
ดังนั้น ไอซีเบอร์ LM340K05 จึงเป็นไอซีรักษาระดับแรงดันบวก ขนาด 5 โวลต์ บรรจุในตัวถังแบบ TO-3 และจะสามารถรับค่ากระแสเอาต์พุตขนาด 1 แอมป์ได้อย่างปลอดภัย

2.2.20 การรักษาระดับแรงดันโดยใช้ไอซี 3 ขา

วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ไอซีแบบ 3ขานี้ เป็นกลุ่มของอุปกรณ์ซึ่งให้ค่าระดับแรงดันเอาต์พุตคงที่ บรรจุอยู่ในตัวถังของทรานซิสเตอร์แบบมาตรฐาน (แบบ TO-3, TO-39 , TO-5 และ TO-220) กระแสเอาต์พุตสูงสุดที่จ่ายได้อยู่ในย่านจาก 100 มิลลิแอมป์ ในตัวถังแบบ TO-5 (และ TO-39 , TO-92) ไปจนถึง 10 แอมแปร์ ในตัวถังแบบ TO-3 และ TO-220 นั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในอัตรา 750 มิลลิแอมป์ จนถึง 1 แอมแปร์

ในรูปที่ 2.17 แสดงให้เห็นถึงรูปร่างของตัวถังประเภทต่าง ๆ ที่นิยมใช้บรรจุวงจรไอซีรักษาระดับแรงดันแบบ 3 ขาเป็นส่วนใหญ่ จงสังเกตว่าทุกตัวเป็นตัวถังทรานซิสเตอร์แบบมาตรฐาน แต่ก็มีบางแบบที่ใช้ตัวถังต่างจากนี้ไป ซึ่งก็ใช้ในอุปกรณ์ชนิดพิเศษและขึ้นกับบริษัทผู้ผลิตด้วย

วงจรมาตรฐานทั่วไปที่นิยมใช้ไอซีรักษาระดับแรงดับแบบ 3 ขา นั้นแสดงให้เห็นในรูปที่ 18 อุปกรณ์บางตัวในวงจรก็เป็นแบบเพิ่มเติมเป็นพิเศษ (Optional) แต่บางตัวก็พบว่าใช้อยู่เสมอ ๆ ทุกวงจร ในรูปที่ 2.18 นี้ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงหม้อแปลงไฟฟ้าและแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับซึ่งก็ใช้เหมือน ๆ กันไม่ว่าจะเป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน หรือไม่มีการรักษาระดับแรงดันก็ตาม



รูปที่ 2.18 วงจรรักษาระดับแรงดันโดยใช้ไอซีแบบ 3 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดโอดเรียงกระแสแบบบริดจ์ BR_1 และตัวเก็บประจุ C_1 นั้น เหมือนกันหมดสำหรับแหล่งจ่ายไฟใด ๆ การเลือกใช้อุปกรณ์เหล่านี้ได้กล่าวมาแล้วมีกฎแบบง่าย ๆ ในการเลือกค่าตัวเก็บประจุ C_1 คือมีค่าไม่ต่ำกว่า1000ไมโครฟารัดต่อแอมแปร์ของกระแสโหลดค่าสูงสุด เช่น สำหรับแหล่งจ่ายไฟขนาด 3 แอมแปร์ จะใช้ตัวเก็บประจุในการกรองกระแสขนาด 3000 ไมโครฟารัด

ตัวเก็บประจุ C_2และ C_3 ใช้สำหรับปรับค่าความต้านทานต่อสัญญาณรบกวนให้ดีขึ้น และมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ไมโครฟารัด และ 0.47 ไมโครฟารัด ค่าที่แท้จริงขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ ยกเว้นว่าเมื่อออกแบบให้จ่ายกระแสโหลดได้สูงขึ้นก็จะเลือกค่าความจุสูงขึ้น สามารถใช้ค่าความจุ 0.1 ไมโครฟารัด สำหรับแหล่งจ่ายไฟขนาด 1 แอมแปร์ และค่าความจุ 0.33 ไมโครฟารัด หรือ 0.47 ไมโครฟารัด สำหรับกระแสขนาด 3 และ 5 แอมแปร์

ตำแหน่งของ C_2 และ C_3 นั้น เป็นสิ่งสำคัญมาก ตัวเก็บประจุเหล่านี้ใช้สำหรับกดสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยพัลส์ความถี่สูง ๆ ดังนั้น ตัวเก็บประจุ C_2 และ C_3 จะต้องติดตั้งให้ใกล้กับตัวถังของไอซีรักษาระดับแรงดันเท่าที่จะทำได้ บางวงจรจะแนะนำให้ติดตั้ง C_2 และ C_3 เข้ากับตัวถังของ U_1 เลยทีเดียว ถ้าตัวเก็บประจุเหล่านี้ถูกติดตั้งห่างจาก U_1 มากเกินไป หรือขาต่อเหลือไว้ยาวเกินไป จะทำให้การทำงานของตัวเก็บประจุมีประสิทธิภาพลดลง

สำหรับตัวเก็บประจุ C_4 เป็นตัวที่เพิ่มเติมเข้ามา แต่ก็แนะนำให้มีโดยเฉพาะในวงจรที่มีการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลดอย่างมากในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เช่นในวงจรดิจิตอล ซึ่งในกรณีเช่นนี้เป็นหน้าที่ของตัวเก็บประจุ C_4

หน้าที่ของ C_4 ก็คือ ปรับค่าการตอบสนองทางด้านทรานเซียนต์ (Transient Response) ของวงจรรักษาระดับแรงดัน ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมประจุ เพื่อที่จะป้อนกระแสเข้าสู่โหลดในช่วงเวลาสั้น ๆ ในขณะที่วงจรรักษาระดับแรงดันกำลังปรับตัวเอง เพื่อรับกับความต้องการกระแสที่สูงขึ้น

อุปกรณ์ที่ระบุว่า OV_1 นั้น เป็นวงจรป้องกันแรงดันเกิน บางครั้งเรียกว่าวงจรเอสซีอาร์โครวบาร์ (SCR Crowbar) หน้าที่ของ OV_1 นั้นก็เพื่อป้องกันวงจรภายนอกที่รับกระแสจากวงจรรักษาระดับแรงดันนี้ ไม่ให้เกิดความเสียหายเมื่อวงจรรักษาระดับแรงดัน U_1 เกิดการเสียหายขึ้น

โดยปกติระดับแรงดันอินพุต vi จะสูงกว่าระดับแรงดันเอาต์พุต V_O อย่างน้อย 2-3 โวลต์ และมักจะมีค่าสูงกว่า V_O มากในหลายวงจร ถ้าหาก U_1 เกิดเสียขึ้นมาและทำให้แรงดันอินพุต V_i ปรากฏที่เอาต์พุต V_O (ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเป็นเช่นนี้) ก็จะทำให้อุปกรณ์ที่ต่ออยู่ได้รับความเสียหายได้ ยกตัวอย่างเช่นในวงจรทีทีแอลถ้าหาก U_1 เกิดเสียหายจะทำให้ปรากฏแรงดัน +8 โวลต์ ขึ้นที่เอาต์พุตแรงดัน 5 โวลต์ ซึ่งก็จะทำให้ไอซีทีทีแอลเสียหายขึ้นมาทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

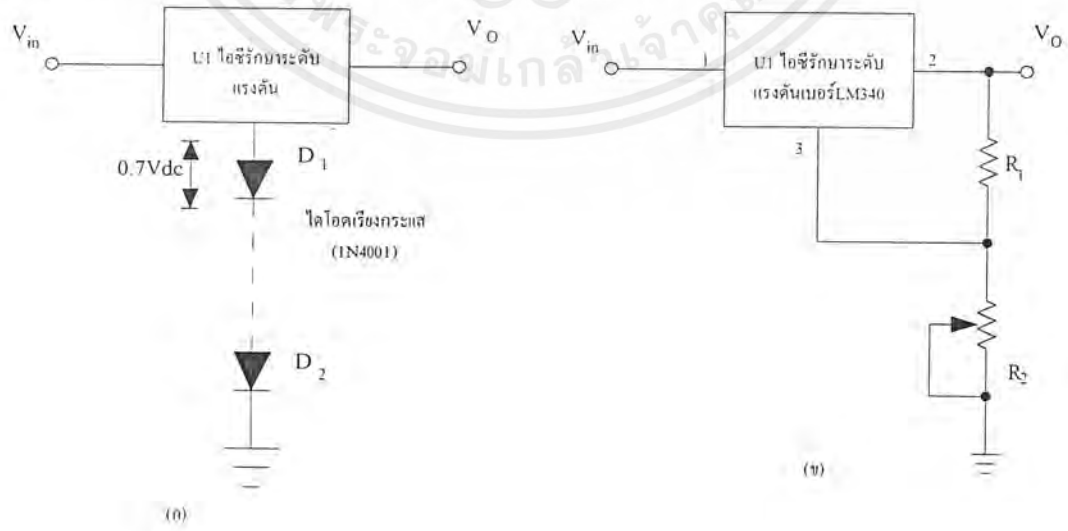
แผ่นระบายความร้อนสำหรับ U_1 นั้น บางครั้งจะมีเพิ่มเติมขึ้นมาโดยผู้ผลิตบางราย แต่จริงๆ แล้วขอแนะนำให้ติดแผ่นระบายความร้อนให้กับวงจรรักษาระดับแรงดันทุกชนิด เนื่องจากวงจรรักษาระดับแรงดันเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่จะกระจายพลังงานออกมา ดังนั้นความเชื่อถือได้จะแปรผันโดยตรงกับค่าอุณหภูมิ สำหรับวงจรที่จ่ายกระแสขนาด 1 แอมแปร์หรือที่น้อยกว่าตัวถังที่เป็นโลหะของตัวมันเองก็อาจจะเพียงพอ ถ้าหากนอกเหนือจากนี้ก็ให้ติดตั้ง U_1 เข้ากับแผ่นระบายความร้อนแบบเป็นครีบ

2.2.21 เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันเอาต์พุต

ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบ 3 ขานั้น จะทำมาสำหรับระดับแรงดันคงที่ขนาด 2,5,10,12,15,18 และ 24 โวลต์ ถ้าเราต้องการระดับแรงดันที่อยู่ระหว่างระดับแรงดันมาตรฐานแล้ว จะต้องใช้วิธีการบางอย่างเข้ามาช่วย ในรูปที่ 2.19 ได้แสดงให้เห็นถึงวิธีการเปลี่ยนระดับแรงดัน V_O โดยใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบค่าคงที่ ซึ่งมีอยู่ 2 วิธีด้วยกัน

ในรูปที่ 2.19 (ก) แสดงให้เห็นถึงการใช้ไดโอดเรียงกระแส (เช่นเบอร์ 1N4001-1N4007 หรือเทียบเท่า) ต่อเข้าที่ขาร่วมของไอซีรักษาระดับแรงดัน เพื่อที่จะเพิ่มค่าแรงดันเอาต์พุต (V_O) ค่าของ V_O จะเปลี่ยนแปลงไปประมาณ 0.7 โวลต์ สำหรับไดโอดแต่ละตัวที่จะมาต่ออนุกรมกัน ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะใช้ได้ แต่ก็ไม่แนะนำให้ทำเพราะว่า ระดับแรงดัน 0.7 โวลต์ ที่ตกคร่อมรอยต่อพีเอ็นของไดโอดนั้นจะมีค่าขึ้นกับอุณหภูมิ โดยส่วนใหญ่แล้วจะนิยมใช้วิธีในรูปที่ 2.19 (ข)

วงจรในรูปที่ 2.19 (ข) นั้นจะให้ขั้วต่อของขาร่วมของไอซีรักษาระดับแรงดันมีค่าความต่างศักย์สูงขึ้นเป็นสัดส่วนกับระดับแรงดันเอาต์พุตที่ต้องการแทนที่จะต่อลงกราวด์



รูปที่ 2.19 ขนาดแรงดันที่ไม่เป็นมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่วิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุดในการปรับค่าแรงดัน ได้แก่ การใช้วงจรรักษาระดับแรงดันที่ออกแบบมาเฉพาะงาน ไอซีรักษาระดับแรงดันที่ปรับค่าได้ที่มีจำหน่าย ได้แก่ เบอร์ LM 317 เบอร์ LM 338 และอุปกรณ์ของบริษัทแลมด้าอิเล็กทรอนิกส์ (LambdaElectronics) เบอร์ LASXXU

ไอซีเบอร์ LM 338 เป็นไอซีรักษาระดับแรงดันที่สามารถจ่ายกระแสได้ 5 แอมแปร์ ในตัวถังแบบ TO-3 ซึ่งจะต้องติดตั้งแผ่นระบายความร้อนช่วยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานะ เมื่อระดับแรงดันอินพุต (V_i) สูงกว่าแรงดันเอาต์พุตมาก ซึ่งในสถานะนั้น จะเกิดขึ้นในแหล่งจ่ายไฟแบบปรับค่าได้เมื่อ V_O มีค่าต่ำสุดในวงจรรูปที่ 2.20 ใช้ไอซีเบอร์ LM 338

ยกตัวอย่างเช่น ระดับแรงดันอินพุต V_i จะสามารถปรับแรงดันออกได้จาก 1.2 โวลต์ ถึง 25 โวลต์ ที่ระดับแรงดันต่ำ การกระจายกำลังงานกำลังงาน P_D กระแสโหลด 5 แอมแปร์ เท่ากับ

$$P_D = (28 - 1.2V) \times (5A)$$

$$= 134W$$

ปัญหาจะลดน้อยลงที่ค่าสูงสุดของ V_O โดยจะได้

$$P_D = (V_I - V_O) \times (I_{LOAD})$$

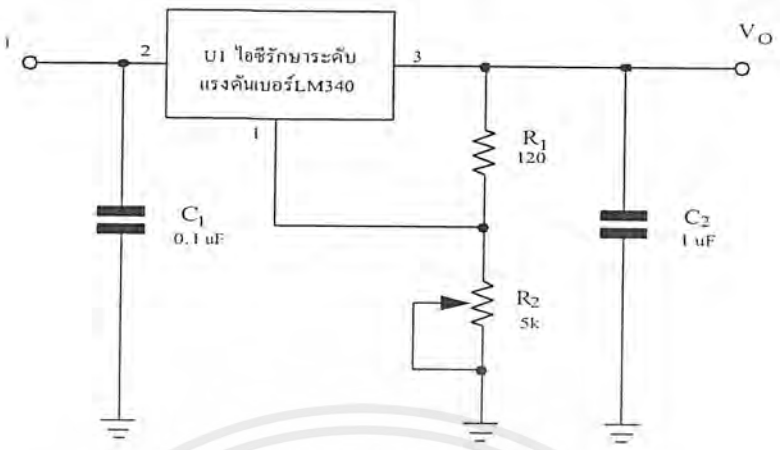
$$= (28 - 25V) \times (5A)$$

$$= 5W$$

ระดับแรงดันเอาต์พุตของไอซีเบอร์ LM 338 จะถูกกำหนดโดยวงจรแบ่งระดับแรงดัน (R_1 และ R_2) ซึ่งอาจจะเป็นโปเทนชิโอมิเตอร์ หรือใช้ตัวต้านทานแบบค่าคงที่และโปเทนชิโอมิเตอร์ร่วมกัน ถ้าต้องการระดับแรงดันเอาต์พุตที่คงที่แล้ว R_1 และ R_2 ควรใช้มีค่าคงที่ทั้งสองตัว ระดับแรงดันเอาต์พุตจะถูกกำหนดโดย

$$V_O = \frac{(1.25V) \times R_2}{(R_1 + 1)} \qquad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ไอซีเบอร์ LM 338

ส่วนมากแล้วค่าของ P_1 จะอยู่ระหว่าง 120 โอห์ม ถึง 250 โอห์ม และ R_2 จะใช้ปรับให้ได้ระดับแรงดันที่ต้องการ สมการข้างต้นสามารถเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมขึ้นดังนี้

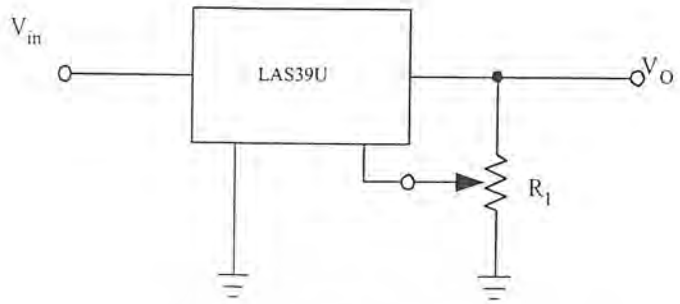
$$R_L = (\frac{V_O}{1.25\text{-}1}) \times R_1 \qquad (2.24)$$

ไอซีเมอร์ LM 338 เป็นวงจรรักษาระดับแรงดันที่จ่ายกระแสได้ 5 แอมแปร์ ดังนั้นจึงควรติดแผ่นระบายความร้อนแบบมีครีบ และใช้จารบีซิลิโคนทารอบต่อระหว่างผิวหน้าเพื่อให้การถ่ายเทความร้อยดีขึ้น สำหรับตัวถังแบบ TO – 3 นี้ ตัวถังจะเป็นเอาพุตขาหนึ่ง ดังนั้น จึงต้องแยกตัวถังไม่ให้แตะกับกราวด์ ซึ่งจะทำได้โดยการแยกตัวแผ่นระบายความร้อนออกจากกราวด์หรือใช้แผ่นระบายความร้อนออกจากกราวด์หรือใช้แผ่นไมก้าเป็นฉนวนรองตัวถังของไอซีเบอร์ LM 338

ในรูปที่ 2.21 ได้แสดงให้เห็นถึงวงจรรักษาระดับแรงดันที่ปรับค่าได้แบบอื่น ๆ โดยใช้ไอซีเบอร์ LAS - 39 ของแลมด้าอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งอุปกรณ์นี้จะคล้ายคลึงกับไอซีเบอร์ LM 338 แต่สามารถจ่ายกระแสได้ถึง 8 แอมแปร์ ค่าของโปเทนชิโอมิเตอร์ที่ใช้ปรับค่าแรงดันเท่ากับ

$$R_1 = \frac{V_O}{10A} \qquad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้เบอร์ LAS 39U

2.2.22 วงจรรักษาระดับแรงดันที่จ่ายกระแสได้สูงขึ้น

วงจรรักษาระดับแรงดันที่สามารถจ่ายกระแสได้สูงขึ้นนี้ บางครั้งอาจจะเป็นที่ต้องการในโครงงานทางด้านดิจิตอลเครื่องส่งวิทยุสมัครเล่น และวงจรขยายเสียง เราจะกำหนดว่ากระแสสูงหมายถึง กระแสนั้นสูงกว่า 5 – 8 แอมแปร์ วิธีหนึ่งที่ง่ายที่สุดในการบรรลุถึงความต้องการนี้ ก็โดยการใช้ทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งหรือหลายตัวต่ออนุกรมเข้าไปช่วย

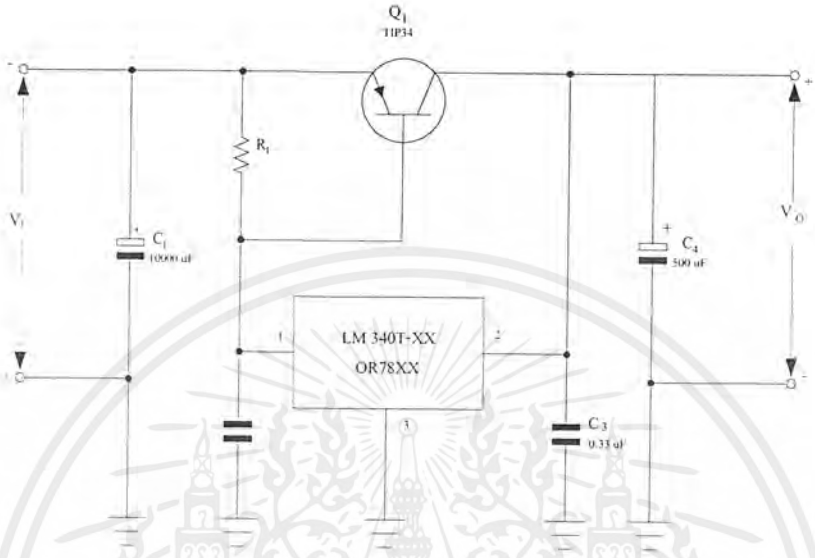
ในรูปที่ 2.22 และรูปที่ 2.23 จะแสดงในให้เห็นถึงวิธีเหล่านี้ ข้อได้เปรียบของวงจรเหล่านี้ได้แก่ การออกแบบนั้นทำได้ง่ายมากและเราสามารถใช้ทรานซิสเตอร์กำลังที่มีค่าอัตราขยายต่ำลงได้ เนื่องจากไอซีรักษาระดับแรงดันสามารถจ่ายกระแสได้สูงขึ้น

ในวงจรทั้งสองแบบ แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าโดยประมาณ ต่ำกว่าอัตราแรงดันเอาต์พุตของไอซีรักษาระดับแรงดันแบบ 3 ขาประมาณ 0.6 ถึง 0.7 โวลต์ เช่น โดยการใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ LM 340T – 12 จะสามารถให้แรงดันเอาต์พุตประมาณ 11.4 โวลต์

ในรูปที่ 2.22 นั้น ใช้ทรานซิสเตอร์กำลังแบบพีเอ็นพี เบอร์ TIP – 34 สำหรับต่ออนุกรมกับไอซี วงจรนี้สามารถจ่ายกระแสได้ 5 – 6 แอมแปร์

ในบางกรณี การจ่ายกระแสที่สูงขึ้นนั้น สามารถทำได้โดยวงจรในรูปที่ 2.23 วงจรนี้ยังคงสามารถปรับค่าแรงดันเอาต์พุตได้อย่างเที่ยงตรงเช่นกัน โดยหัวใจของวงจรได้แก่ ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้เบอร์ LM 317 (U_1) ซึ่งไอซีตัวนี้ จะสามารถตั้งค่าแรงดันอ้างอิงให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ที่ต่ออนุกรมอยู่กับวงจรและยังสามารถจ่ายกระแสเบสให้กับทรานซิสเตอร์ได้ถึง 1.5 แอมแปร์ ถ้าต้องการกระแสเบสมากกว่านี้แล้ว ให้ใช้เบอร์ LM 338 (ซึ่งสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 5 แอมแปร์) แทนเบอร์ LM 317

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 วงจรนี้สามารถจ่ายกระแสได้สูงถึง 6 – 7 แอมแปร์

ระดับแรงดันเอาต์พุต V_O จะน้อยกว่าระดับแรงดันที่จ่ายออกมาจาก U_1 เท่ากับ 0.7 โวลต์ โดยระดับแรงดันที่จ่ายออกมาจาก U_1 จะสามารถตั้งได้ เช่นเดียวกับของไอซีเบอร์ LM 338 ที่กล่าวมาแล้ว แต่ในกรณีนี้ R_2 จะถูกแทนด้วยตัวต้านทานสองตัว คือ R_{2a} และ R_{2b} สมการจะเขียนออกมาได้เป็น

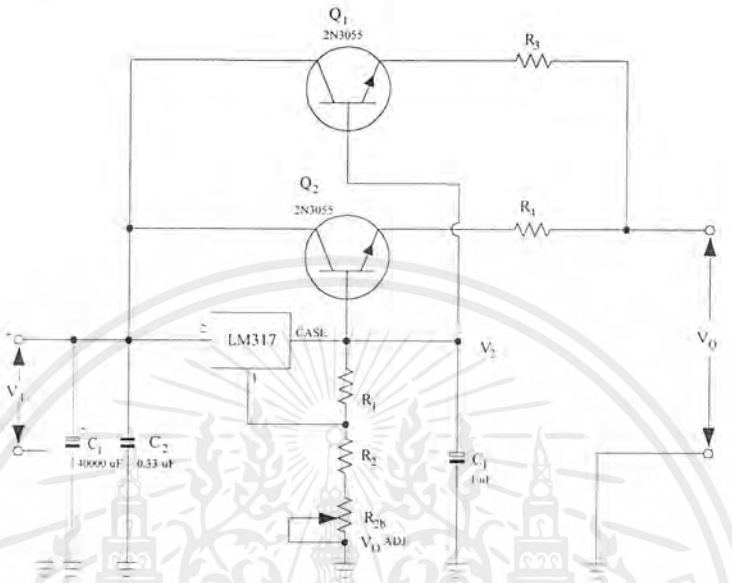
$$V_O = \frac{1.25(R_{2a} + R_{2b})}{R_1 + 1 - 0.7V} \tag{2.24}$$

สมการนี้ได้ดัดแปลงมาจากสมการที่ใช้กับไอซีเบอร์ LM 338 โดยปกติแล้วโปเทนชิโอมิเตอร์ R_{2b} จะมีค่าประมาณจาก 10 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของความต้านทาน $R_{2a} + R_{2b}$ ความเที่ยงตรงของอัตราส่วนระหว่าง R_{2a} กับ R_{2b} ขึ้นอยู่กับองศาของการควบคุม (ความละเอียด (Resolution)) และช่วง (จากค่าสูงสุดจนถึงต่ำสุดของค่า V_O) ที่ต้องการ

กระแสค่าสูง ๆ นี้ จะถูกรับโดยทรานซิสเตอร์ที่ต่ออนุกรมหนึ่งตัวหรือมากกว่า มีอัตราค่าสูงสุดที่ต้องคำนึงถึงในตอนแรกอยู่ 2 ตัวเมื่อจะเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ คือ การกระจายกำลังงานของคอนเลคเตอร์ (Collector Power Dissipation) และค่ากระแสคอลเลคเตอร์นอกจากนี้แล้ว เรายัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดันอินพุตที่ตกคร่อมตัวมันอยู่ค่าการกระจายกำลังงานคอนเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ที่มาต่ออนุกรมนี้ เท่ากับผลคูณของกระแสคอลเลคเตอร์สูงสุดกับแรงดันตกระหว่างขา C – E ซึ่งในกรณีนี้



รูปที่ 2.23 การเพิ่มค่าความสามารถในการจ่ายกระแสเอาต์พุต

เท่ากับผลต่างของ $V_I - V_O$ สำหรับวงจรรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้นี้อัตราการกระจายกำลังงานที่แท้จริง ซึ่งทรานซิสเตอร์จะได้รับ เท่ากับ

$$P_{D(max)} = I_{C(max)}(V_{I(max)} - V_{O(max)} \tag{2.27}$$

เมื่อใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว หรือมากกว่าต่อขนานกัน เพื่อเพิ่มความสามารถในการจ่ายกระแสของวงจรรักษาระดับแรงดันเราจะต้องใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับขาอีมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์แต่ละตัว เนื่องจากว่าค่าอัตราขยายกระแสของทรานซิสเตอร์แต่ละตัว จะมีค่าแตกต่างกันมาก แต่การเปลี่ยนแปลงของโหลดไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก ภายใต้สถานการณ์นั้น อาจจะปรากฏค่ากระแสที่รับโดยทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งมีค่าเกินอัตรา I_C สูงสุดของมัน

สำหรับกรณีนี้จะต้องมีการเลือกค่าอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ที่จะนำมาใช้อย่างคร่าวๆ ก่อน โดยการใช้วงจรในรูปที่ 2.23 ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 เบอร์ 2N 3055 จะสามารถจ่ายกระแสออกไปได้สูงสุด 15 ถึง 20 แอมแปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางเลือกอื่นในการออกแบบวงจรรักษาระดับแรงดันแบบจ่ายกระแสได้สูง ได้แก่ การใช้วงจรไฮบริด (Hybrid Unit) ที่ผลิตโดยบริษัทแลมด้าอิเลคทรอนิกส์ ซึ่งบริษัทนี้มีชื่อเสียงทางด้านการผลิตแหล่งจ่ายไฟแบบตั้งโต๊ะ และยังจำหน่ายอุปกรณ์ที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟด้วย ในรูปที่ 2.24 ได้แสดงให้เห็นถึงวงจรรักษาระดับแรงดันแบบไฮบริดที่จ่ายกระแสได้ 20 แอมแปร์ เบอร์ LAS – 52XX ตัวอักษร XX จะระบุถึงค่าระดับแรงดันเอาต์พุต ซึ่งอาจจะเป็น 5 หรือ 24 โวลต์

ตัวถังที่ใช้บรรจุวงจรรักษาระดับแรงดันนี้ แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.24 (ก) ซึ่งได้รับการออกแบบด้วยอีพ็อกแบบพิเศษ โดยมีแผ่นระบายความร้อนอยู่ทางด้านบนและด้านล่าง ซึ่งแผ่นระบายความร้อนหลักคือแผ่นด้านล่าง ต้องใช้ติดตั้งกับผิวหน้าของแผ่นระบายความร้อนภายนอกอีกที

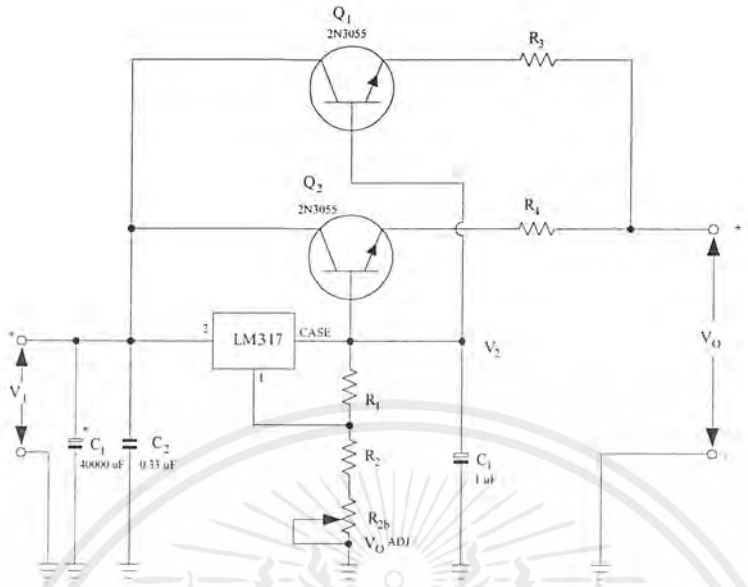
วงจรใช้งานจริงสำหรับไอซีเบอร์ LAS – 52XX แสดงไว้ในรูปที่ 2.24 (ข) ตัวเก็บประจุ C_1 จะใช้ในการกรองกระแสที่เอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส ค่าความจุของตัวเก็บประจุนี้จะเท่ากับ 2000 ไมโคร/แอมแปร์ ดังนั้นสำหรับแหล่งจ่ายไฟขนาด 20 แอมแปร์ จะใช้ตัวเก็บประจุขนาด 40,000 ไมโครฟารัด

มีขา V+ อยู่ 2 ขั้ว สำหรับไอซีตัวนี้ โดยขาเบอร์ 1 จะเป็น ขา + หลัก (กระแสสูง) และใช้ตัวอักษรกำกับว่า + Vi ขานี้จะต่อเข้ากับทรานซิสเตอร์ที่ใช้ต่ออนุกรมภายใน ขาเบอร์ 20 ซึ่งใช้ตัวอักษรกำกับว่า + Vin (ขาควบคุม) จะใช้ในการจ่ายกำลังงานให้กับวงจรควบคุมอัตราขยายภายในแรงดันที่จ่ายให้กับขา 20 อย่างน้อยที่สุดเท่ากับ +7.5 โวลต์ดีซี ซึ่งความต้องการนี้จะพบได้ในไอซีเบอร์ LAS – 5212 และ LAS – 5224 โดยการต่อขา 1 กับขา 20 เข้าด้วยกัน

สำหรับไอซีเบอร์ LAS – 5205 นั้นแรงดันของอินพุตอาจอยู่ในช่วง 7 – 8 โวลต์ ดังนั้นในบางช่วง แรงดันอินพุตนี้อาจจะตกลงมาเหลือต่ำกว่า 7.5 โวลต์ ดังนั้น ถ้าหากใช้แรงดันของ V_{in} สำหรับแหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 6.3 โวลต์แล้วอาจเกิดปัญหาได้ ดังนั้น จึงควรหาแหล่งจ่ายไฟป้อนให้กับขา V_{in} ใหม่ เพื่อให้แน่ใจว่าแรงดันที่ขานี้อย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 7.5 โวลต์ดีซี

ขาเบอร์ 14 และเบอร์ 16 เป็นขาใช้ตรวจรับ และใช้สำหรับส่งสัญญาณให้กับวงจรขยายสัญญาณอ้างอิงภายในได้รู้ถึงระดับแรงดันใดที่ควรจะผลิตขึ้นสำหรับ V_o ถ้าสายที่ต่อออกจากเอาต์พุตของวงจรรักษาระดับแรงดันไปยังโหลดนั้นสั้น และใช้สายขนาดใหญ่แล้ว ขา 14 สามารถต่อเข้ากับ ขา 7 โดยผ่าน R_1 และขา 16 สามารถต่อลงกราวด์หรือต่อเข้ากับขา 3 และขา 5 ในหลายกรณีเราจะต่อขาตรวจรับนี้เข้ากับขา $+V_o$ และขา $-V_o$ ที่โหลดเลย การต่อเช่นนี้จะทำให้วงจรรักษาระดับแรงดันนั้น สามารถวัดค่า V_o ที่ต้องการจริง ๆ และใช้ลดผลข้างเคียงอันอาจจะเกิดขึ้นจากแรงดันตกที่เกิดขึ้นในสายตัวนำด้วย

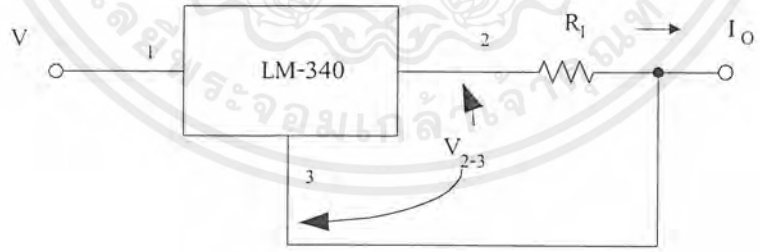
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.24 ไอซีเบอร์ LAS 52XX เป็นวงจรรักษาระดับแรงดันแบบไฮบริด

โปเทนชิโอมิเตอร์ R_1 นั้น ใช้สำหรับกำหนดค่า V_O ที่ถูกต้องจริง ๆ ให้ใกล้เคียงกับค่าที่ระบุไว้โดย XX ที่เบอร์ของอุปกรณ์ ค่าความต้านทานของ R_1 กำหนดโดย

$$R_1 = 0.25V_O \times (1000\Omega / V \tag{2.28}$$



รูปที่ 2.25 วงจรรักษาระดับแรงดัน ซึ่งต่อในลักษณะจ่ายกระแสคงที่

สำหรับอุปกรณ์เบอร์ LAS – 5205 ขนาดเอาต์พุต 5 โวลต์นั้น เราต้องการความต้านทานที่สูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.23 วงจรจ่ายกระแสคงที่

ในรูปที่ 2.25 ได้แสดงให้เห็นถึงถึงไอซีรักษาระดับแรงดันแบบ 3 ขา ที่ต่อเป็นแหล่งจ่ายกระแส กระแสเอาต์พุตจะหาได้อย่างประมาณเท่ากับ

$$I = \frac{V_{2\text{-}3}}{R_1 + I_Q} \tag{2.29}$$

เมื่อ I_Oเป็นค่ากระแสเอาต์พุต, $V_{2\text{-}3}$ เป็นระดับแรงดันเอาต์พุต R_1 เป็นค่าความต้านทานในหน่วยโอห์ม และ I_Q เป็นค่ากระแสในสภาวะสงบ (Quiescent Current) ของ U_1 (ซึ่งปกติจะอยู่ระหว่าง 1 – 5 มิลลิแอมป์)

2.2.24 การป้องกันไดโอดเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสในแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงสมัยใหม่นี้ ทำมาจากไดโอดแบบรอบต่อพี – เอ็น ข้อได้เปรียบของไดโอดเหล่านี้ ได้แก่ มีขนาดเล็ก ไม่กินเนื้อที่ แต่ข้อเสียของมันก็คือ ไดโอดพวกนี้มีความไวต่อการเสียหายเนื่องจากทรานเซี้ยนต์แรงดันสูง และความเสียหายอันเนื่องมาจากกระแสกระชากสูง ๆ

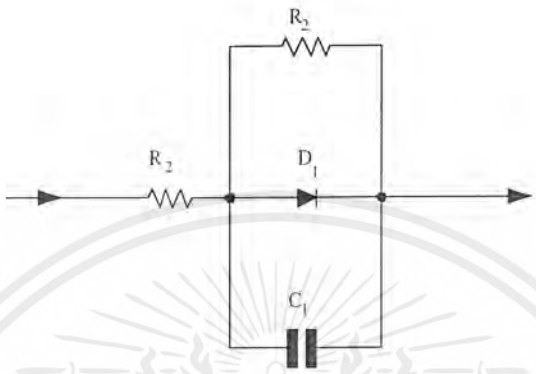
ในรูปที่ 2.26 ได้แสดงให้เห็นถึงการต่ออุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อใช้ป้องกันไดโอด ซึ่งไม่ได้ใช้ในทุกกรณี แต่ส่วนใหญ่จะนำมาใช้กัน โดยตัวต้านทาน R_1 ที่ต่ออนุกรมนั้นใช้สำหรับจำกัดกระแสกระชาก โดยทั่วไปแล้วไดโอดจะมีค่าอัตราทนกระแสกระชากได้สูง ซึ่งกำหนดว่าทนกระแสเกินได้ 1 ไซเกิล เช่นในระบบไฟ 50 เฮิรตซ์ จะสามารถทนกระแสเกินได้ 1/50 วินาที หรือน้อยกว่า ถ้าหากอัตรากระแสเกินมีระยะเวลายาวนานกว่านี้ จะทำให้อัตราการทนกระแสของไดโอดลดลง

อาจกล่าวได้ว่า การเกิดกระแสเกินที่พบบ่อยที่สุดที่วงจรเรียงกระแสได้รับอยู่บ่อย ๆ ได้แก่ การสะสมประจุในตอนเริ่มแรกของตัวเก็บประจุในวงจรกรองกระแส ในสถานะที่ป้อนไฟเข้าแหล่งจ่ายไฟ ตัวเก็บประจุในวงจรกรองกระแสจะไม่มีประจุอยู่เลย ดังนั้น อัตรากระแสที่ใช้ในการประจุจะสูงมาก สำหรับแหล่งจ่ายไฟกระแสต่ำทั้งหลายจะไม่เกิดปัญหาเหล่านี้ เนื่องจากค่าความจุของตัวเก็บประจุในวงจรกรองกระแส มีค่าต่ำพอจะทำให้การประจุทำได้อย่างรวดเร็ว

ถ้าหากใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุสูง ๆ กระแสจำนวนมากในช่วงของการเปลี่ยนไซเกิลจะยาวนานเพียงพอที่จะทำความเสียหายให้กับวงจรเรียงกระแสได้ หน้าที่ของตัวต้านทาน R_1 ก็เพื่อจำกัดค่ากระแสให้อยู่ในย่านที่ปลอดภัยในระหว่างช่วงของการเปลี่ยนไซเกิล ค่าของ R_1 อยู่ระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 ถึง 100 โอห์ม ขึ้นอยู่กับระดับของแรงดันและกระแส ค่าที่เหมาะสมสามารถหาได้จากการคำนวณจากกฎของโอห์ม (E/I) โดยใช้ค่าแรงดันที่ป้อนหารด้วยค่ากระแสสูงสุดที่อยู่ในย่านที่ปลอดภัย



รูปที่ 2.26 การดึงกระแสของวงจรเรียงกระแส

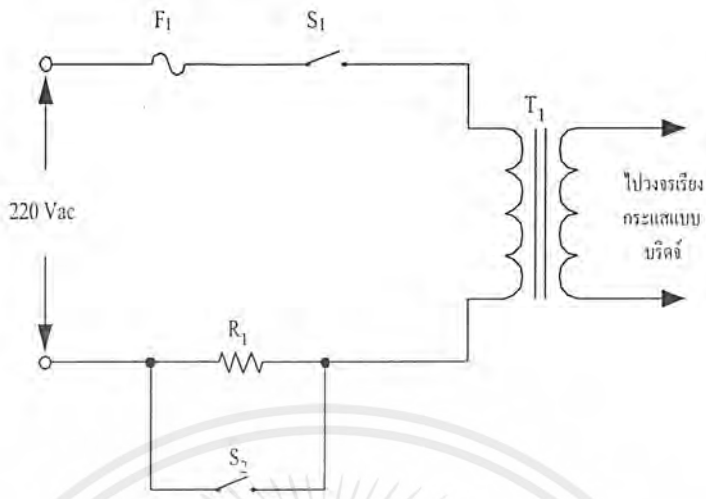
วิธีการอื่นในการป้องกันวงจรเรียงกระแสจากความเสียหาย ก็โดยการเพิ่มค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับให้แก่ไดโอดอย่างช้า ๆ แต่จะกล่าวถึงวิธีการนี้ในตอนหลัง

ตัวต้านทานที่ต่อขนานคร่อมไดโอด (R_2 ในรูปที่ 2.26) ใช้เมื่อมีการต่อไดโอดสองตัวหรือมากกว่าอนุกรมกันซึ่งวิธีการนี้ใช้สำหรับเพิ่มค่าอัตราการทนแรงดันย้อนกลับสูงสุดของไดโอด เนื่องมาจากความแตกต่างของไดโอดแต่ละตัวทำให้แรงดันตกคร่อมไดโอดแต่ละตัว ทำให้แรงดันตกคร่อมไดโอดอาจแตกต่างกันไปบ้าง โดยการใช้ตัวต้านทานค่าเท่ากันต่อขนานกับไดโอดแต่ละตัว จะทำให้แรงดันตกคร่อมไดโอดมีค่าใกล้เคียงกันค่าที่ใช้ตามปกติเท่ากับ 1000 โอห์มต่อโวลต์

ตัวเก็บประจุ C_1 ที่ต่อขนานกับ D_1 ใช้สำหรับลดทรานเซี้ยนต์แรงดันสูงจากสายส่งไฟฟ้าระดับแรงดันนี้อาจมีค่าสูงถึง 2000 โวลต์ และอาจจะเกิดขึ้นหลายครั้งในหนึ่งวัน ทรานเซี้ยนต์เหล่านั้น สามารถทำลายไดโอดได้ การต่อตัวเก็บประจุขนาด 0.001 ไมโครฟารัด ขนานกับไดโอดจะลดค่าทรานเซี้ยนต์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น (เนื่องมาจากประกอบด้วยค่าความถี่สูง) โดยไม่ผ่านกระแสที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ออกไป

รูปที่ 2.27 แสดงให้เห็นถึงวงจรเริ่มจ่ายไฟแบบช้าๆ (Soft Turn-On) ซึ่งความตั้งใจของวงจรนี้ก็เพื่อจำกัดค่ากระแสที่ไหลในช่วงระยะเวลา 2-3 วินาทีแรก จนกระทั่งตัวเก็บประจุทำการสะสมประจุถึงระดับแรงดันที่ต้องการ มีวิธีการหลายอย่างในการทำเช่นนี้ สำหรับในรูปที่ 2.27 โดยการต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขดปฐมภูมิของหม้อแปลง หลังจากประจุอย่างช้าๆ 2-3 วินาที จึงต่อสวิตช์ S2 เพื่อให้แหล่งจ่ายไฟทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 การลดกระแสจำนวนมากที่ไหลผ่านไดโอด

ส่วนวิธีการอื่นก็โดยการแทน R_1 ด้วยหลอดไฟหรือบาลลาสต์ (Ballast) มีฟิวส์ F_1 ต่ออนุกรมอยู่ที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า T_1 (ในรูปที่ 2.27) จะต้องต่อฟิวส์กับแหล่งจ่ายไฟเสมอ ฟิวส์ควรจะเป็นอุปกรณ์ซึ่งต่อใกล้ที่สุดกับสายไฟเส้นที่มีไฟ (Hot Line) เพื่อที่ฟิวส์จะเป็นเครื่องป้องกันโดยขาดก่อนที่จะเกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ตัวอื่น

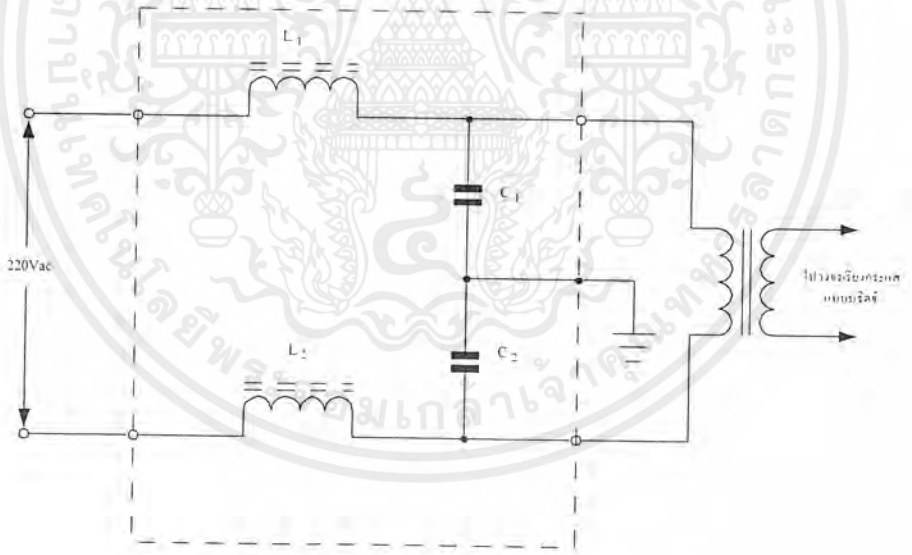
สัญญาณรบกวนความถี่สูงที่เกิดขึ้นในสายส่งไฟฟ้า สามารถทำให้การทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกิดการผิดพลาดขึ้นได้วิธีการหนึ่งในการลดสัญญาณรบกวนเหล่านี้ก็โดยการต่อวงจรกรองสัญญาณแอลซี ที่วงจรของสายจ่ายไฟก่อนที่จะเข้าสู่อุปกรณ์กับหม้อแปลงไฟฟ้า ในรูปที่ 2.28 แสดงถึงวงจรกรองสัญญาณรบกวน แต่ละสายจากแหล่งจ่ายไฟเอซี จะประกอบด้วยส่วนของตัวเหนี่ยวนำ ที่เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Lowpass Filter) ซึ่งจะยอมให้สัญญาณความถี่ 50 เฮิรตซ์ผ่านไปได้แต่จะไม่ยอมให้ความถี่สูง และทรานเซี้ยนต์ต่าง ๆ ผ่านไปได้

วงจรกรองสัญญาณรบกวนเช่นในรูปที่ 2.28 นี้มีขายทั่วไปในท้องตลาดและแบบที่ติดตั้งกับแท่นเครื่องก็หาได้เช่นกัน ถ้าคุณคิดที่จะต่อวงจรนี้ขึ้นมาเอง ต้องแน่ใจว่าตัวเก็บประจุมีอัตราการทนแรงดันเพียงพอที่จะใช้กับระบบไฟกระแสสลับ โดยทั่วไปแล้ววงจรกรองสัญญาณรบกวนควรติดตั้งให้ใกล้กับจุดที่ต่อระบบไฟกระแสสลับเข้ากับอุปกรณ์ซึ่งวิธีการนี้เป็นการป้องกันการเหนี่ยวนำสัญญาณเข้าสู่สายตัวนำอื่นภายในตัวถังเนื่องจากส่วนของสายที่ไม่ได้มีการกรองสัญญาณรบกวนออกไป ถ้าเป็นไปได้ ฟิวส์ควรจะติดตั้งพร้อมพับวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการชีลด์และควรจะอยู่ข้างหน้าของวงจรกรองสัญญาณรบกวน การติดตั้งเช่นนั้นจะเป็นการป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้น ในกรณีที่อุปกรณ์ในวงจรกรองสัญญาณรบกวนเกิดลัดวงจรเข้ากับแท่นเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการใช้วงจรกรองสัญญาณรบกวนจากระบบไฟกระแสสลับ ดังเช่นในรูปที่ 2.28 จะเป็นการเพิ่มกระแสที่ไหลในสายดินอย่างอัตโนมัติในงานเฉพาะบางอย่าง ค่ากระแสที่เพิ่มขึ้นมานี้ไม่สามารถจะละไว้ได้ ยกตัวอย่างเช่น ในเครื่องมือทางการแพทย์ จำนวนของกระแสในสายดินที่เพิ่มขึ้นมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าของ C_1 และ C_2 และในบางครั้งการเหนี่ยวนำซึ่งกันและกันระหว่างตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2 กับแท่นเครื่องสำหรับการกรณีเช่นนี้ วงจรกรองสัญญาณรบกวนในระบบไฟกระแสสลับอาจจะใช้ไม่ได้

ทรานเซี้ยนต์แรงดันสูงในสายจ่ายไฟจะก่อให้เกิดปัญหาในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ นอกจากจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ไดโอดแล้ว ยังทำการรบกวนการทำงานของอุปกรณ์นั้นด้วย ในวงจรดิจิตอลของคอมพิวเตอร์นั้น จะมีปัญหาอย่างมากในเรื่องของทรานเซี้ยนต์สำหรับคอมพิวเตอร์ที่มีอาการอยู่ดี ๆ ก็เสียหายไป บางครั้งจะเกิดความผิดพลาดของข้อมูลที่ป้อนเข้าไปเนื่องจากทรานเซี้ยนต์สิ่งที่ควรทำก็ได้แก่การกำจัดทรานเซี้ยนต์ที่จะเกิดขึ้นก่อนที่มันจะไปทำลายและให้เกิดความเสียหาย

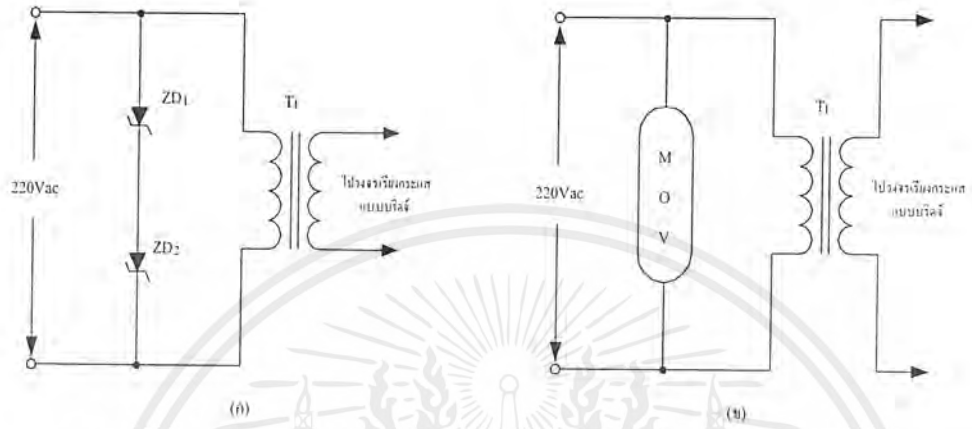


รูปที่ 2.28 วงจรที่ไม่มีความปลอดภัย

ในรูปที่ 2.29 ได้แสดงให้เห็นถึงวิธีการ 2 วิธีในการตัดสัญญาณทรานเซี้ยนต์ในสายจ่ายไฟกระแสสลับ ก่อนที่มันเข้าสู่แหล่งจ่ายไฟ ในรูปที่ 2.29 (ก) เราจะเห็นซีเนอร์ไดโอดสองตัวต่ออนุกรมกัน แรงดันพังทลาย (V_z) ของไดโอดเหล่านี้ ควรจะสูงกว่าระดับแรงดันยอดสูงสุด (Maximum peak) ของไฟสลับที่คาดว่าจะเป็น อุปกรณ์ส่วนมากแล้วจะทำงานกับแรงดันขนาด 220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V(rms) ดังนั้น ระดับแรงดันยอดสูงสุดจะเท่ากับ 1.414 x 220 หรือ 311 โวลต์ เมื่อคิดตัวประกอบความปลอดภัยจึงเลือกใช้ซีเนอร์ไดโอดที่มีค่า V_z เท่ากับ 400 โวลต์ สำหรับทั้ง Z_{D1} และ Z_{D2}



รูปที่ 2.29 วิธีการลดความเสียหายในวงจร

ส่วนทางเลือกอื่นที่นิยมใช้กันได้แก่การใช้วาริสเตอร์ที่ทำจากออกไซด์ของโลหะ (Metal-Oxide Varister : MOV) ดังแสดงในรูปที่ 2.29 (ข) โดยวาริสเตอร์นี้สามารถถือได้ว่าเหมือนกับซีเนอร์ไดโอดต่อหันหลังชนกัน แต่จริง ๆ แล้วเป็นตัวต้านทานที่ไวต่อระดับแรงดัน โดยมันจะมีค่าความต้านทานสูงที่ทุกค่าของความต่างศักย์ที่ต่ำกว่าระดับแรงดันที่รับรู้ (Threshold Voltage) แต่จะนำกระแสและมีค่าความต้านทานต่ำเมื่อความต่างศักย์สูงกว่าระดับแรงดันที่รับรู้ ดังนั้นทรานเซี้ยนต์แรงดันสูง จะถูกกำจัดออกไปโดยวาริสเตอร์ ในขณะที่แรงดันไฟกระแสสลับในสายจ่ายไฟจะไม่มีผลกระทบกระเทือน

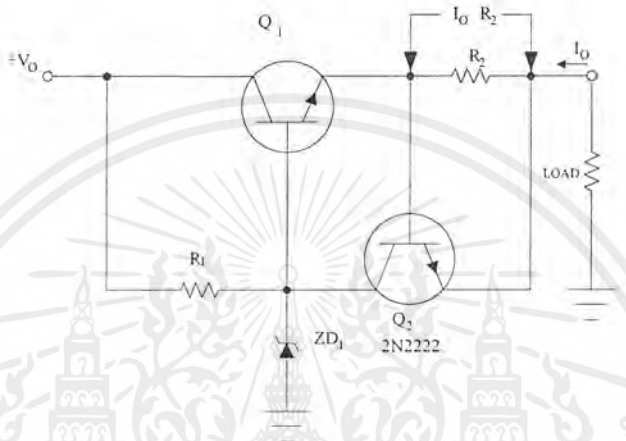
2.2.25 การจำกัดกระแสเอาต์พุต

ถ้าหากเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ไม่ได้มีการป้องกันถูกลัดวงจรโดยบังเอิญ ทำให้แหล่งจ่ายไฟนั้นถูกทำลายให้เสียหายในทันทีทันใด แหล่งจ่ายไฟทั้งหลายไม่ชอบการลัดวงจรเกิดขึ้นที่เอาต์พุตของมัน

ในรูปที่ 2.30 แสดงให้เห็นถึงวงจรป้องกันกระแสเกิน หรือการลัดวงจรอย่างง่าย ๆ โดยทรานซิสเตอร์ Q_1 ต่ออนุกรมกับวงจร เหมือนกับที่พบในวงจรรักษาระดับแรงดันแบบทั่วไป โดยระดับแรงดันเอาต์พุตถูกกำหนดโดยค่า V_z ของซีเนอร์ไดโอด Z_{D1} และจะมีค่ามากกว่า V_z โดยประมาณ 0.6 ถึง 0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรป้องกันกระแสเกิน จะประกอบด้วย Q_2 และ R_2 จะต่ออนุกรมกับเส้นทางกระแสเอาต์พุตดังนั้นจะเกิดแรงดันตกคร่อม R_2 เท่ากับ $I_O \times R_2$ มีค่าสูงถึง 0.6 โวลต์ เท่ากับระดับแรงดันที่รอยต่อของทรานซิสเตอร์แบบซิลิกอน Q_2 จะนำกระแสทำให้ลัดวงจรระหว่างขาเบสและอีมิตเตอร์ของ Q_1 ภายใต้สภาวะเช่นนี้จะทำให้ Q_1 หยุดทำงาน



รูปที่ 2.30 ตัวต้านทานที่ใช้ตรวจจับอนุกรม

ในแหล่งจ่ายไฟบางแห่ง จะถูกออกแบบเพื่อยอมให้มีการแปรเปลี่ยนของจุดจำกัดกระแส วิธีการที่เร็วที่สุดในการทำเช่นนี้ ก็โดยการใช้ตัวต้านทาน R_2 แบบปรับค่าได้หรือแบบค่าคงที่ ค่าของ R_2 จะหาได้จากกฎของโอห์ม ซึ่งค่าของระดับแรงดันเท่ากับ 0.6 โวลต์

$$R_1 = \frac{0.6}{I_{O(\max)}} \tag{2.30}$$

เมื่อ R_2 มีหน่วยเป็นโอหม์ และ I_O มีหน่วยเป็นแอมแปร์

ในแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงส่วนใหญ่ ค่าของ R_2 จะมีค่าต่ำมากเป็นเศษส่วนของโอห์ม ยกตัวอย่างเช่น แหล่งจ่ายไฟขนาด 10 แอมแปร์จะต้องการค่าความต้านทานขนาด 0.06 โอห์ม ซึ่งความต้านทานต่ำขนาดนั้น สามารถทำได้โดยการต่อตัวต้านทานขนานกันหลาย ๆ ตัว (เช่นใช้ตัวต้านทานขนาด 0.33 โอห์ม ต่อขนานกัน 5 ตัว) หรือจากลวดความต้านทานเฉพาะแบบที่ใช้พันบนตัวต้านทานขนาด 1 ถึง 2 วัตต์

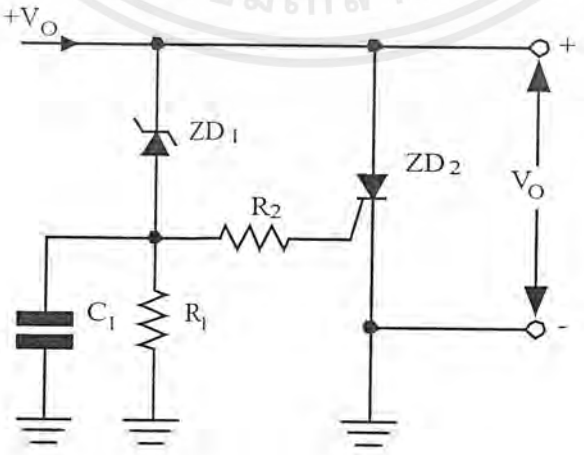
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.26 การป้องกันแรงดันเกิน

ยังคงมีความแตกต่างแตกระหว่างระดับแรงดันอินพุตและเอาต์พุต สำหรับแหล่งจ่ายไฟแบบรักษาระดับแรงดันคงที่ โดยทั่วไปแล้ว จะคงความแตกต่างอย่างน้อย 2 โวลต์ และอาจจะสูงถึง 35 โวลต์ ถ้ามีบางสิ่งเกิดขึ้นทำให้ระดับแรงดันอินพุตปรากฏขึ้นที่เอาต์พุต จะทำให้วงจรที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟเกิดความเสียหายขึ้น ในวงจรดิจิตอลแบบทีทีแอลมาตรฐานนั้น ทำงานด้วยระดับแรงดันคงที่ ขนาด +5 โวลต์ ที่รับจากแหล่งจ่ายไฟที่ไม่ได้รักษาระดับแรงดันขนาด +8 โวลต์ ถ้าหากทรานซิสเตอร์ที่ต่ออนุกรมอยู่ในวงจรเกิดลัดวงจรขึ้นมา หรือซีเนอร์ไดโอดเกิดเปิดวงจรขึ้นมาแล้ว จะทำให้ระดับแรงดันขนาด +8 โวลต์ ปรากฏขึ้นที่เอาต์พุตของวงจรรักษาระดับแรงดัน ซึ่งแรงดันขนาดนี้จะทำลายไอซีทีทีแอล ให้เสียหายทันที ซึ่งกล่าวได้ว่าการผิดพลาดขึ้นเพียงจุดเดียวในแหล่งจ่ายไฟสามารถทำลายวงจรทางดิจิตอลจำนวนมากขึ้นทันที

การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยการใช้วงจรป้องกันแรงดันเกินแบบเอสซีอาร์โครวบาร์ ซึ่งตัวอย่างได้แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.31 วงจรเอสซีอาร์โครวบาร์นี้ เป็นวงจรที่ใช้ป้องกันปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ได้ดีที่สุด เมื่อวงจรตรวจรับสภาวะของแรงดันเกินเกิดขึ้น ก็จะทำการลัดวงจรของเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟเพื่อทำให้ฟิวส์ที่อยู่ขาดไป

เอสซีอาร์นี้ จะแสดงค่าอิมพีแดนซ์สูงระหว่างแคโทดและแอโนด จนกว่าจะมีกระแสไหลเข้าสู่ขาเกต เมื่อมีกระแสไหลเข้าสู่ขาเกตแล้ว เอสซีอาร์จะทำตัวเหมือนกับไดโอดแบบพี-เอ็นทั่วไป โดยพัลส์เพียงชนิดเดียวที่ป้อนเข้าสู่ขาเกตนี้จะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสและจะนำกระแสตลอดไป ถึงแม้กระแสที่เกตจะหมดไปแล้วก็ตาม เอสซีอาร์จะนำกระแสอยู่จนกระทั่งกระแสแคโทดและแอโนดจะลดต่ำกว่าค่ากระแสยึด (Holding Current) จึงจะหยุดทำงาน



รูปที่ 2.31 การตัดการทำงานของวงจรลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.31 เอสซีอาร์โครวบาร์นี้จะต่อคร่อมเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟโดยตรง โดยเอส-ซีอาร์จะยังคงไม่ทำงานจนกว่าซีเนอร์ไดโอด ZD_1 เริ่มทำงาน จะทำให้กระแสเกตไหลผ่าน R_2 โดยระดับแรงดันซีเนอร์ของ ZD_1 จะถูกเลือกให้มีค่าสูงกว่า V_O แต่น้อยกว่าระดับแรงดัน V_i ที่ป้อนเข้าสู่อินพุตของวงจรรักษาระดับแรงดัน สำหรับแหล่งจ่ายไฟขนาด +5 โวลต์จะเลือกค่า V_Z สำหรับ ZD_1 เท่ากับ 6.2 โวลต์หรือ 6.8 โวลต์

บริษัทแลมด้าอิเล็กทรอนิกส์ ได้สร้างโมดูลสำหรับป้องกันแรงดันเกินซึ่งใช้แทนวงจรเอสซีอาร์โครวบาร์อยู่ในรูปตัวถังแบบ 2 ขา (ในรูปที่ 2.32) โดยโมดูลเหล่านี้จะถูกบรรจุอยู่ในตัวถังแบบ TO-66 และ TO-3 ของตัวถังทรานซิสเตอร์ (ในขนาดกระแสต่ำถึงกระแสปานกลาง) และในตัวถังแบบพิเศษ (สำหรับกระแสสูง) โดยมีหลายแบบในระดับแรงดันที่นิยมใช้กัน ที่ระดับกระแสขนาด 2 แอมป์ จนถึง 35 แอมป์

วิธีการในการทำให้โมดูลของแลมด้าขนาดกระแสต่ำ (2 แอมป์) ใช้งานกับกระแสสูงนั้นมีทางทำได้ โดยใช่โมดูลขนาดกระแสต่ำนี้ในการตรวจรับสภาวะการเกิดแรงดันเกิน แล้วจึงป้อนกระแสเกตเข้าสู่เอสซีอาร์อีกที ซึ่งวิธีการนี้จะคล้ายคลึงกับวงจรในรูปที่ 31 มาก แต่ใช้โมดูลป้องกันแรงดันเกินนี้ต่อแทนที่ซีเนอร์ไดโอด และวงจรนี้สามารถใช้ร่วมกับเอสซีอาร์ในย่านกระแสขนาด 50 ถึง 100 แอมป์

2.2.27 ความร้อน

สาเหตุเดียวที่ใหญ่ที่สุด ซึ่งเป็นสาเหตุของความเสียหายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ก็ได้แก่เรื่อง ความร้อน โดยการศึกษาในสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แสดงให้เห็นว่าความร้อนที่มากเกินควรนี้เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายกับทรานซิสเตอร์กำลัง วงจรรักษาระดับแรงดันวงจรเรียงกระแส แบะวงจรขยายกำลังตลอดจนไอซี

ไม่มีแหล่งจ่ายไฟแบบรักษาระดับแรงดันใด ๆ ที่จะสามารถทำงานได้โดยปราศจากแผ่นระบายความร้อน ถ้าคุณใช้อุปกรณ์ที่บรรจุอยู่ในตัวถังแบบ H (TO-5) แล้วก็ให้ใช้แผ่นระบายความร้อนแบบครอบอยู่บนตัว (Hat Type) แต่ถ้าหากตัวถึงที่บรรจุเป็นแบบ TO-66, TO-220 หรือ แบบ TO-3 ก็ให้ติดตั้งอุปกรณ์เหล่านั้นลงบนแผ่นระบายความร้อนแบบมีครีบสำหรับวงจรรักษาระดับแรงดันที่กระแสมากกว่า 5 แอมแปร์ จะต้องมีพัดลมเป่าตัวแผ่นระบายความร้อนด้วยโดยการให้ความระมัดระวังในเรื่องความร้อนที่จะเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้วงจรของคุณเพิ่มความเชื่อถือได้สูงขึ้น

2.2.28 แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง

ในยุคของชิพไอซีและโมดูลแบบโซลิดสเตต (Solid State) ในปัจจุบันเป็นการยากที่จะ

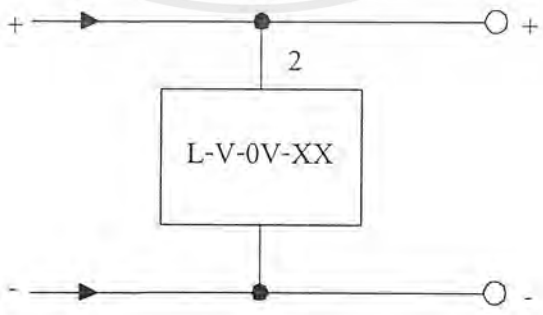
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบทฤษฎีที่จะกล่าวถึงแหล่งจ่ายไฟ และวงจรรักษาระดับแรงดันขนาดสูงกว่า 30 โวลต์ขึ้นไป สำหรับแหล่งจ่ายไฟเหล่านั้น เราจัดมันไว้ในระดับแรงดันสูง ซึ่งเป็นที่เข้าใจกันว่าในย่านแรงดันจาก 30 โวลต์จนถึงหลายพันโวลต์ในขณะที่เทคนิคที่ใช้กับระดับแรงดันขนาดนี้แตกต่างกันไปเล็กน้อย

ย่านระดับแรงดันสูงนี้ สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็นระดับแรงดันต่ำกว่า 100 โวลต์ ในย่านแรงดันต่ำกว่า 100 โวลต์ เราสามารถใช้เทคนิคที่เหมือนกับแหล่งจ่ายไฟแรงดันต่ำที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น สิ่งที่เราต้องทำโดยการแทนหม้อแปลงไฟฟ้า วงจรเรียงกระแส และตัวเก็บประจุกรองกระแสให้มีอัตราการทนกำลังที่สูงขึ้นสำหรับแหล่งจ่ายไฟแบบรักษาระดับแรงดันเราต้องการทรานซิสเตอร์ที่ต่ออนุกรมที่มีอัตราการกระจายกำลังงานของคอลเลคเตอร์ที่เพียงพอ ที่ระดับแรงดันคอลเลคเตอร์ – อีมิตเตอร์ (V_{CE}) ที่คาดไว้ ซีเนอร์ไดโอดที่มีอัตราทนกำลังที่ถูกต้องจะถูกเลือกใช้อาจจะเป็นแบบตัวเดียว (ที่มีอัตราแรงดันสูงกว่า 200 โวลต์ ก็หาซื้อได้ทั่วไป) หรือโดยการต่อซีเนอร์ไดโอดแรงดันต่ำอนุกรมกันหลายตัว

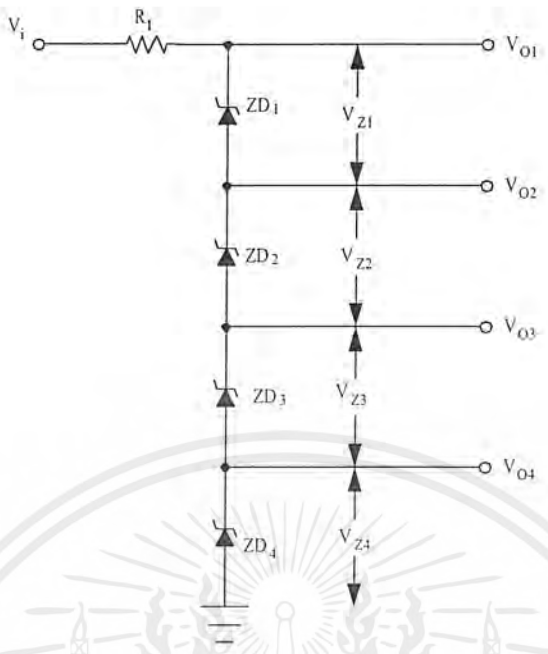
สำหรับประโยชน์ข้างเคียงของวงจรนี้ ก็ได้แก่ เราสามารถแยกระดับแรงดันซีเนอร์ไดโอดแต่ละตัวได้ เพื่อให้ได้ค่าแรงดันต่ำตามที่ต้องการ ซึ่งวิธีการนี้มีข้อจำกัดในกรณีที่ระดับแรงดันที่ต่ำกว่านี้ จะถูกดึงไปใช้งานไม่มากนัก

ซีเนอร์ไดโอดที่ใช้ในรูป 2.33 นี้จะต้องเลือกค่าอัตราการทนกำลังงาน ซึ่งต้องคำนึงถึงระดับแรงดัน Vz แต่ละตัว ถ้าซีเนอร์ไดโอดแต่ละตัวมีอัตรา Vz ต่างกันมาก ๆ แล้ว มันเป็นไปได้ที่อัตราการทนกำลังงานสำหรับซีเนอร์ไดโอดตัวหนึ่งหรือมากกว่าจะมีค่าเกินขึ้นมา ถึงแม้ว่าบางตัวจะทำงานอยู่ภายในย่านที่กำหนด บางคนนิยมใช้ซีเนอร์ไดโอดที่มีระดับแรงดันเท่ากัน (หรือเกือบเท่ากัน) และอัตราการทนกำลังงาน (วัตต์) ที่เท่ากัน



รูปที่ 2.32 วงจรที่ใช้ป้องกันแรงดันเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 การต่อซีเนอร์ไดโอดอนุกรมกันหลายตัว

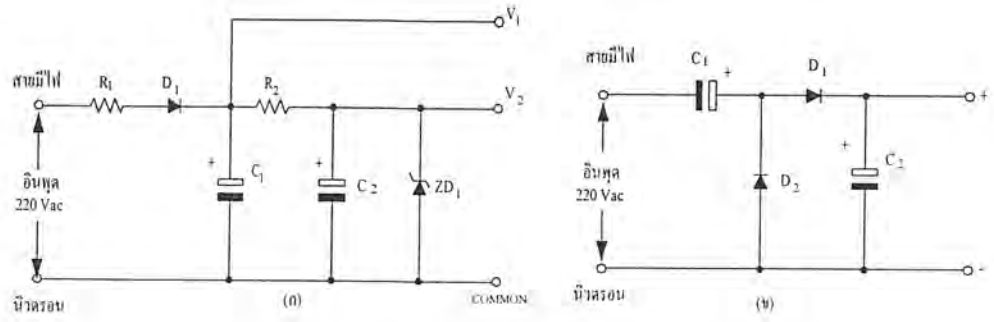
2.2.29 แหล่งจ่ายไฟแบบไร้หม้อแปลงไฟฟ้า

มีเครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่หลายชนิดที่ใช้แหล่งจายไฟแบบไร้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อที่จะลดค่าใช้จ่าย (ซึ่งโดยทั่วไปหม้อแปลงไฟฟ้าค่อนข้างมีราคาแพง) ในรูปที่ 2.34 แสดงให้เห็นถึงแหล่งจ่ายไฟแบบไร้หม้อแปลงไฟฟ้า 2 แบบ ที่แตกต่างกัน

แหล่งจ่ายไฟแบบไร้หม้อแปลงไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 2.34 (ก) จะใช้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นง่าย ๆ ซึ่งทำงานโดยตรงจากแรงดันไฟสลับขนาด 220 โวลต์ วงจรเรียงกระแสต่ออนุกรมอยู่กับสายมีไฟของแหล่งจ่ายไฟสลับ ในขณะที่ขาร่วมต่ออยู่ทางนิวตรอล ระดับแรงดันเอาต์พุตที่มีค่าสูง V_1 มีค่าโดยประมาณเท่ากับระดับแรงดันยอดของไฟสลับ เนื่องจากระดับแรงดันไฟสลับแบบอาร์เอ็มเอส อาจจะเปลี่ยนแปลงได้ระหว่าง 198 และ 242 โวลต์ ดังนั้น V_1 อาจจะเปลี่ยนแปลงได้จาก 280 ถึง 34 โวลต์ดีซีระดับแรงดันที่ต่ำกว่า (V_2) ทำได้โดยใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมเพื่อลดแรงดันลง (R_2) ร่วมกับซีเนอร์ไดโอด (ZD_1) ส่วนตัวต้านทาน R_1 จะไม่ค่อยได้ใช้โดยทำหน้าที่เป็นทั้งตัวจำกัดกระแสและฟิวส์เพื่อป้องกันวงจรเรียงกระแส (D_1)

ในรูปที่ 2.34 (ข) จะแสดงให้เห็นแหล่งจ่ายไฟที่ทวีแรงดันสองเท่า (Voltage Double) ซึ่งใช้การเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นเช่นกัน โดยเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟนี้จะน้อยกว่าสองเท่าของแรงดันในวงจร รูปที่ 2.34 (ก) เล็กน้อย ขอแนะนำให้ใช้ C_1 และ C_2 ที่มีค่าความจุและอัตราแรงดันเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 เป็นแหล่งจ่ายไฟแบบไร้หม้อแปลง

ในกรณีนี้จะต้องระมัดระวังอันตรายที่ซ่อนอยู่ ซึ่งจะนำไปสู่แท่นเครื่องที่มีแรงดันจากสายมีไฟโดยผ่านสกรูที่ทำการยึด ปุ่มหมุนซึ่งทาสีที่มีส่วนผสมของโลหะ สายสัญญาณร่วม หรือทางเดินกลับของสายอากาศ แหล่งจ่ายไฟแบบไร้หม้อแปลงนี้ ควรจะใช้งานโดยการใช้ปลั๊กไฟแบบที่มีการกำหนดขั้วไว้ตายตัว (Polarized AC Line Cord) ซึ่งจะทำให้เสียบเข้ากับเต้าเสียบได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ถ้าเป็นไปได้แหล่งจ่ายไฟแบบไร้หม้อแปลงนี้ ซึ่งโดยทั่วไปเรียกชื่อกันว่า "แหล่งจ่ายไฟเอซี/ดีซี"

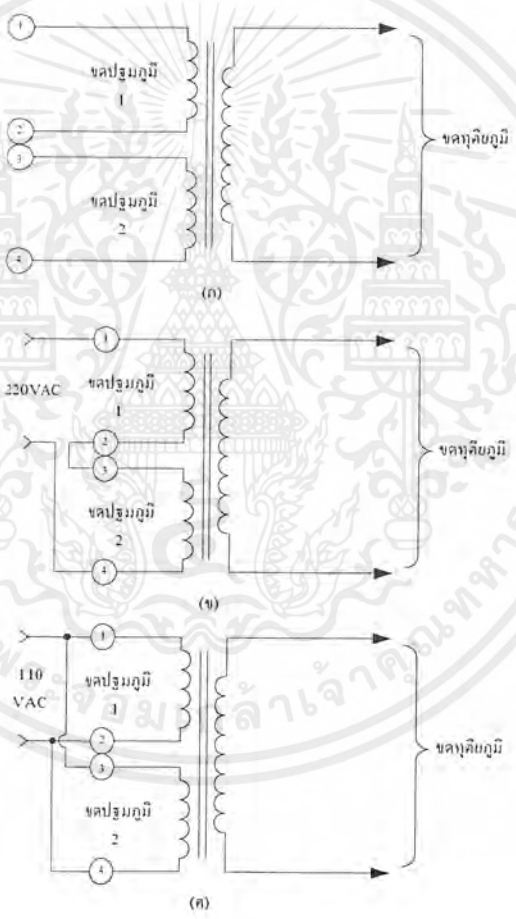
2.2.30 เมื่อระดับแรงดันสูงขึ้นและกำลังงานเพิ่มขึ้น

แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงที่นิยมใช้สำหรับเครื่องขยายเสียงขนาด 500 วัตต์ หรือมากกว่าที่ใช้หลอดสุญญากาศนั้นจะเป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด +800 โวลต์ จนถึง + 5000 โวลต์ ที่กระแสขนาดสูงถึง 1 แอมแปร์ ส่วนแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงโดยทั่วไปที่ใช้สำหรับวงจรขยายสัญญานวิทยุเชิงเส้นขนาด 1 กิโลวัตต์ อาจจะใช้แรงดันสูงถึง 2700 โวลต์ ที่กระแส 500 มิลลิแอมป์

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟกำลังงานสูงหรือแรงดันสูง จะมีขอปฐมภูมิอยู่ 2 ขดเสมอ (ดังแสดงใน รูปที่ 2.35 (ก)) การจัดการขดลวดไว้เช่นนั้นจะสามารถให้คุณเลือกใช้กับแรงดันไฟบ้านขนาด 110 โวลต์ หรือ 220 โวลต์ ผู้ใช้ส่วนใหญ่จะชอบใช้แรงดันขนาด 220 โวลต์ สำหรับงานกำลังงานสูง เนื่องจากต้องการกระแสต่ำกว่า สำหรับวงจรขยายสัญญาณวิทยุขนาด 2 กิโลวัตต์ อาจจะดึงกระแสถึง 10 แอมแปร์ที่แรงดัน 220 โวลต์ หรือ 20 แอมแปร์ที่แรงดัน 110 โวลต์ การต่อขดลวดของหม้อแปลงสำหรับแรงดัน 220 โวล ต์ และ 110 โวลต์ แสดงให้เห็นในรูป 2.35(ข) และ 35 (ค) นักออกแบบวงจรส่วนใหญ่คงจะไม่ค่อยได้พบกับไดโอดที่ใช้กับแรงดันสูงหลายกิโลโวลต์ สำหรับใช้เป็นวงจรเรียงกระแสในแหล่งจ่ายไฟกำลังงานสูงแรงดันสูง วิธีการทั่วไปที่ใช้กันก็โดยการต่อไดโอดหลาย ๆ ตัวอนุกรมกันเพื่อทำเป็นวงจรเรียงกระแส ดังแสดงในรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.36 เพื่อทบทวนความทรงจำอัตราทนแรงดันย้อนกลับสูงสุดของไดโอดจะต้องเท่ากับ 2.82 เท่าของแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้า ถ้าหม้อแปลงของเราจ่ายแรงดันได้สูงถึง 2000 โวลต์ เอซีอาร์เอ็มเอส ดังนั้น อัตราทนแรงดันย้อนกลับสูงสุดของไดโอดที่ใช้ในวงจรเรียงกระแสจะเท่ากับ 2000 x 2.82 หรือเท่ากับ 5640 โวลต์ เพื่อเผื่อค่าความผิดพลาดควรจะใช้ไดโอดที่มีอัตราการทนแรงย้อนกลับสูงสุด (PIV) เท่ากับ 6 กิโลวัตต์ หรือ 7 กิโลวัตต์ สามารถสร้างขึ้นได้โดยการต่อไดโอดที่มีอัตราทนแรงดันย้อนกลับสูงสุดขนาด 1000 โวลต์ อนุกรมกัน 7 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.36 โดยอัตราทนแรงดันย้อนกลับสูงสุดรวมจะเท่ากับ ผลรวมของอัตราทนแรงดันย้อนกลับสูงสุดของไดโอดแต่และตัว



รูปที่ 2.35 ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟกำลังงานสูง

ปัญหาของการต่อไดโอดอนุกรมกันนั้น ได้แก่ ถ้าไดโอดแต่ละตัวนั้นมีคุณสมบัติไม่เหมือนกันแล้ว ก็จะเกิดปัญหาแรงดันตกคร่อมทีไดโอดแต่ละตัวไม่เท่ากัน ความแตกต่างกันนี้จะก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นในภายหลัง วิธีการแก้ปัญหาก็โดยการต่อตัวต้านทานที่มีค่าเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดกับไดโอดแต่ละตัว (R1 ถึง R4 ในรูปที่ 2.36) ตัวต้านทานเหล่านั้นโดยทั่วไปจะใช้ขนาด 1 วัตต์ และมีค่าเท่ากับ 500 ถึง 1000 โอห์มต่อ 1 โวลต์ ของอัตราทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด ดังนั้นสำหรับไดโอดที่มีอัตราทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด 1000 โวลต์ จะใช้ตัวต้านทานค่า 500,000 ถึง 1 เมกะโอห์ม ขนาด 1 วัตต์สิ่งสำคัญคือค่าของความต้านทานจะต้องเท่ากันทุกตัว มิฉะนั้นแล้วคุณสมบัติของการทำให้ระดับแรงดันเท่ากันก็จะสูญเสียไป ถ้าหากพบว่าตัวต้านทานตัวหนึ่งเกิดเปลี่ยนสีไปอย่างรวดเร็ว ในระหว่างการใช้ในแหล่งจ่ายไฟเพียง 2 – 3 นาทีแรก ก็แสดงว่าตัวต้านทานนั้นต่อขนานอยู่เสียคุณสมบัติไป

ตัวเก็บประจุถูกใช้ในการป้องกันไดโอดในวงจรเรียงกระแส จากทรานเซี้ยนต์แรงดันสูงที่เข้ามาในสายไฟบ้านในงานส่วนใหญ่แล้วตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากับ 0.001 ไมโครฟารัด และเป็นชนิดเซรามิกแบบจาน (Disc Ceramic Type) อัตราการทนแรงดันของตัวเก็บประจุอย่างต่ำเท่ากับอัตราการทนแรงดันย้อนกลับสูงสุดของไดโอด และควรจะมากกว่าเล็กน้อย แต่ไม่เหมาะที่จะใช้ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกแบบจานขนาด 3 กิโลวัตต์กับไดโอดที่มีอัตราการทนแรงดันย้อนกลับสูงสุดเพียง 1 กิโลโวลต์

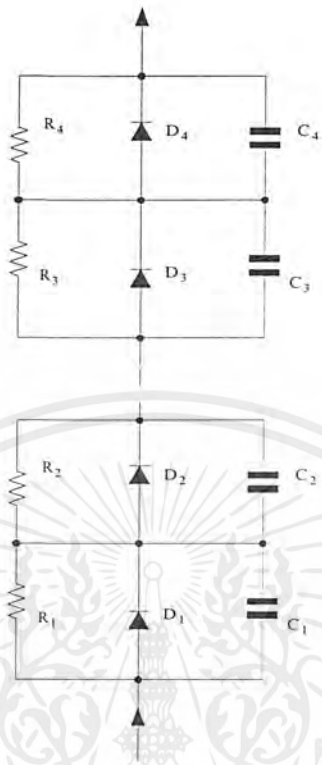
ไดโอดและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในวงจรรูปที่ 2.36 ต้องติดตั้งให้แยกกันระหว่างแรงดันสูงกับแท่นเครื่องวิธีการทั่วไปก็โดยการสร้างวงจรเรียงกระแสบนแผ่นวงจรที่ทำด้วยเบกาไลต์ (Bakalite) ฟีนอลิก (Phenolic) หรือ ไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) แผ่นเดินวงจรนั้นต้องติดตั้งบนแท่นฉนวนที่ทำจากเซรามิคหรือลูไซต์ (Lucite) ซึ่งหนา 2 - 3 นิ้ว

จุดต่อที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟแบบแรงสูงจะต้องกลมและเรียบ และต้องไม่มีจุดที่แหลมคมที่เกิดจากจุดบัดกรีหรือจุดต่อที่แหลมคมใด ๆ เนื่องจากแรงดันสูงเมื่อพบกับจุดที่เป็นปุ่มแหลมแล้วจะเกิดการคายประจุ "โคโรน่า" (High Voltage Corona Discharge)

ส่วนของวงจรกรองแรงดันของแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงมีอยู่หลายชนิดแต่เราจะพิจารณาเฉพาะวงจรกรองกระแสแบบบังคับ (Brute - Force Filter) เช่นเดียวกับวงจรกรองกระแสที่เราเคยกล่าวมาแล้ว ซึ่งประกอบด้วยตัวเก็บประจุตัวเดียวคร่อมเอาท์พุตของวงจรกรองกระแส

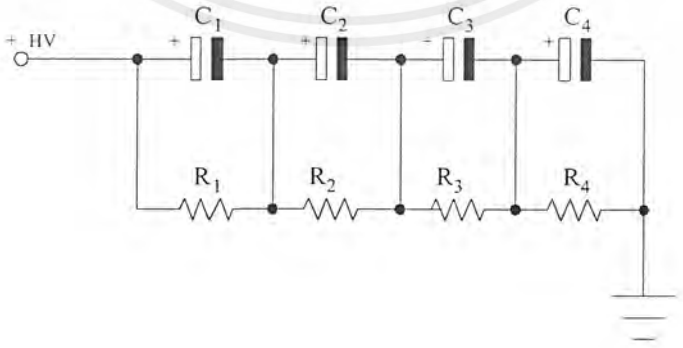
มีทางเลือกอย่างน้อย 2 ทางสำหรับตัวเก็บประจุในแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงยกตัวอย่างเช่นเราสามารถใช้ตัวเก็บประจุที่ทนแรงดันสูง โดยมีค่าความจุที่คำนวณจากตัวประกอบริปเปิลที่ต้องการตัวเก็บประจุเป็นแบบน้ำมัน มีราคาแพงมากและบางครั้งก็หาได้ยาก ทางเลือกอื่นก็โดยการใช้ตัวเก็บประจุแรงดันต่ำหลายตัวต่ออนุกรมกัน (ดังวงจรในรูปที่ 2.37)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 เป็นแนวคิดในการเอาชนะปัญหาในเรื่องการต่อไดโอดหลายตัวอนุกรมกัน

ตัวเก็บประจุแต่ละตัวที่ต่ออนุกรมกันเป็นแถวในรูปที่ 2.37 จะมีอัตราการทนแรงดันใช้งาน 450 โวลต์ดีซี และเป็นแบบอิเล็กโทรไลต์ ขอแนะนำให้ใช้ตัวเก็บประจุทั้งหมดในแถวให้มีค่าความจุและอัตราการทนแรงดันใช้งาน (WVDC) เท่ากัน



รูปที่ 2.37 การต่อวงจรกรองกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวต้านทานที่ต่อขนานกับตัวเก็บประจุก็เพื่อทำให้มีแรงดับตกคร่อมตัวเก็บประแต่ละตัวมีต่าเท่ากัน ส่วนใหญ่แล้วตัวต้านทานจะมีค่าเท่ากับ 50,00 ถึง 150,000 โอห์ม อัตราการทนกำลังเท่ากับ

$$\frac{(WVDC)^2}{R} \tag{2.31}$$

สำหรับตัวต้านทานค่า 150,00 โอห์ม และอัตราการทนแรงดันไฟฟ้าใช้งานขนาด 450 โวลต์ ใช้ตัวต้านทานที่มีอัตราการทนกำลังขนาด 2 วัตต์ ก็เป็นการเพียงพอ ถ้าใช้ตัวต้านทานขนาด 50,00 โอห์ม ควรใช้ตัวต้านทานที่มีอัตราการทนกำลังขนาด 7.5 วัตต์

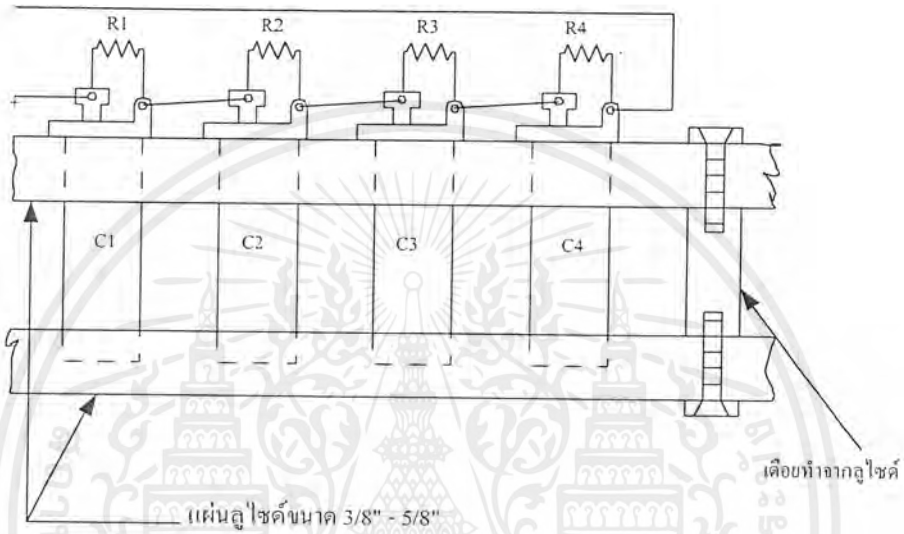
ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ ที่ใช้ในวงจรรูปที่ 2.37 ถูกสร้างให้อยู่ในตัวถังโลหะ ตัวถังภายนอกที่ทำจากโลหะจะเป็นขั้วลบของตัวเก็บประจุ ขั้วที่ต่อแยกต่างห่างจะเป็นขั้วบวก โดยปรกติแล้วตัวถังโลหะจะต่อลงกราวด์และดูเหมือนไม่มีอันตราย แต่ในการจัดวงจรเช่นนี้ตัวถังของตัวเก็บประจุทุกตัวยกเว้น 1 ตัว จะมีค่าความต่างศักย์สูงกสว่ากราวด์และสามารถทำอันตรายได้ถ้าไปแตะถูกมันเข้าเนื่องจากตัวถังนั้นจะมีไฟอยู่ ดังนั้นจึงต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ ในการประกอบชุดของวงจรกรองกระแส ในรูปที่ 2.38 ได้แสดงให้เห็นถึงการต่อชุดของตัวเก็บประจุเข้าด้วยกัน

โดยการใช้แผ่นลูไซต์ 2 แผ่น ขนาดความหนา 3/8 - 5/8 นิ้วในการยึดตัวเก็บประจุ แล้วเจาะรูทางด้านบนของแผ่นลูไซต์ให้ใหญ่พอที่จะครอบตัวถังของตัวเก็บประจุ แต่ไม่ให้เลยขอบที่ใช้ยึดตัวเก็บประจุ ส่วนแผ่นล่างนั้นก็เจาะรูให้ลึกพอที่ด้านฐานนของตัวเก็บประจุจะลงไปพอดี แต่ไม่ให้ทะลุ และแนวของรูที่เจาะควรอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน แผ่นลูไซต์ทั้ง 2 แผ่น จะถูกยึดด้วยเดือยที่มุมทั้ง 4 ด้าน ข้อควรระวังก็คือ ความหนาของแผ่นลูไซต์ด้านล่าง จะต้องหนาเพียงพอที่จะทนแรงดันสูงได้ โดยความหนานั้นวัดจากด้านล่างของแผ่น จนถึงส่วนล่างของรูที่เจาะสำหรับยึดฐานของตัวเก็บประจุ

ตัวต้านที่ใช้รักษาระดับแรงดันให้เท่ากันนี้สามารถติดตั้งลอยอยู่ในอากาศ ระหว่างขั้วของตัวเก็บประจุ แบบอิเล็กโทรไลต์ การต่อสายระหว่างตัวเก็บประจุแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.38 รูปที่ 2.39 วงจรนี้อาจดูสลับซับซ้อนสำหรับแหล่งจ่ายไฟ แต่วงจรใช้ป้อนกำลังงานให้กับวงจรเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ขนาด 5,000 วัตต์การป้อนแรงดันสูงให้กับหลอดก่อนที่ไส้หลอดจะถูกอุ่นให้พร้อมที่จะทำงาน จะทำให้อายุของหลอดลดลงได้ จึงต้องมีวงจรตั้งเวลาเข้าช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อแปลงไฟฟ้า 2 ตัว ถูกนำมาใช้ ถ้าแหล่งจ่ายไฟนี้ใช้สำหรับวงจรขยายสัญญาณวิทยุเชิงเส้น ซึ่งวงจรขยายนี้ส่วนใหญ่ใช้หลอดสุญญากาศ ซึ่งต้องการแรงดันต่ำ และกระแสสูง สำหรับป้อนให้กับหลอดไส้ (T2)

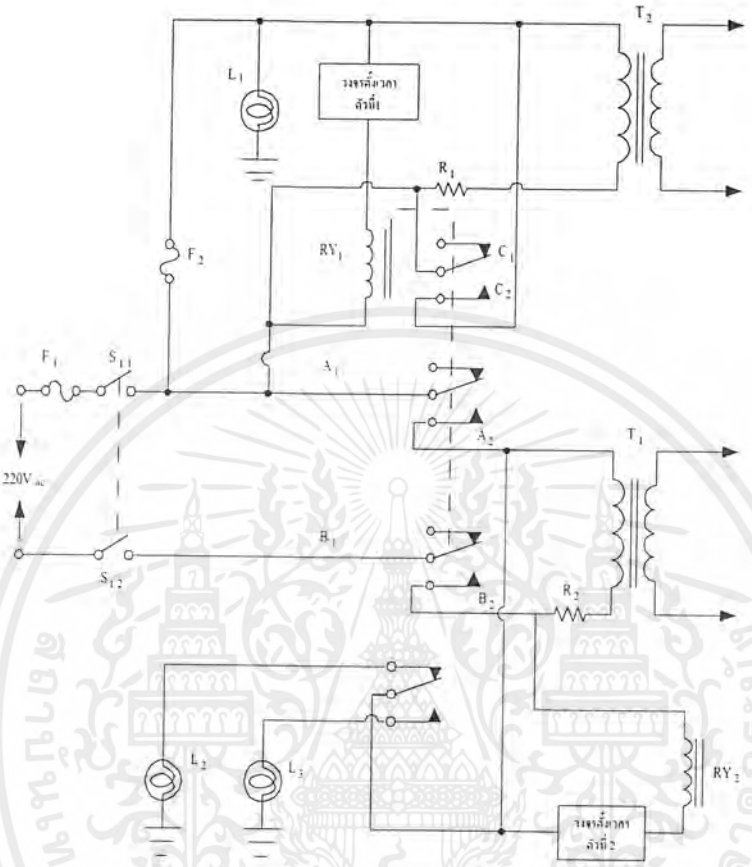


รูปที่ 2.38 การใช้ฉนวนในการติดตั้งตัวเก็บประจุ

หลอดสุญญากาศจะต้องถูกทำให้มีอุณหภูมิถึงอุณหภูมิที่ใช้งานก่อนที่จะป้อนแรงดันสูงเข้าไป ซึ่งความต้องการนี้หมายความว่าต้องจุดไส้หลอดก่อน ที่ควรจะป้อนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง งานนี้สามารถทำให้สำเร็จไปได้โดยการตัดต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.39 สวิตช์ S1 จะเป็นสวิตช์สำหรับจ่ายไฟเข้า และจะป้อนไฟเข้าหม้อแปลงจุดไส้หลอด สวิตช์ตัวนี้ควรจะทนกระแสได้สูง ซึ่งสามารถทนกระแสของขดปฐมภูมิของหม้อแปลงทั้ง 2 ตัวได้ กระแสหลักได้แก่ กระแสจากหม้อแปลงแรงดันสูง กระแสนี้อาจจะมีค่าสูงถึง 20 แอมแปร์ สำหรับวงจรขยายสัญญาณเชิงเส้นขนาด 1 กิโลวัตต์ ที่ทำงานจากแรงดันไฟสลับ 110 โวลล์

ขดปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงดันสูง T_1 จะถูกควบคุมโดยหน้าสัมผัส A_1/A_2 และ B_1/B_2 ของรีเลย์ RY_1 หน้าสัมผัสเหล่านี้จะต่อวงจร (A_1 กับ A_2 และ B_1 กับ B_2) เมื่อคอยล์ของ RY1 ถูกกระตุ้นโดยคอยล์จะถูกกระตุ้น เมื่อวงจรตั้งเวลา ตัวที่ 1 นับเวลาครบ ระยะเวลาของวงจรตั้งเวลาจะถูกกำหนดได้โดยคำนึงถึงเวลาอุ่นไส้หลอด แต่สำหรับในบางกรณีวงจรตั้งเวลาอาจเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์แต่ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นแบบไฟฟ้า - กลศาสตร์ (Electro - Mechanical)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.39 การต่อสายทางขดปฐมภูมิสำหรับแหล่งจ่ายไฟแรงดันตรง

ไส้หลอดที่เย็นของหลอดสุญญากาศกำลังสูง จะดึงกระไฟเป็นจำนวนมากเมื่อไส้หลอดร้อนขึ้นเรื่อย ๆ กระแสจะลดลงจนถึงระดับที่ใช้งานปรกติ ซึ่งกระแสพุ่งเข้า (In - Rush Current) เป็นตัวทำให้อายุการใช้งานของหลอดสุญญากาศสั้นลง เพื่อที่จะลดค่ากระแสที่พุ่งเข้านี้จะมีตัวต้านทานต่ออนุกรมกับขดปฐมภูมิของหม้อแปลงจุดไส้หลอดซึ่งตัวต้านทานนี้โดยปรกติจะมีค่าใช้ลดกระแสประมาณ 1.5 เท่าของปรกติ เมื่อวงจรตั้งเวลาตัวที่ 1 ทำงานครบเวลาแล้ว หน้าสัมผัส C_1 - C_2 ของ RY_1 จะต่อวงจรและลัดวงจรตัวต้านทานไว้ เมื่อ R_1 ถูกลัดวงจรขดปฐมภูมิของ T_2 จะได้รับแรงดันเต็มที่

ปัญหาเหมือน ๆ กันที่เกิดขึ้นกับด้านแรงดันสูงของแหล่งจ่ายไฟ หล่าวคือกระแสตอนสะสมประจุของตัวเก็บประจุในวงจรกรองกระแสในตอนเริ่มเปิดเครื่องจะมีค่าสูงมาก กระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนนี้สามารถทำลายไดโอดของวงจรเรียงกระแสได้ ตัวต้านทาน R_2 จะทำหน้าที่จำกัดกระแสเช่นเดียวกับ R_1 วงจรตั้งเวลาอีกตัวคือวงจรตั้งเวลาตัวที่ 2 จะใช้สำหรับกระตุ้นรีเลย์ RY_2 ที่ระยะเวลาที่ทำให้ตัวเก็บประจุในวงจรกรองกระแส ทำการสะสมประจุเพียงพอที่จะลดกระแสที่ไหลลง โดยทั่วไประยะเวลาของวงจรตั้งเวลาตัวที่ 2 จะสั้นกว่าเวลาของวงจรตั้งเวลาตัวที่ 1 มาก

หลอดไฟสัญญานั้นเพิ่มเติมขึ้นมาโดยหลอดไฟ L_1 สีเขียว จะติดเมื่อกดสวิตช์ S_1 ให้ต่อวงจร L_2 เป็นสีเหลืองและจะติดเมื่อวงจรตั้งเวลาตัวที่ 1 ถูกกระตุ้นส่วนหลอด L_3 มีสีแดงจะติดเมื่อแรงดันสูงนั้นพร้อมที่จะจ่าย

แหล่งจ่ายไฟดังรูปที่ 2.39 นี้ จะต้องใช้ฟิวส์ 2 ตัวซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากความแตกต่างอย่างมากมายของระดับกำลังงานของหม้อแปลง ทั้ง 2 ตัง ถ้าใช้ฟิวส์ตัวเดียวมันจะต้อง ทนค่ากระแสสูงที่สำหรับจ่าย ให้กับหม้อแปลงแรงดันสูง ความเสียหายอาจเกิดขึ้นทางด้านจุดไส้หลอดของแหล่งจ่ายไฟซึ่งอาจร้ายแรงจน T_2 เกิดไหม้ไป โดยการต่อฟิวส์ไว้ 2 ตัว ในวงจรจะเป็นการป้องกันปัญหาต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นและสามารถป้องกันวงจรได้สมบูรณ์

2.2.31 การลดความร้อนที่เกิดขึ้น

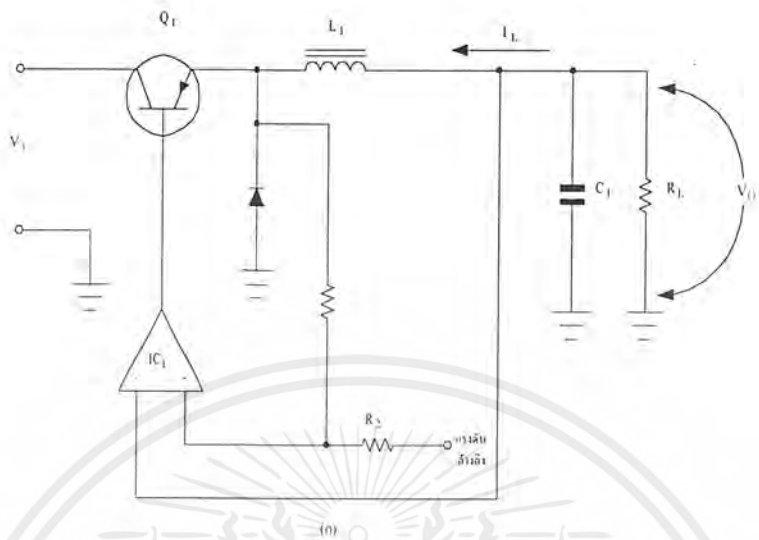
วงจรรักษาระดับแรงดันทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วนั้น จะได้รับผลกระทบจากข้อบกพร่องหลัก สำหรับอุปกรณ์พวกแอคทีฟ ได้แก่ ทรานซิสเตอร์ที่ต่ออนุกรมกับวงจร จะกระจายกำลังงานจำนวนหนึ่งออกมา เมื่อวงจรต่าง ๆ เหล่านั้น ต้องการความแตกต่างของแรงดันระหว่าง อินพุทกับเอาท์พุท(V_i - V_o) ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ซึ่งจะเป็นแหล่งสูญเสียกำลังงานไป กำลังที่กระจายออกไปโดยทรานซิสเตอร์ที่ต่ออนุกรมจะหาได้จากสมการนี้คือ

เมื่อ P คือกำลังที่กระจายเป็นวัตต์, I_o คือกระแสเอาท์พุทเป็นแอมแปร์ V_i คือแรงดันอินพุทเป็นโวลล์ และ V_o คือแรงดันเอาท์พุทเป็นโวลล์

ถ้าความแตกต่างของระดับแรงดันอินพุทและเอาท์พุท (V_i - V_o) มีค่ามากแล้วกำลังซึ่งกระจายออกก็จะมีค่ามากที่กระแส 1 แอมแปร์ วงจรรักษาระดับแรงดันมาตราฐานขนาด +5 โวลล์ จะกระจายกำลังเพียง 3 วัตต์ ที่มีค่าความแตกต่างระหว่าง (V_i - V_o) น้อยที่สุด แต่สำหรับวงจรรักษาระดับแรงดันซึ่งสามารถทำงานที่ระดับแรงดัน V_i สูงถึง +40 โวลล์ กำลังที่กระจายออกมาจะเท่ากับ (40 โวลล์ - 5 โวลล์)*1 แอมแปร์ หรือ 35 วัตต์ที่เดียว

เมื่อคำนึงกำลังงานที่สูญเสียไปจะเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อนและความร้อนนี้เป็นตัวก่อให้เกิดความเสียหายหลักให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ กำลังงานทั้งหมดซึ่งกระจายออกมาจะกลายเป็นความร้อน ดังนั้นเราอาจจะกล่าวได้ว่าวงจรรักษาระดับแรงดันจะเป็นตัวสร้างความร้อนที่สำคัญ การแก้ปัญหานี้ ได้แก่ วงจรรักษาระดับแรงดันแบบสวิตชิ่ง (Switching Voltage Regulator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะไม่ทำงานเป็นทรานซิสเตอร์ที่ต่ออนุกรม

ในรูปที่ 2.40 (ก) แสดงให้เห็นถึง ผังของการทำงาน ของวงจรรักษาระดับแรงดันแบบสวิตชิ่ง ในขณะที่รูป 2.40 (ข) แสดงถึงรูปคลื่น ทรานซิสเตอร์ Q_1 นั้นไม่ใช้ทรานซิสเตอร์ที่ต่ออนุกรมกับวงจร ดังเช่นในวงจนรักษาระดับแรงดันแบบทั่วไป แต่มันเป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อขาเบสของ Q_1 มีค่าเป็นบวก ความต้านทานระหว่างคอลเลคเตอร์กับอิมิเตอร์จะมีค่าลดลงเหลือเพียงเล็กน้อย แรงดันตกคร่อมระหว่าง Q_1 ภายใต้สภาวะนี้ก็จะมีค่าต่ำ Vec (Sat) เมื่อขาเบสของ Q_1 มีค่าเป็นศูนย์หรือลบ มันก็จะเลิกทำงานดังนั้นความต้านทานระหว่างคอลเลคเตอร์กับอิมิเตอร์จะมีค่าสูงมาก

วงจรขยายสัญญาณ IC_1 ในรูปที่ 2.40 (ก) ใช้เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันซึ่งมีอินพุทอยู่ 2 อัน ป้อนเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบแรงดัน ถ้าหากแรงดันที่ป้อนเข้าสู่อินพุท ของวงจรเปรียบเทียบแรงดันเท่ากันแล้ว ระดับแรงดัน เอาท์พุทจะเป็นศูนย์ ถ้าระดับที่ขาอินพุทลบมีค่ามากกว่าระดับแรงดันที่อินพุทบวกแล้วเอาท์พุทจะมีค่าเป็นลบ แต่ถ้าอินพุทลบจะมีระดับแรงดันต่ำกว่าอิทพุทบวกแล้วเอาท์พุทจะมีค่าเป็นบวก เอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน IC_1 จะใช้ขับขาเบสของสวิตช์ที่ทรานซิสเตอร์ Q_1

เมื่อขาเบสของ Q_1 มีค่าสูง กระแส IL จะไหลในตัวเหนี่ยวนำ L_1 และในตัวต้านทานที่เป็นโหลด R_L ระดับแรงดันที่ปรากฏตกคร่อมอินพุตทั้งสองของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน IC_1 ได้แก่ แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ L_1 ซึ่งหาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V = \frac{L_1.\Delta I_L}{\Delta t} \tag{2.32}$$

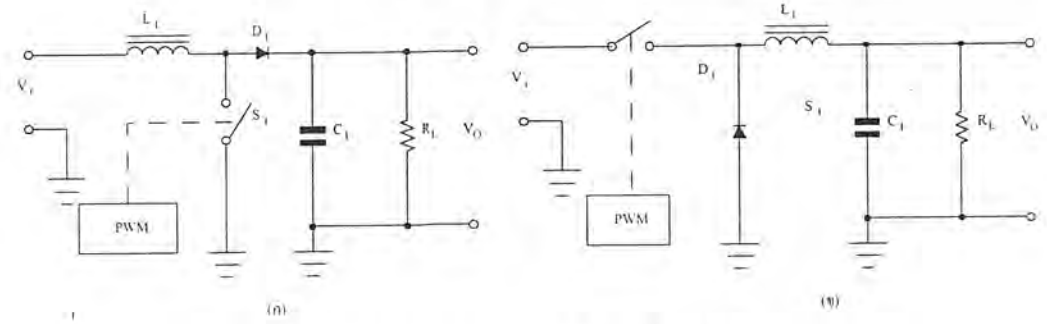
วงจรนี้จะออสซิลเลตที่ความถี่ระหว่าง 2 และ 20 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งหาได้จากสมการ

$$F = \frac{V_o(V_i \quad V_o)}{L_1 V_1 (I_{\max} \quad I_{\min})} \tag{2.33}$$

มีการจัดวงจรพื้นฐานอยู่ 2 อย่างสำหรับแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง (ดูรูปที่ 41) คือแบบเพิ่มแรงดันขึ้น (Step-Up) [ในรูปที่ 2.41 (ข)] สำหรับแบบเพิ่มแรงดันขึ้นนั้น จะให้ระดับแรงดันเอาต์พุตสูงขึ้นกว่าระดับแรงดันอินพุตในขณะที่แบบลดแรงดันลงจะให้ระดับแรงดันเอาต์พุตต่ำกว่าระดับแรงดันอินพุตความแตกต่างที่สำคัญระหว่าง 2 แบบนี้ ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเหนี่ยวนำ (L_1) และสวิตช์ S_1 [ซึ่งหมายถึงทรานซิสเตอร์ Q_1 ในรูป 40 (ก)] สำหรับแบบเพิ่มแรงดันขึ้น ตัวเหนี่ยวนำจะอยู่ระหว่าง V_i และ สวิตช์ โดยสวิตช์นั้นจะต่อขนานคร่อมวงจรไว้เมื่อ S1 ปิดวงจร ตัวเหนี่ยวนำจะต่อคร่อมแหล่งจ่ายไฟ V_i แรงดันเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Counter Electromotive Force :CEMF) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการยุบตัวของสนามแม่เหล็กรอบๆ L_1 จะเกิดแรงดันเพิ่มขึ้นซึ่งจะไปรวมกับ V_i

สำหรับแบบลดแรงดันลง แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.41 (ข) ในวงจรนี้ สวิตช์จะต่ออยู่ระหว่าง V_i และตัวเหนี่ยวนำและต่ออนุกรมกับวงจรแทนที่จะต่อแบบขนานคร่อมวงจร แต่ทั้ง 2 แบบที่แสดงในรูปที่ 2.41 นี้ จะใช้วงจรผสมสัญญาณทางด้านความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation :PWM) ในการขับสวิตช์

สำหรับวงจรผสมสัญญาณทางด้านความกว้างของพัลส์ จะทำหน้าที่ผลิตพัลส์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ได้ ซึ่งช่วงระยะเวลานี้จะถูกกำหนดโดยความไม่ตรงกันระหว่างแรงดันเอาต์พุตที่ต้องการ กับ แรงดันเอาต์พุตที่เป็นจริง



รูปที่ 2.41 เป็นวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งสองวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ส่วนของกการสื่อสารข้อมูล

2.3.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C

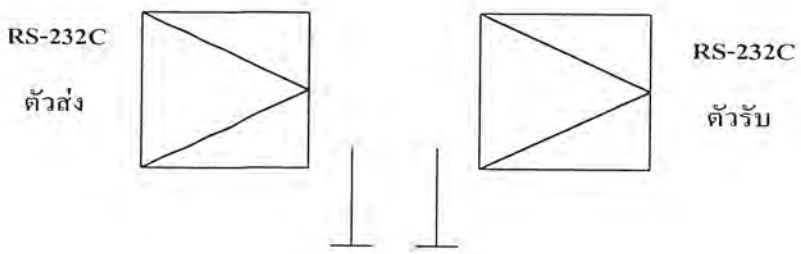
การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่มีการใช้งานในปัจจุบันนี้นั้น ได้มีการกำหนดมาตรฐานในการรับส่งข้อมูลไว้หลายแบบด้วยกันแต่ที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางก็คือ การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C

ทั้งนี้เนื่องจากความต้องการในการสื่อสารข้อมูลผ่านทางเครือข่ายโทรทัศน์มีมากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานที่เรียกว่า RS-232C ขึ้นเพื่อใช้เป็นมาตรฐานแก่อุปกรณ์ที่ถูกผลิตจากบริษัทต่างในสหรัฐอเมริกา Bell System Operating Telephone Companies เป็นบริษัทหลักบริษัทแรกที่เป็นผู้ผลิตและติดตั้งระบบสื่อสารข้อมูล และเป็นผู้ผลิตอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการอินเตอร์เฟสอุปกรณ์ดิจิตอลกับเครือข่ายโทรศัพท์รายใหญ่ อุปกรณ์นี้ก็คือ Bell Modem ซึ่งถูกพัฒนาโดย Bell Laboratories และถูกใช้เป็นมาตรฐานในงานอุตสาหกรรมจนถึงปัจจุบันนี้ ดังนั้นความต้องการข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนดในการอินเตอร์เฟสกับโมเด็มจึงมีเพิ่มเรื่อยๆ เพื่อตอบสนองความต้องการนี้ EIA, Bell System และผู้ผลิตโมเด็มรายอื่นๆ จึงได้ร่วมมือกันตั้งมาตรฐาน RS-232C ขึ้น

มาตรฐาน RS-232C ได้ถูกตีพิมพ์โดย EIA ในปี ค.ศ. 1969 โดยตัวอักษร RS แทน "Recommended Standard" 232 แทนหมายเลขของมาตรฐาน ส่วนอักษร C แสดงให้เห็นว่า มาตรฐานนั้นได้รับการแก้ไขกี่ครั้ง

การที่มาตรฐานนี้เป็นที่นิยมใช้ก็เนื่องจากเป็นระบบการสื่อสารข้อมูลที่ใช้ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ที่มีใช้อย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน

มาตรฐาน RS-232C จะมีโครงสร้างการสื่อสารเป็นแบบจุดต่อจุดเท่านั้น โดยมีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า และทางกายภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.42 โครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) คอนโทรล MSComm

MSComm จัดเตรียมทางเลือกเอาไว้ 2 ทางเพื่อความสะดวกในการสื่อสารข้อมูล ทางแรกคือ การสื่อสารข้อมูลที่กระตุ้นด้วยเหตุการณ์ (Event-Driven Communications) เป็นรูปแบบการใช้งานที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการตอบสนองแบบทันทีทันใด เช่น เมื่อตัวอักษรถูกส่งมาที่พอร์ตอนุกรมเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ขา Data Carrer Detect (DCD) หรือขา Request To Send(RTS) เหตุการณ์ Oncomm ของ MSComm จะสามารถตรวจจับสัญญาณได้ทันที ส่วนทางเลือกที่สองเป็นการคอยตรวจสอบค่าเหตุการณ์และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นด้วยการดูค่าที่เปลี่ยนแหลงภายในคุณสมบัติ CommEvent หลังจากให้โปรแกรมทำงานในฟังชั่นต์ต่างๆ ไปเรียบร้อยแล้ว ซึ่งวิธีนี้ใช้งานได้ในกรณีที่โปรแกรมมีขนาดเล็ก

คอนโทรล MSComm1 ตัวสามารถควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมได้ 1 พอร์ต ถ้าในโปรแกรมที่ใช้งานต้องการติดต่อกับพอ์ตอนุกรมมากกว่า 1 พอร์ต จะต้องใช้คอนโทรล MSComm มากกว่า 1 ตัวเพื่อควบคุมพอร์ตอนุกรมในแต่ละพอร์ต แอดเดรสของพอร์อนุกรมและแอดเดรสของการเกิดอินเตอร์รัปต์สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการแก้ไขค่าที่ Control Panel

ถึงแม้ว่า คอนโทรล MSComm จะมีคุณสมบัติมากมาย แต่สามารถทำความเข้าใจได้ไม่ยาก ดังนี้

1.1) CommPort

ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าพอร์ตอนุกรมที่ติดต่อกันอยู่(COM1, COM2, COM3, COM4)

รูปแบบการใช้งาน

```
object.Commport [ = value ]
```

โดย Value เป็นค่าของพอร์ตอนุกรมชนิดของข้อมูลเป็น Integer ค่า Value สามารถกำหนดได้ในช่วง 1-16 เมื่อมีการกำหนดค่าแล้วทำการเปิดพอร์ตโดยใช้คุณสมบัติ PortOpen แต่ว่าพอร์ตนั้นไม่อยู่ในระบบ MSComm จะสร้างสัญญาณแสดงค่าผิดพลาด Error68 ขึ้นมา ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ตัวนี้ไม่มีอยู่ในระบบ ดังนั้นการเขียนโปรแกรมจึงจำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งของพอร์ตอนุกรมก่อนที่ใช้คำสั่ง OpenPort

1.2) Setting

ใช้ในการกำหนดค่าอัตราบอด, พาริตี้, จำนวนของบิตข้อมูล, จำนวนของบิตปิดท้ายรูปแบบการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

object.Setting [= value]

ค่า Value มีชนิดข้อมูลเป็นแบบ String มีรูปแบบเป็น "BBBB, P, D, S" โดย BBBB เป็นค่าอัตราบอด, P เป็นค่าพาริตี้,D เป็นจำนวนของบิตข้อมูล และ S เป็นจำนวนของบิตปิดท้าย ปกติแล้วค่านี้ถูกกำหนดไว้เป็น "9600, N, 8, 1"

ค่าพอร์ตมาตรฐานมีดังนี้

110 บิตต่อนาที

300 บิตต่อนาที

600 บิตต่อนาที

1200 บิตต่อนาที

2400 บิตต่อนาที

9600 บิตต่อนาที(ค่าปกติ)

14400 บิตต่อนาที

19200 บิตต่อนาที

28800 บิตต่อนาที

34800 บิตต่อนาที(สงวน)

56000 บิตต่อนาที(สงวน)

128000 บิตต่อนาที(สงวน)

256000 บิตต่อนาที(สงวน)

สำหรับค่ามาตรฐานในการกำหนดค่าพาริตี้มีดังนี้

สัญลักษณ์	รายละเอียด
E	พาริตี้คู่ (Even)
M	ลอจิก "1" (MARK)
N	ไม่ใช้ (ค่าปกติ)
O	พาริตี้คี่ (Odd)
S	ลอจิก "0" (Space)

ค่าที่ใช้ในการกำหนดจำนวนบิตมี 5 ค่าคือ 4, 5, 6, 7 และ 8 (เป็นค่าปกติ)

ค่าที่ระบุจำนวนปิดท้ายมี 3 ค่าคือ 1 (เป็นค่าปกติ), 1, 5 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3) PortOpen

ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าสถานะของพอร์ตอนุกรม เพื่อเปิดและปิดพอร์ตอนุกรม

รูปแบบการใช้งาน

object.PortOpen [= value]

ค่า Value มีชนิดข้อมูลเป็นแบบบูลีนคือ True กับ False โดย True หมายถึงการเปิดพอร์ตอนุกรมและ False หมายถึงการปิดพอร์ตอนุกรม สำหรับการปิดพอร์ตนั้นจะมีการเคลียร์บัฟเฟอร์รับข้อมูลและบัฟเฟอร์ส่งข้อมูลด้วย คอนโทรล Mscomm จะปิดพอร์ตอนุกรมโดยอัตโนมัติเมื่อออกจากโปรแกรม ก่อนที่จะใช้คุณสมบัติ PortOpen ต้องตรวจสอบให้แน่ใจก่อนว่าคุณสมบัติ CommPort นั้นได้ทำการกำหนดตำแหน่งของพอร์ตอนุกรมไว้ถูกต้องหรือไม่ มิเช่นนั้น Mscomm จะแสดงข้อผิดพลาด Error 68 แจ้งแก่ผู้ใช้งาน หรือถ้าพอร์ตอนุกรมนั้นถูกเปิดเอาไว้แล้ว โปรแกรมก็จะแจ้งข้อผิดพลาดออกมาเช่นกัน

ถ้าคุณสมบัติ DTREnable หรือ RTSEnable ถูกกำหนดให้เป็น True ก่อนที่จะทำการเปิดพอร์ต ค่าคุณสมบัติของ DTREnable หรือ RTSEnable จะถูเซตเป็น False หลังจากปิดพอร์ตแต่ถ้าเซตเป็น False หลังจากปิดโปรแกรมแล้วค่าที่กำหนดไว้จะเป็นค่าเดิม

1.4) Input

อ่านค่าและลบค่าขบวบข้อมูลจากบัฟเฟอร์ภาครับ

รูปแบบการใชงาน

object.Input

คุณสมบัติ InputLen เป็นตัวกำหนดจำนวนของตัวอักษรที่จะอ่าโดยคุณสมบัติ Input การกำหนดค่าให้ InputLen เท่ากับ 0 เป็นการกำหนดให้คุณสมบัติ Input ทำการอ่านค่าข้อมูลในบัฟเฟอร์รับข้อมูลทั้งหมด

คุณสมบัติ InputMode เป็นตัวกำหนดชนิดของข้อมูลที่คุณสมบัติ Input รับเข้ามา ถ้า InputModeถูกกำหนดเป็น comInputModeText คุณสมบัติ Input จะส่งค่าข้อมูลกลับมาในรูปแบบของข้อความชนิดข้อมูลเป็นแบบ Variant ถ้า InputMode กำหนดเป็น cominputModeBinary คุณสมบัติ Input จะส่งข้อมูลกลับมาในรูปของไบนารี่และชนิดข้อมูลเป็นแบบ Variant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5) InBufferCount

ส่งค่าจำนวนของตัวอักษรที่อยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับ

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

object..InBufferCount [= value]

คำสั่ง InBufferCount จะแสดงค่าจำนวนของตัวอักษรซึ่งรับมาจากภายนอกและยังเก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับ เพื่อให้ผู้ใช้งานอ่านค่าออกไป สำหรับการเคลียร์ค่าบัฟเฟอร์ภาครับทำได้โดยกำหนดให้ InBuffer Count มีค่าเป็น 0

1.6) InBufferSize

กำหนดและคืนค่าขนาดของบัฟเฟอร์ภาครับในหน่วยเป็นไบต์

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

object.InBufferSize [= value]

คำสั่ง InBufferSize ใช้เพื่อกำหนดขนาดของบัฟเฟอร์ภาครับ โดยค่าเริ่มต้นถูกกำหนดไว้ที่ 1,024 ไบต์

1.7) InputLen

กำหนดค่าและคืนค่าจำนวนของตัวอักษรที่อ่านจากบัฟเฟอร์ภาครับ

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

object . InputLen [= value]

ค่าเริ่มต้นคุณสมบัติ InputLen มีค่าเท่ากับ "0"การกำหนดค่าเท่ากับ "0" จะทำให้คำสั่ง Input ของ MSComm อ่านค่าข้อมูลที่อยู่ภายในบัฟเฟอร์ภาครับทั้งหมดถ้าไม่มีข้อมูลอยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับมากว่าจำนวน InputLen คำสั่ง Input จะส่งค่าว่าง (" ") กลับออกมาผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลในบัฟเฟอร์ภาครับได้โดยใช้คุณสมบัติ InBufferCount โดยกำหนดให้มีข้อมูลอยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับก่อนแล้วจึงค่อยอ่านข้อมูลจากบัฟเฟอร์ภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัตินี้มักใช้กับการอ่านข้อมูลจากเครื่องมือหรือเครื่องจักรที่มีการกำหนดค่าขนาดความยาวของข้อมูลเอาไว้แล้ว

1.8) InputMode

กำหนดค่าและคืนค่าชนิดของข้อมูลที่รับโดยคำสั่ง Input

รูปแบบการใช้งานคำสั่ง

object . InputMode [= value]

คุณสมบัติ InputMode ใช้กำหนดว่าข้อมูลชนิดไหนที่รับเข้ามาผ่านคำสั่ง Input โดยข้อมูลจะเลือกได้ 2 ประเภทคือ

ComInputModeText สำหรับข้อมูลที่อยู่ในรูปข้อความตัวอักษรตามมาตรฐาน ANSI โดยจะต้องกำหนดค่าเป็น "0" และค่าเริ่มต้นของการรับค่าข้อมูลก็จะเป็นค่านี้

ComInputModeBinary สำหรับข้อมูลอื่นๆ ซึ่งจะเก็บในรูปไบนารี่รวมกันอยู่เป็นไบต์ข้อมูล

1.9) Output

ใช้ในการส่งขบวนของข้อมูลไปยังบัฟเฟอร์ส่งข้อมูล

รูปแบบการใช้งาน

object . Output [= value]

ค่า Value เป็นค่าของตัวอักษรที่เขียนไปยังบัฟเฟอร์ส่งข้อมูล คุณสมบัติ Output สามารถใช้ในการส่งข้อมูลตัวอักษรหรือข้อมูลไบนารี่ก็ได้ โดยการส่งข้อมูลเป็นรูปแบบตัวอักษรจะต้องกำหนดข้อมูลเป็นแบบ Variant และมีข้อมูลภายในเป็นแบบ String สำหรับการส่งข้อมูลไบนารี่จะต้องกำหนดชนิดของข้อมูลเป็นแบบ Variant และมีข้อมูลภายในเป็นแบบไบต์

2.3.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ I^2C

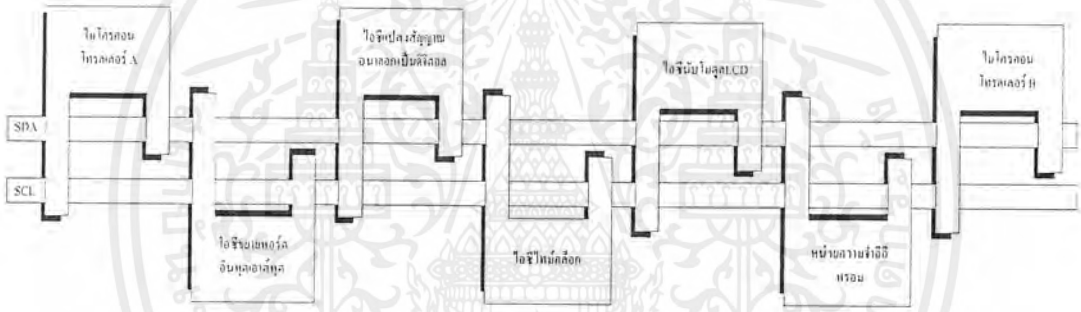
I^2C ย่อมาจาก Inter-IC Communcation หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีโดยบัส I^2Cได้รับการพัฒนาขึ้นโดยฟิลิปส์(Philips)ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อ สั่งงาน และควบคุมภายใต้สัญญาณเพียงสองเส้น เส้นหนึ่งคือ สายข้อมูล อีกเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งคือ สายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์แต่ละตัว จะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสภาวะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว

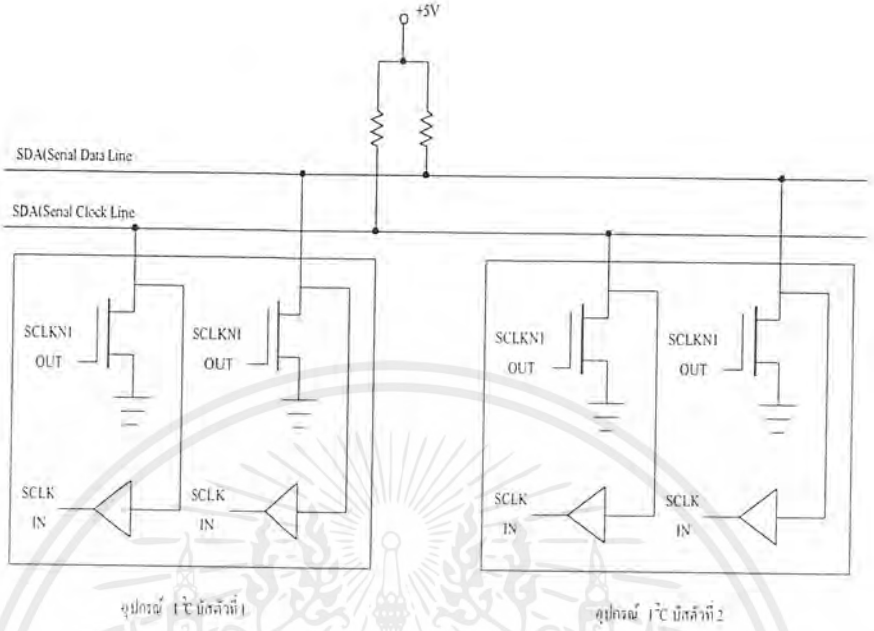
สายข้อมูลบนบัส I^2C มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า สายข้อมูลอนุกรมหรือ SDA(Serial Data Line)ส่วนสายสัญญาณนาฬิกาที่มีชื่อเรียกว่า สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมหรือ SCL (Serial Clock Line) ในการอธิบายต่อไปนี้จะเรียกสายสัญญาณทั้งสองว่า สาย SDAและ SCL

ในรูปที่ 2.43 แสดงผังของการเชื่อต่ออุปกรณ์ต่างๆบนบัส I^2Cจะเห็นได้ว่า อุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมต่อบนบัส I^2C มีหลากหลายไม่ว่าจะเป็นไอซีขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (I/O Expander) ไอซีแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล (ACD) และแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก (DAC)
ไอซีไทม์คล็อก (RTC),ไอซีขับโมดูล LCD, หน่วยความจำอีพรอม และไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.43 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆบนระบบบัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.44 วงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ในระบบบัส I^2C

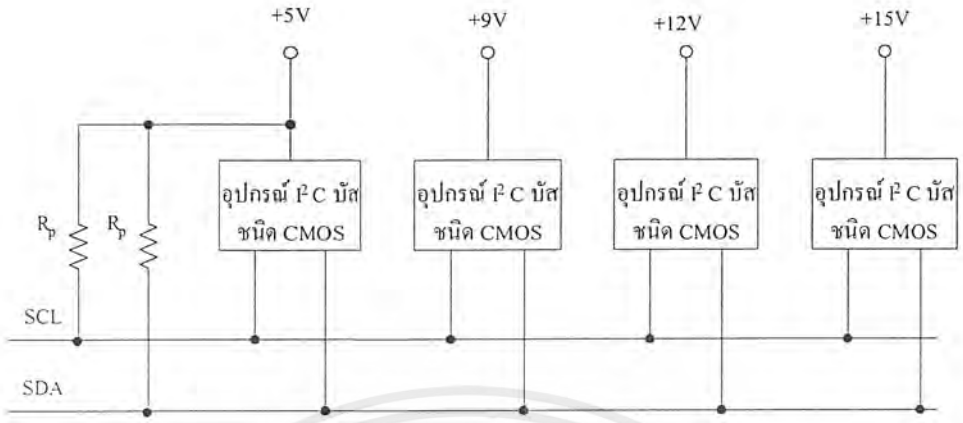
2.3.3 คุณสมบัติทั่วไปของบัส I^2C

สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทางต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัปกับแรงดัน +5V ไว้ตลอดเวลาเพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งานทั้งยังช่วยในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสอง วงจรเอาท์พุตของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I^2C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรเปิด (Open-Drain) หรือคอลเล็กเตอร์เปิด (Open-Colector)

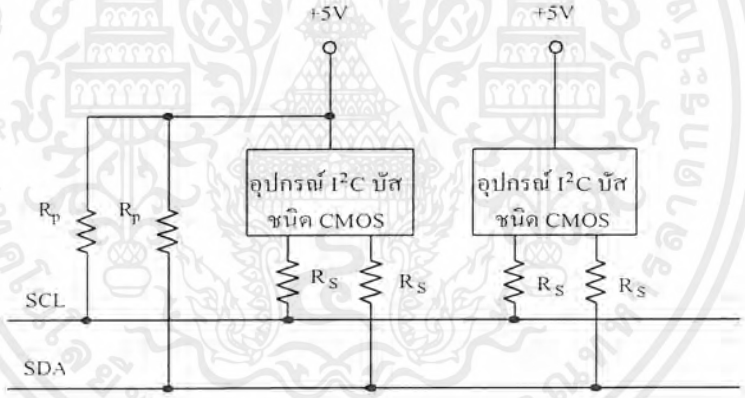
อัตราการถ่ายทอดข้อมูลบนบัส I^2C สูงถึง 100กิโลบิตต่อนาทีในโหมดปกติ (Standard Mode) และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง (Fast Mode) อุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่บนบัส I^2C จะต้องมีค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400 pF การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C ใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 ค่าคือ 7 บิต (7-Bit Addressing)หรือ 10 บิต (10-Bit Addressing)

ข้อเด่นอีกประการหนึ่งของบัส I^2C คือสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากันให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยอุปกรณ์บนบัส I^2C ตัวหนึ่งอาจใช้ไฟเลี้ยง +12 V การต่อร่วมกันบนบัส I^2C สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกับกรณีที่อุปกรณ์ทั้งสองใช้ไฟเลี้ยงเท่ากัน กล่าวคือ ให้ต่อสาย SDAและ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าด้วยกัน และต้องต่อตัวต้านทานพูลอัป (R_p) เข้ากับแรงดัน +5 V ไว้ด้วยเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.45 การต่อตัวต้านทานพูลอัปบนสายสัญญาณในระบบบัส I^2C



รูปที่ 2.46 การต่อตัวต้านทาน R_S เพื่อลดสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่ที่อาจเข้ามาในบัส I^2C

ในกรณีที่อาจมีแรงดันไฟกระชากขนาดใหญ่ปะปนเข้ามาในบัส I^2C ที่ขา SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวต้องต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขา SDA และ SCL เรียกว่า R_S ก่อนต่อเข้าสู่บัส I^2C

หลักการของบัส I^2C

บัส I^2C ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้นคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส หรือเรียกว่า โปรโตคอล (Protocol) เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่า ขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่า ตัวส่ง (Transmitter)

อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูล เรียกว่าตัวรับ (Receiver) ในอุปกรณ์บนบัส I^2C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับเพียงอย่างเดียวจะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I^2C ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว

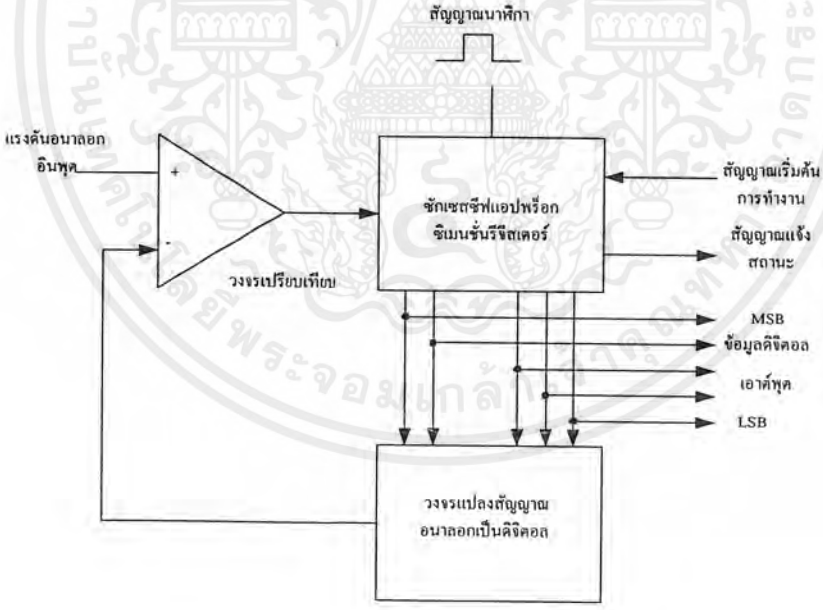
อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัส I^2C เรียกว่า มาสเตอร์ (Master)

อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I^2C เรียกว่า สเลฟ (Slave)

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I^2C คือ

- การถ่ายทอดข้อมูลขณะเกิดขึ้นเมื่อบัสว่างเท่านั้น
- ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูลเมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะเป็นลอจิกสูงส่งข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้นสัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

การแปลงสัญญาณแอนะลอกดิจิตอลแบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น (Sucessive Approximation ADC)



รูปที่ 2.47 ทำงานของวงจร ADC ซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น

การทำงานของ ADC การแปลงสัญญาณแอนะลอกดิจิตอล (ADC) ที่ได้รับความนิยมสูงและมีประสิทธิภาพดีคือการแปลงแบบ ซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น ถ้าจะแปลเป็นไทยคือการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงแบบประมาณค่าใกล้เคียงไดอะแกรมการทำงานของกระบวนการ ADC แบบนี้แสดงในรูป 2.47

วงจรADC แบบ ซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่นนี้จะใช้รีจีสเตอร์เลขฐานสองหรือไบนารีรีจีสเตอร์ในการส่งข้อมูลดิจิตอลของวงจร DAC ภายในแต่ละบิตของรีจีสเตอร์จะเซตและรีเซตโดยการควบคุมจากวงจรควบคุม

กำหนดให้แรงดันแอนะลอกอินพุต (Vin) มีค่า 13.5 V

1. ส่งสัญญาณเริ่มต้นการทำงานมายัง ซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่นรีจีสเตอร์

2.ขณะนี้สถานะของรีจีสเตอร์จะไม่ว่างสัญญาณนาฬิกาลูกแรกถูกส่งเข้ามาเพื่อกำหนดค่าของรีจีสเตอร์เท่ากับ 0000

3. เอาท์พุตของ DAC จะเป็น 0V ส่งไปในวงจรเปรียบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบกับ Vin ในขณะนี้จะได้เอาท์พุตเท่ากับ –5 V กำหนดลอจิก “0”

4. เมื่อสัญญาณนาฬิกาลูกต่อไปเข้ามา จะทำการเซตบิต MSB ของรีจีสเตอร์เป็น”1”

5. ในกรณีนี้เป็น ADC ขนาด 4 บิต ดังนั้นการที่บิต MSB เซต จะทำให้วงจร DAC แปลงค่าเป็นแรงดัน 8 V นำไปเปรียบเทียบที่วงจรเปรียบเทียบแรงดัน แต่ก็ยังน้อยกว่า Vin ดังนั้นเอาท์พุตของวงจรเปรียบเทียบยังคงเป็น “0” ทำให้รีจีสเตอร์ยังคงค่าบิต MSB ให้เป็น “1” ต่อไป

6. ต่อมาบิต B2 จะเซตซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 4 V นำไปรวมกับค่าของบิต MSB ที่มีอยู่ 8 V เช่น 12 V นำไปเปรียบเทียบกับ Vin ก็ยังน้อยกว่ารีจีสเตอร์จึงยังคงค่า B2 ไว้ที่ “1” เช่นกัน

7. ต่อมาบิต B1 จะเซตทำให้แรงดันเอาท์พุตมา DAC กลายเป็น 8 + 4 + 2 = 14 V ซึ่งมากกว่า Vin ทำให้วงจรเปรียบเทียบเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็น “1” ซึ่งจะส่งสัญญาณมาควบคุมให้ B1 กลายเป็น “0”

8. เมื่อบิต LSB ถูกเซต จะมีค่าแรงดัน 1 V เข้ามารวมกับค่าของ B3, B2 และ B1 เป็น 8 + 4 + 0 + 1 = 13V นำไปเปรียบเทียบ กับ Vin ปรากฏว่าน้อยกว่า Vin ทำให้ที่บิต B0 หรือ LSB มีค่าเป็น “1”

9. ขณะนี้ทุกบิตในรีจีสเตอร์ถูกนำมาแปลงค่าเรียบร้อยแล้ว ทำให้สถานะของรีจีสเตอร์กลับมาเป็น พร้อมทำงาน (Ready)

10. ข้อมูลดิจิตอลที่ได้จากการ ADC แบบนี้ จะมีค่า 1101 หรือ 13 V ซึ่งใกล้เคียงกับ Vin 13.5V มากที่สุดถ้าหากรีจีสเตอร์มีจำนวนบิตมากกว่านี้ ความละเอียดของข้อมูลที่อปลงได้จะมีความใกล้เคียงมากขึ้น ช่วงเวลาของการแปลงสัญญาณจะเริ่มต้นขึ้นตั้งแต่สัญญาณนาฬิกาลูกแรกถูกส่งเข้าไปเตรียมระบบ ไปจนถึงเมื่อสภาวะของรีจีสเตอร์กลับมาเป็น พร้อมทำงาน อีกครั้งหนึ่งซึ่งจะต้องใช้จำนวนสัญญาณนาฬิกาเท่ากับ n+1 พัลซ์ โดย n เท่ากับจำนวนบิตของรีจีสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 ความเที่ยงตรงของวงจร ADC

เป็นการเปรียบเทียบแรงดันแอนะลอกของวงจร ADC กับแรงดันที่ควรจะเกิดขึ้นจริง ยกตัวอย่างที่ข้อมูลดิจิตอลสูงสุดของวงจร ADC ขนาด 8 บิตเมื่อเทียบเป็นแรงดันแอนะลอกควรมีค่าเท่ากับ 50000 V แต่จากการคำนวณในตัวอย่างก่อนหน้านี้ได้ค่าแรงดัน 49804 V นั่นคือเกิดความผิดพลาดไป 0.0195 V หรือ 19.5mV แต่การบอกค่าความเที่ยงตรงของวงจร ADC มักระบุเป็นจำนวนที่เทียบกับ VLSB ดังนั้นในวงจร ADC ขนาด 8 บิตที่ยกเป็นตัวอย่างนี้จึงมีค่าความเที่ยงตรงเป็น ±1/2LSB

2.3.6 ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณ (Conversion Time)

เป็นค่าของเวลาทั้งหมดที่วงจร ADC แบบวงจรนับแรมป์และแบบซักเซสซีฟแอปพล็อกซิเมชั่นใช้ในการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลจนเสร็จสิ้น พารามิเตอร์ตัวนี้มักจะปรากฏในคุณสมบัติของไอซีที่ทำงานเป็นวงจร ADC เมื่อไอซีทำการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นลง จะส่งสัญญาณที่เรียกว่า EOC (End Of Conversion)ออกมา

ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณของวงจร ADC จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของวงจร, ค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณและขนาดของสัญญาณแอนะลอกอินพุต

2.3.7 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591

ระบบการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I^2C ทำให้ขยายสัญญาณเพียง 2 เส้น ทั้งยังสามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุด 8 ตัว ทำให้ได้วงจร ADC รวมสูงถึง 32 ช่อง และวงจร DAC รวม 4 ช่อง ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง มีรายละเอียดคุณสมบัติทางเทคนิคดังนี้

- ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว
- ทำงานที่แรงดัน 2.5V ถึง 6V
- กินกระแสขณะอยู่ในสภาวะสแตนบายต่ำ
- ติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I^2C
- สามารถเลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0, A1, A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้สูงถึง 8 ตัว
- อัตราการสุ่มข้อมูลขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I^2C
- วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลสามารถรับสัญญาณแอนะลอกได้ 4 ช่องทั้งยังเลือกได้ว่าให้ทำงานแบบแยกช่องหรือทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียล
- การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตอัตโนมัติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สัญญาณแอนะลอกมีระดับแรงดันตั้งแต่ V_{SS} ไปจนถึง V_{DD}
- วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบ ซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่นขนาด 8 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกขนาด 8 บิต1 ช่อง

PCF8591สามารถทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต 4 ช่องและทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกได้ในคราวเดียวกันด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I^2C ทำให้สามารถต่อพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุด 8 ตัว รองรับการอ่านค่าสัญญาณแอนะลอกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่อง และสามารถส่งสัญญาณแอนะลอกเอาต์พุตสูงสุดได้ถึง 8 ช่อง ด้วยการกำหนดแอสเดรสจากขา A0,A1 และ A2

รายละเอียดขาต่างๆ มีดังนี้

ขา AN0-AN3 (ขา1-4) เป็นขาอินพุตสำหรับป้อนสัญญาณแอนะลอกที่ต้องการแปลงค่า

ขา A0-A2 (ขา5-7) เป็นขาสำหรับกำหนดข้อมูลแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์ ปกติต่อลงกราวด์ แต่ถ้ามีการใช้งาน PCF8591มากกว่า 1ตัว ต้องกำหนดการต่อขา A0-A2 ของ PCF8591 ให้ไม่ตรงกัน จึงทำให้สามารถต่อใช้งานร่วมกันได้สูงสุด 8 ตัว

ขา Vss (ขา 8) เป็นขาต่อกราวด์

ขา SDA,SCL (ขา 9 และ 10) เป็นขาเชื่อมต่อระบบบัส I^2C

ขา OSC (ขา 11) เป็นขาสำหรับต่อกับสัญญาณนาฬิกาภายนอกเมื่อขา EXT ต่อกับไฟ +5V และจะทำงานเป็นขาเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาถ้าขา EXT ต่อลงกราวด์

ขา EXT (ขา 12) เป็นขาสำหรับเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ถ้าต่อไฟ +5 V จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก โดยต่อสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ถ้าต่อขานี้ลงกราวด์ จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายใน

ขา AGND (ขา 13) เป็นขากราวด์ของแรงดันอ้างอิง ปกติต่อลงกราวด์

ขา V_{REF} (ขา 14) เป็นขาสำหรับป้องกันแรงดัน ปกติต่อเข้าไฟเลี้ยง +5V

ขา AOUT (ขา 15) เป็นขาเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

ขา V_{DD} (ขา 16) เป็นขาต่อไฟเลี้ยง จ่ายได้ตั้งแต่ +2 ถึง +6V ปกติใช้ +5V

รายละเอียดฟังก์ต่างๆ ของ PCF8591

ตำแหน่งแอดเดรส

ในระบบบัส I^2C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจนถ้าเป็นการอ้างถึงแบบ 7 บิต ข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะเป็นค่าแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์ตัวนั้นๆ ที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PCF8591จะมีค่าเท่ากับ 1001 ข้อมูล 3 บิตถัดมาจะเป็นค่าแอดเดรสที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการติดต่อด้วยในกรณีที่มีการต่อใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซีตัวนั้นๆ

ข้อมูลควบคุม

หลังจากส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสให้แก่ PCF8591 แล้วต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วยเพื่อกำหนดคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกภายใน PCF8591 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตดังรูปที่

บิต 6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับอีนาเบิลขาแอนะลอกเอาต์พุตเมื่อต้องการอีนาเบิลต้องกำหนดให้ขานี้เป็น “1”

บิต 4 และบิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณแอนะลอกอินพุตที่ป้อนให้แก่ PCF8591

บิต 2 ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตแอนะลอกว่าจะเป็นการอ่านจากเพี่ยงอินพุตเดียวหรืออ่านแบบเรียงลำดับแบบทุกอินพุต ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1”

บิต 0 และบิต 1 ใช้สำหรับกำหนดช่องอินพุตแอนะลอกที่ต้องการอ่าน ถ้ากำหนดให้บิต 2 เป็น “1” หลังจากอ่านค่าของบิต “0” และบิต “1” แล้วในการอ่านครั้งต่อไปจะเป็นการอ่านค่าอินพุตจากช่องที่ 1

ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจีสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591

เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF8591ครั้งแรกบิตต่างๆของข้อมูลภายในรีจีสเตอร์ควบคุมจะเป็น “0”

ออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน PCF8591จะสร้างสัญญาณสำหรับการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล เมื่อต้องการใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ภายในขา EXT ต้องต่อลงกราวด์ถ้าต้องการใช้ออสซิลเลเตอร์จากภายนอกขา EXT ต้องต่อเข้ากับไฟบวก และป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ป้อนให้กัยออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 1.25 MHz

DS1307 ไอซีสร้างฐานเวลาจริงหรือรีไทม์คล็อก (RTC)

คุณสมบัติทางเทคนิค

- เป็นไอซีรีลไทม์คล็อกให้ข้อมูลตั้งแต่วินาทีจนถึงปี รวมถึงการปรับวันในปีอธิกสุรธิน ด้วยสามารถให้ข้อมูลเวลาไดอย่างเที่ยงตรงถึงปีคริสศักราช 2100
- มีหน่วยความจำนอนโวลาไทล์แรม56ไบท์อยู่ภายในสามารถใช้เก็บข้อมูลทั่วไปได้
- ใช้การเชื่อมต่อระบบบัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีวงจรตรวจจับไฟเลี้ยงต่ำหรือหายไปอย่างอัตโนมัติและสามารถรักษาข้อมูลเวลาไว้ได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยงไอซี

รานละเอียดการต่อใช้งานของ DS1307

V_{CC},GND(ขา 8,4) ต่อกับไฟเลี้ยง +5V

V_{BAT} (ขา3) ใช้ต่อกับแบตเตอร์รี่ 3V เพื่อรักษาการทำงานของวงจรสร้างฐานเวลาของ DS1307 ให้คงที่อยู่ต่อไปแม้ว่าไม่มีไฟเลี้ยงจ่ายให้แก่ DS1307 ชนิดของแบตเตอรี่แบบลิเธียม ซึ่งมีความจุ 40mAhr หรือมากกว่า จะสามารถรักษาข้อมูลได้นาน 10 ปีที่อุณภูมิ 25 องศาเซลเซียส

SDA,SCL (ขา 5 และ 6) เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์บนระบบบัส I^2C

SQW/OUT (ขา 7)ทีขานี้จะมีสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมส่งออกมา โดยสามารถเลือกความถี่ได้ 1KHz, 4.096KHz, 8.192KHz และ 32KHz ในการใช้งานต้องต่อตัวต้านทาน 1k พูลอัปที่ขานี้ด้วย

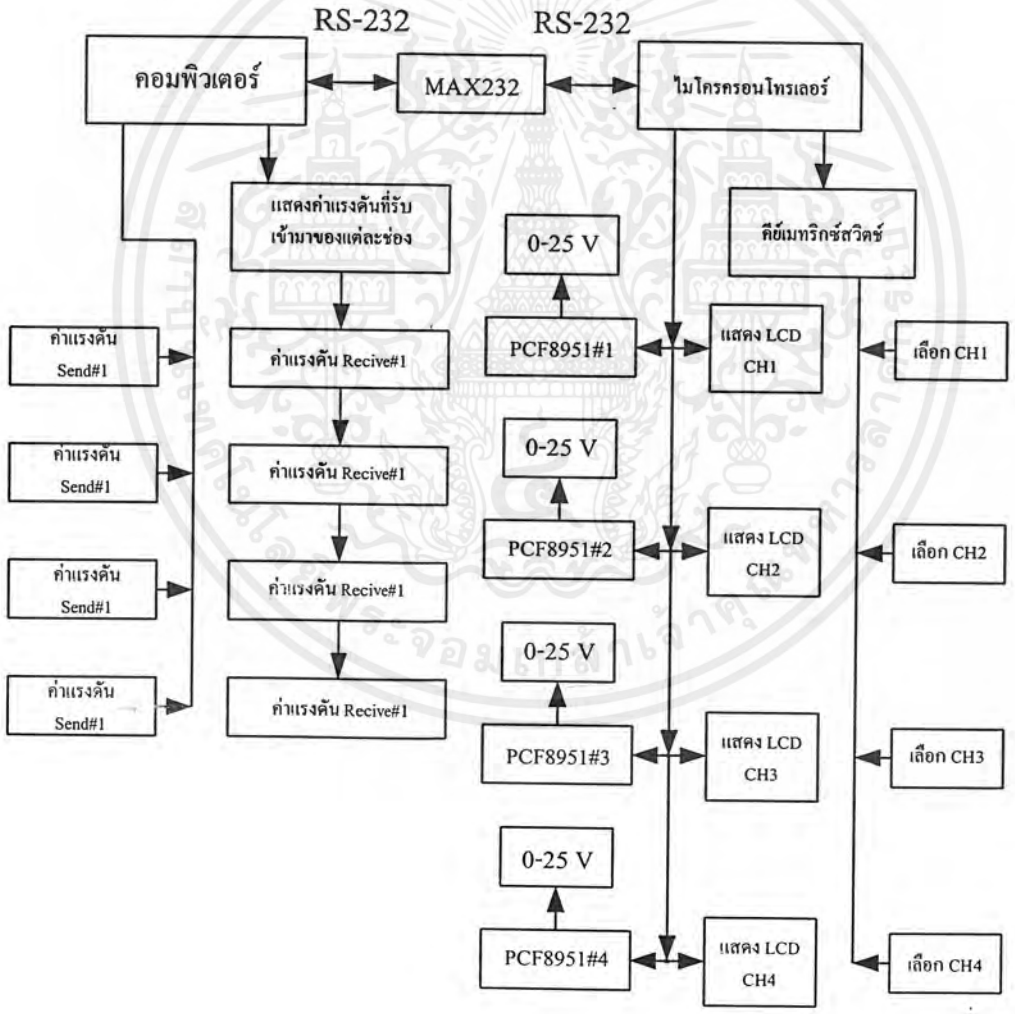
X1,X2 (ขา 1 และ 2) ใช้ต่อกับคริสตอลความถี่มาตรฐาน 32.768kHz เพื่อใช้เป็นฐานเวลาในการสร้างค่าเวลาจริงในการใช้งานต้องต่อคริสตอลเข้ากับขาทั้งสองนี้และแต่ละขาต้องต่อตัวเก็บประจุค่าต่ำๆประมาณ 15pF คร่อมกับขากราวด์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้างและการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟดิจิตอลควบคุมผ่านทาง PC โดยสามารถแสดง โครงสร้าง การทำงานของแหล่งจ่ายไฟดิจิตอลควบคุมผ่านทาง PC ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของวงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบ, การสร้าง และการทำงานของระบบ ของส่วนวงจร

3.2 การออกแบบวงจร

การออกแบบชุดแหล่งจ่ายไฟดิจิตอลควบคุมผ่านทาง PC จะแยกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของแหล่งจ่ายไฟ,ส่วนของวงจรควบคุมโดยไมโครคอนโทรเลอร์และส่วนของวงจรควบคุมโดยไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งมีการทำงานดังนี้

3.2.1 แหล่งจ่ายไฟ

ในส่วนนี้จะประกอบด้วยภาคต่างๆ คือภาคเรกูเลเตอร์, ภาคสวิตชิ่งเลือกขดหม้อแปลง และภาคช็อตเอาต์พุต

1) ภาคเรกูเลเตอร์

ในการออกแบบจะใช้วงจรเรกูเลเตอร์แบบอนุกรม โดยจะใช้ออปแอมป์เบอร์ CA3130 เป็นตัวควบคุมแรงดัน โดยพื้นฐานจะใช้วงจรป้อนกลับแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting) โดยมีเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขับกระแสออกทางเอาต์พุต ในการควบคุมจะรับแรงดันควบคุมจาก วงจรแปลงดิจิตอลเป็นแอนะลอก เข้าที่ขาสามของออปแอมป์ ส่วนการควบคุมกระแสจะใช้การเปรียบเทียบแรงดันระหว่างขาสองและขาสามของออปแอมป์ของไอซีสองโดยจะมีแรงดันอ้างอิงสูงสุดป้อนเข้าที่ขา 3 ของออปแอมป์

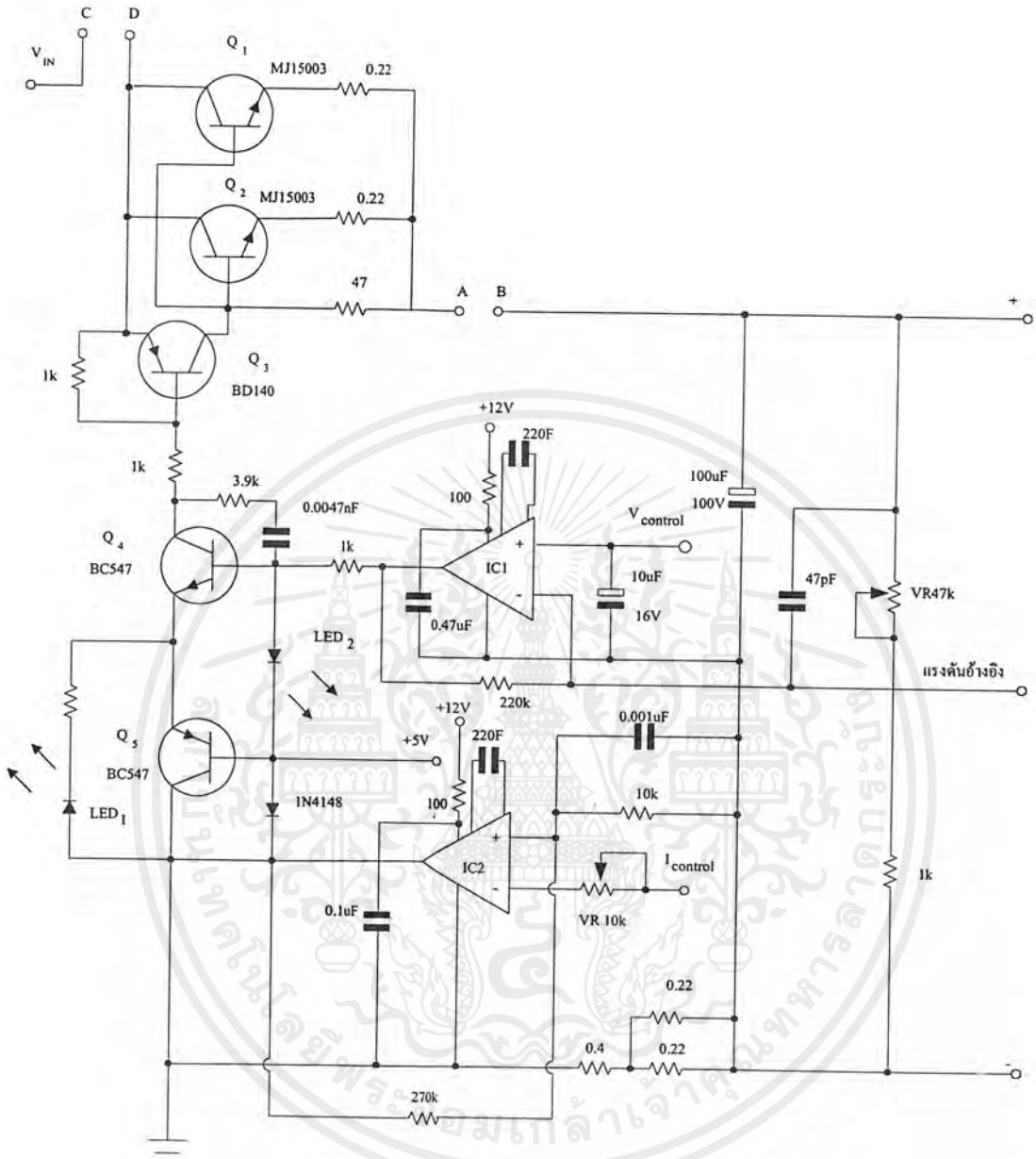
2) ภาคสวิตชิ่งเลือกขดหม้อแปลง

จากที่ได้ออกแบบเนื่องจากใช้วงจรเรกูเลเตอร์แบบอนุกรม เมื่อป้อนแรงดันที่อินพุตมาก เมื่อปรับแรงดันออกทางเอาต์พุตน้อยก็จะทำให้มีแรงดันตกคร่อมในวงจรวงจรจะพบว่าทรานซิสเตอร์กำลังร้อนมาก ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบเลือกขดหม้อแปลงเพื่อลดปัญหาเรื่องความร้อน โดยในการออกแบบจะให้ออปแอมป์เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันที่เอาต์พุต

3) ภาคป้องกันการลัดวงจรทางด้านเอาต์พุต

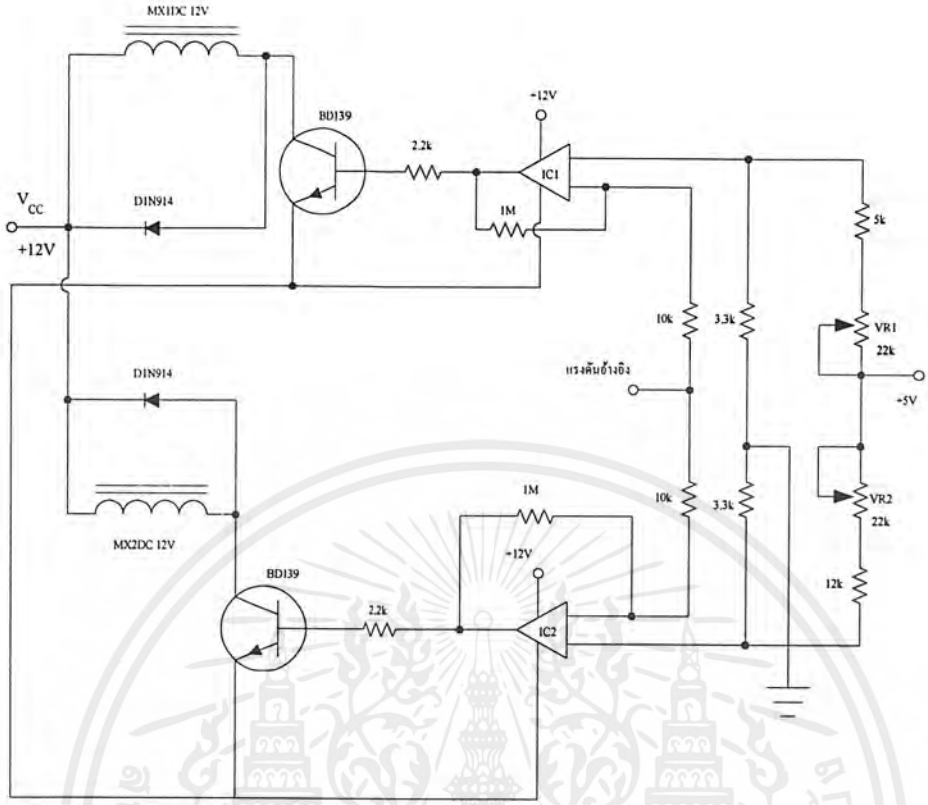
ในการใช้งานเครื่องจ่ายไฟในบางครั้งหลีกเลี่ยงการช็อตเอาต์พุตไม่ได้ เพื่อที่จะเป็นการป้องกันตัววงจรจาการช็อตเอาต์พุตโดยลักษณะการทำงานก็จะมีสวิตช์รีเซตกดเมื่อมีการช็อตเกิดขึ้นที่เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

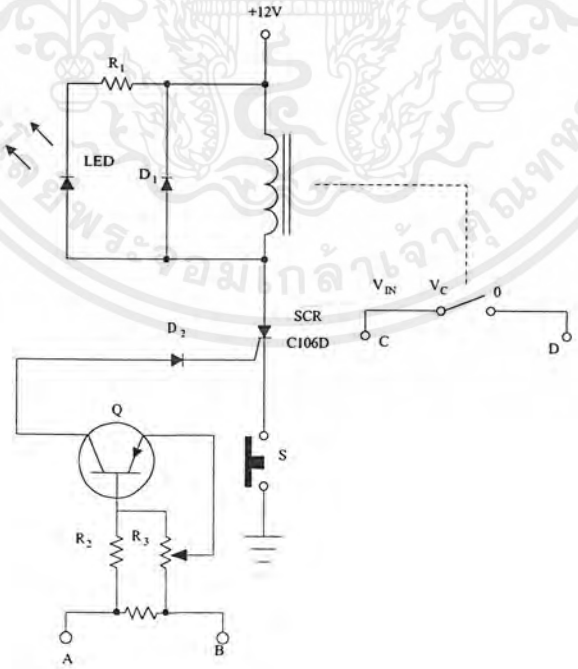


รูปที่ 3.2 วงจรเรกูเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การต่อวงจรสวิตชิ่งเลือกขดหม้อแปลง



รูปที่ 3.4 การต่อวงจรป้องกันแรงดันเกินทางเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนของวงจรควบคุมนี้จะแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ ต่างๆ เพื่อที่จะแยกอธิบายดังนี้คือ ส่วนของวงจรควบคุมหลัก, ส่วนของวงจรรับข้อมูลเมทริกซ์สวิตช์, ส่วนแสดงผล LCD, ส่วนกำเนิดสัญญาณเสียง, พอร์ตอนุกรมและวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก ซึ่งจะมีการทำงานดังนี้

1) ส่วนของวงจรควบคุม

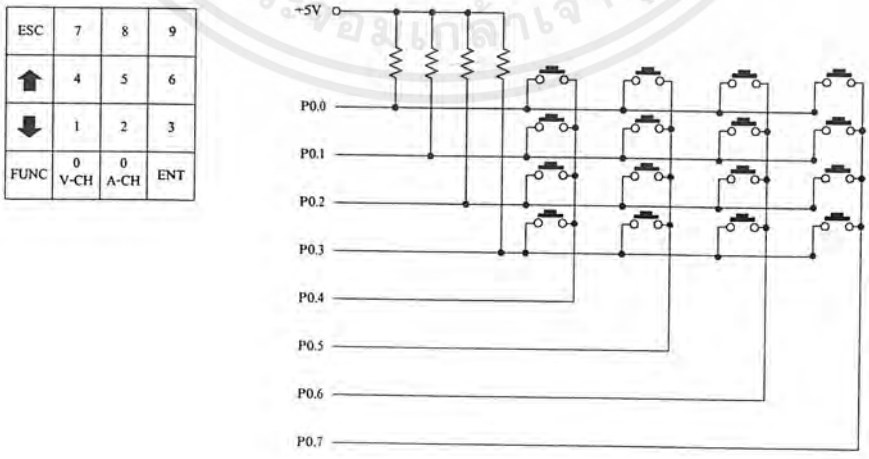
ส่วนของวงจรควบคุมจะทำหน้าที่รับคำสั่งจากคีย์บอร์ดแล้วทำตามคำสั่งรวมทั้งประมวลผลและส่งข้อมูลไปแสดงผลที่ LCD รวมทั้งการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในวงจรนี้ได้ใช้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C51 เป็นตัวประมวลผลคำสั่งที่รับมาจากคีย์บอร์ดและพอร์ตอนุกรม เมื่อทำการประมวลผลแล้วส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์แสดงผล LCD หลังจากนั้นก็รอรับข้อมูลหรือไม่หากมีก็ทำการแสดงผลออกทาง LCD อีกครั้ง

2) ส่วนของวงจรรับข้อมูลเมทริกซ์สวิตช์

ในส่วนของวงจรรับข้อมูลเมทริกซ์สวิตช์ จะทำหน้าที่ในการรับคำสั่งในการเลือกใช้งานและการเลือกแรงดันที่ต้องการใช้งาน

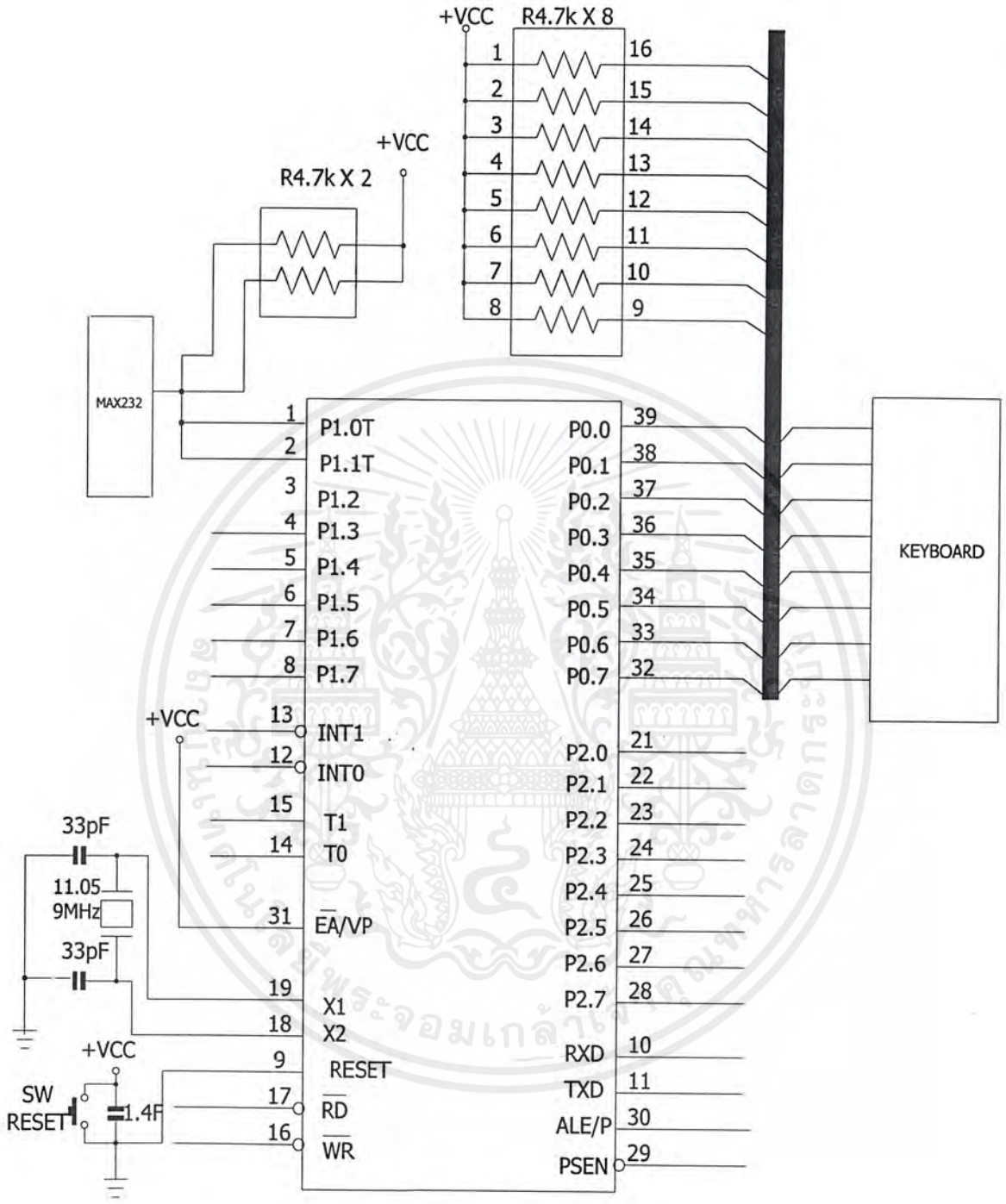
คีย์เมทริกซ์สวิตช์มี 16 ปุ่ม จะสามารถแบ่งการเดินสายออกเป็นแนวนอนและแนวตั้งของแต่ละปุ่ม เมื่อกดคีย์เมทริกซ์จะมีการเลือกช่องในการใช้งานโดยการกด V-CH แล้วกดตัวเลข 1-4 ได้ผลเป็นช่องที่ 1-4 ตามที่กด และ กด A-CH ตามด้วยตัวเลข 1-4 เป็นการเลือกช่องในการควบคุมกระแสตามต้องการ แล้วเลือกคำสั่งในการใช้งาน

การทำงานของคีย์เมทริกซ์จะเริ่มรับข้อมูลทาง 4 บิตบนของ PO และ 4 บิตบนจะรอรับข้อมูล เมื่อผู้ใช้กดสวิตช์ตัวใดตัวหนึ่งก็จะส่งข้อมูลไปยัง PO ของ 89C51



รูปที่ 3.5 วงจรของเมริกซ์สวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ส่วนของการแสดงผลที่ LCD

ในส่วนของการแสดงผลที่ LCD นี้ ทำหน้าที่แสดงผลข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยจะแสดงผลแรงดันและกระแส

การทำงานของวงจรแสดงผล เริ่มจากการส่งข้อมูลกำหนดการอ่านหรือเขียนนั้นเป็นข้อมูลหรือคำสั่งแล้วส่งข้อมูลไปยัง P2 ของ 89C51 เป็นการทำงานแบบ 8 บิต สามารถควบคุมการแสดงผลได้ 4 บรรทัด โดยสามารถปรับความสว่างหน้าจอ LCD ได้ตามต้องการ

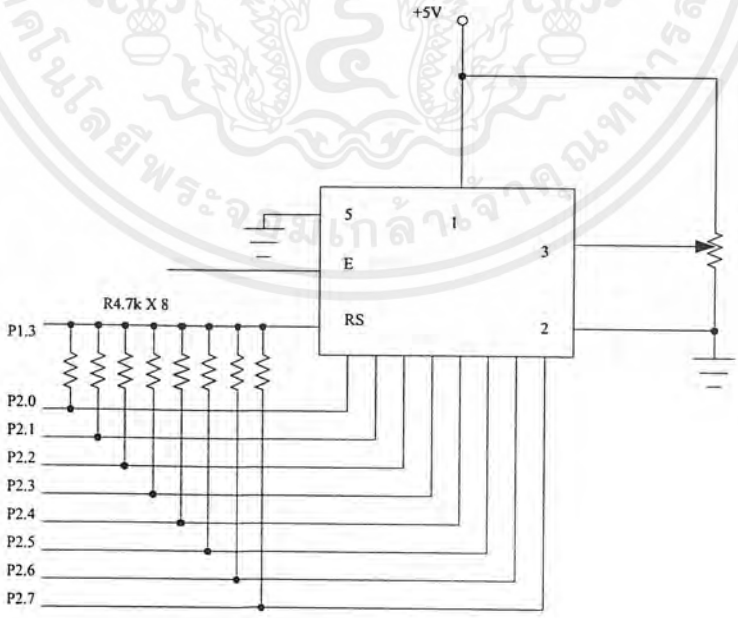
4) ส่วนกำเนิดสัญญาณเสียง

ในส่วนกำเนิดสัญญาณเสียงนี้เมื่อทำการกดคีย์เมทริกสวิตช์จะมีสัญญาณเสียงออกมาทางบัซเซอร์ โดยสามารถสั่งให้มีเสียงหรือไม่มีก็ได้

การควบคุมสัญญาณเสียงจะมาจาก P1.4 ของ 89C51 ไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ C485 เกิดสัญญาณเสียงเมื่อมีการกดคีย์สวิตช์

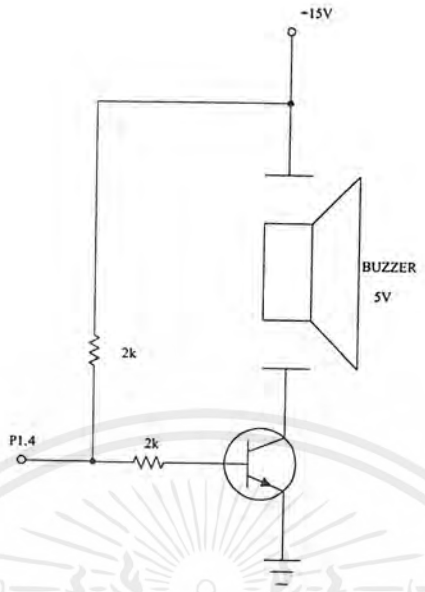
5) ภาคจ่ายไฟ

ส่วนของภาคจ่ายไฟนั้นจะใช้ไฟดีซี 12 โวลต์ แล้วผ่านไอซีเรกูเลเตอร์ LM317T ทำการแปลงจากไฟดีซี 12 โวลต์ ให้เป็นไฟดีซี +5.1 โวลต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรควบคุม และเป็นแรงดันอ้างอิงให้กับวงจร เปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก และ เปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล โดยแรงดัน 5.1 โวลต์จะสามารถปรับได้จาก VR1 ตามต้องการ

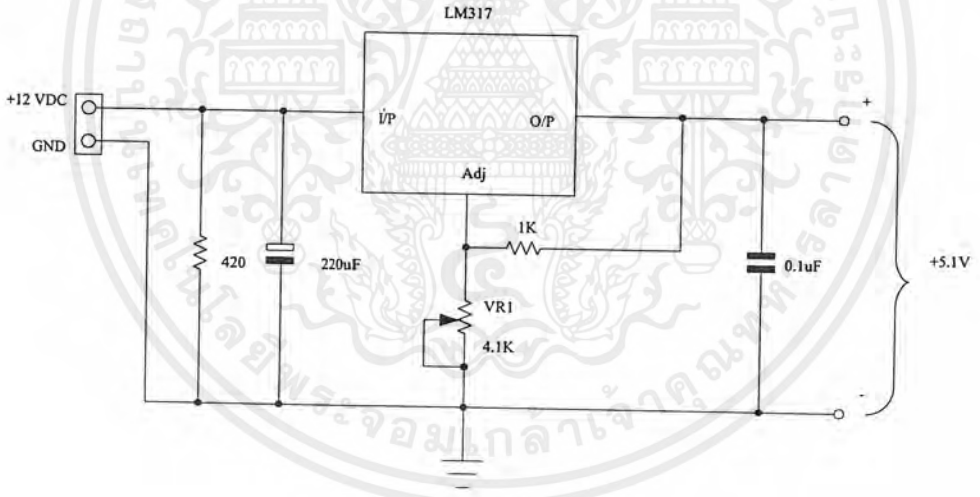


รูปที่ 3.7 การต่อ LCD เข้ากับพอร์ต P1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรกำเนิดสัญญาณเสียง



รูปที่ 3.9 วงจรภาคจ่ายไฟ

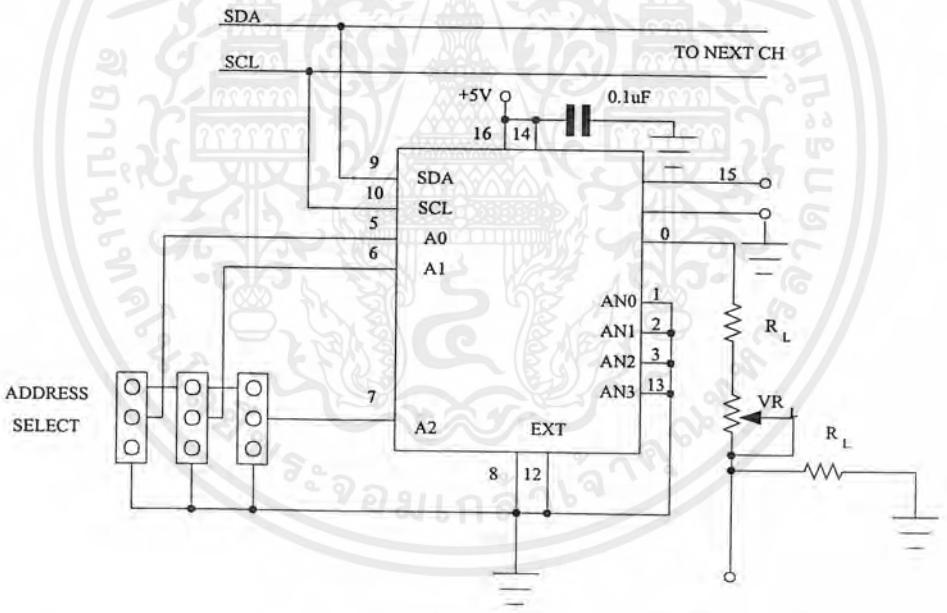
6) วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

PCF8951 เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก 4 ช่อง และแอนะลอกเป็นดิจิตอล 4 ช่องซึ่งในที่นี้ใช้แอนะลอกเป็นดิจิตอล 1 ชุดเพื่อใช้วัดแรงดันเอาต์พุตโดย R1, VR1, R2 เป็นส่วนที่ลดระดับแรงดันให้เป็นแรงดัน 0-5.1 โวลต์ เปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล จะแปลงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

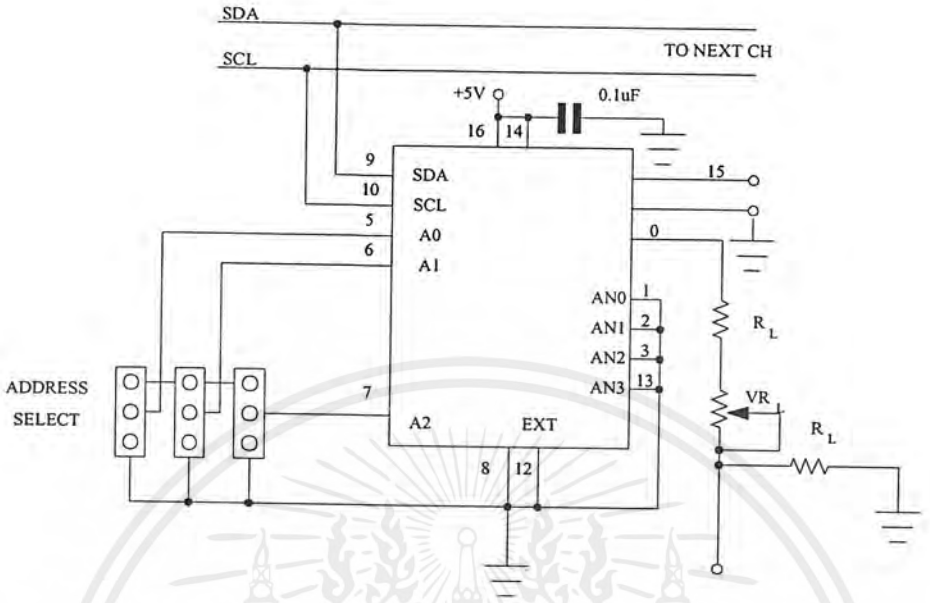
ระดับ 0-255, 8บิต ส่วน เปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก จะแปลงจากสัญญาณดิจิตอล 0-255 เป็นแรงดัน 0.51 โวลต์ แล้วนำแรงดันไปขยาย 5 เท่าโดยจะส่งออกไปยังขาแอนะลอกเอาต์พุตโดย PCF1 จะเป็นส่วนควบคุมแรงดัน และ PCF2 จะเป็นส่วนควบคุมกระแส

การทำงานของ PCF8951 โดยเริ่มต้นจะจัดการกับขาแอดเดรส โดยสามารถติดต่อได้สูงสุด 8 ตัว ในที่นี้ใช้แหล่งจ่ายไฟ 4 แชลแนล แต่ละแชลแนลใช้ PCF8951 2 ตัว โดยแอดเดรสจะเรียงกันไปเช่น 00-07 เซตตามขา A0, A1, A2 โดย A2 จะเป็น MSB และ A0 จะเป็น LSB การติดต่อกับ PCF8951 จะติดต่อแบบอนุกรม โดยมีขา SDA และ SCL เป็นสัญญาณนาฬิกาการติดต่อเป็น I^2C มีแอดเดรสของ PCF8951 แต่ละตัว การติดต่อจะต้องอ้างแอดเดรสก่อนแล้วเขียนข้อมูลคำสั่งลงไปว่าจะอ่านหรือเขียน การเขียนเป็นการเขียนข้อมูลลงไปใน เปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก ข้อมูลจะถูกส่งออกเป็นสัญญาณแอนะลอก 0-5 โวลต์, การอ่านจะอ่านจาก เปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล แล้วแปลงจากแอนะลอกเป็นดิจิตอลเพื่อนำไปประมวลผลแสดงออกทาง LCD ต่อไป



รูปที่ 3.10 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกที่ใช้ควบคุมแรงดัน

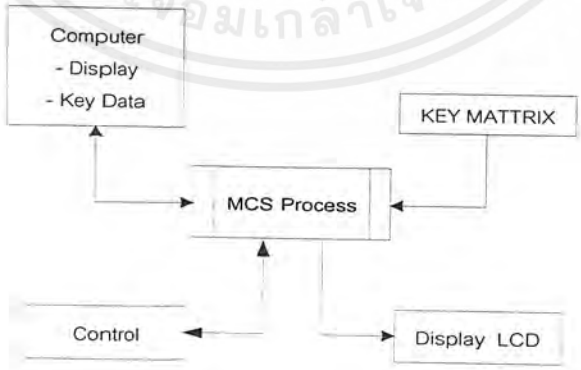
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกที่ใช้ควบคุมกระแส

3.2.3 ส่วนของการควบคุมโดยไมโครคอมพิวเตอร์

1) ขั้นตอนในการติดต่อระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์



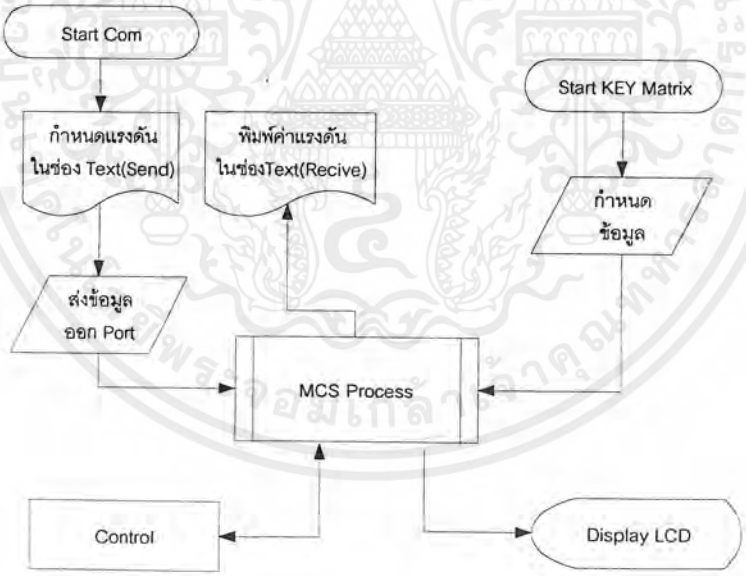
รูปที่ 3.12 ขั้นตอนในการติดต่อระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางคีย์เมทริกซ์สวิตซ์ และข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม จากพอร์ตอนุกรม ซึ่งทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะให้ไมโครคอนโทรเลอร์ได้นำข้อมูลไปแสดงผลออกทางอุปกรณ์ LCD และจะส่งข้อมูลที่ได้รับกลับไปยังไมโครคอมพิวเตอร์อีกครั้งหนึ่งซึ่งจะเป็นค่าจริง หลังจากนั้นก็จะส่งข้อมูลมาที่ส่วนของวงจรควบคุม โดยการกำหนดค่าแรงดันเกิดขึ้นได้ 2 กรณีดังรูป

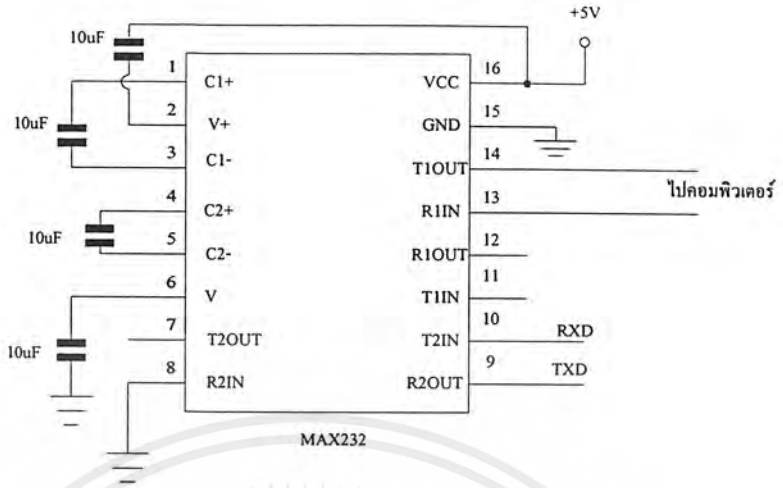
กรณีแรก เป็นการกำหนดแรงดันจากไมโครคอมพิวเตอร์ ค่าของแรงดันก็จะถูกส่งมายังไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล และทำการประมวลผลแล้ว ก็จะนำข้อมูลมาแสดงผลออกทางอุปกรณ์ และจะส่งกลับไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นก็ส่งมูลมาที่ส่วนของวงจรควบคุม

กรณีที่สอง เป็นการกำหนดแรงดันจากคีย์เมทริกซ์สวิตช์ ค่าของแรงดันก็จะถูกอ่านเข้าไปเก็บไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูล และทำการประมวลผลแล้ว ก็จะนำข้อมูลมาแสดงผลออกทางอุปกรณ์ และจะส่งกลับไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นก็ส่งมูลมาที่ส่วนของวงจรควบคุม



รูปที่ 3.13 การติดต่อข้อมูลของไมโครคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 การต่อวงจรติดต่อข้อมูลกับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

เพื่อให้ง่ายในการทดลองและการตรวจสอบการทำงานของระบบจึงได้แบ่งการทำงานออกเป็นส่วนคือ

4.1 การทดลองการป้อนค่าแรงดันออกทางเอาต์พุต

4.1.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1) กดคีย์ โดยกด ● แล้วตามด้วย ช่องที่ต้องการ (1 - 4) เพื่อเป็นการเลือก ช่องที่ต้องการ

2) กด Func แล้วกด ค่าแรงดันตามตารางที่ 4.1

3) อ่านค่าที่แสดงทางหน้าจอ LCD ผลที่ได้บันทึกลงในตาราง 4.1

ช่องที่	ค่าแรงดันที่ป้อน	ค่าแรงดันแสดงที่ LCD
1	00.1	00.1
2	05.0	05.0
3	18.0	18.0
4	20.0	20.0

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าแรงดันที่ป้อนกับค่าแสดงที่ LCD

4.1.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองในส่วนของการป้อนค่าและแสดงผลทาง LCD จะได้ดังตารางที่ 4.1 และการใช้งานจริงจะต้องป้อนในลักษณะนี้

4.2 การทดลองการจ่ายแรงดันออกทางเอาต์พุต

4.2.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1) ป้อนค่าแรงดันตามตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ใช้ดิจิตอลมิเตอร์วัดค่าแรงดัน ผลที่ได้บันทึกลงในตาราง 4.2

ค่าแรงดันที่วัดได้ / ค่าแรงดันที่ป้อน(V)	ช่องที่ 1 (V)	ช่องที่ 2 (V)	ช่องที่ 3 (V)	ช่องที่ 4 (V)	ผลการทดลอง (ลัดวงจร)
5	4.8	5	4.7	1.7	0
12	11.7	11.9	11.3	11.8	0
18	17.5	18	17.2	17.4	0
20	19.2	19.8	19.5	19.6	0
23	21.5	22.6	21.7	22	0
25	23	24.5	23	24	0

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันที่วัดได้ของแต่ละช่อง

4.2.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองจ่ายแรงดันและวัดค่าแรงดันทางเอาต์พุต ผลที่ได้มีค่าดังตารางที่ 4.2 ซึ่งระหว่างค่าที่ป้อนกับค่าแรงดันที่วัดได้ไม่สอดคล้องกัน เนื่องจากการทำงานของวงจรยังมีความผิดพลาด

4.3 การทดลองวงจรป้องกันการลัดวงจร

4.3.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1) ป้อนค่าแรงดันออกทางเอาต์พุต ตามตารางที่ 4.2

2) ทดสองลัดวงจรทางด้านเอาต์พุต และทดสอบการทำงานของวงจรป้องกัน

3) บันทึกค่าแรงดันที่ได้จากการทดลอง ลงในตารางที่ 4.2

4.3.2 ผลการทดลอง

เมื่อลัดวงจรด้านเอาต์พุต Led ของช่องที่ทำการทดลองก็จะสว่าง และแรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าตามตารางที่ 4.2 หลังจากนั้น จึงได้ทำการกดสวิตช์เพื่อรีเซ็ทวงจร Led ยังคงสว่างอยู่ ได้ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลดส่วนของการลัดวงจรออกและแรงดันที่ได้ยังคงเป็น 0 โวลต์ และได้ทำการกดสวิตช์อีกครั้งหนึ่ง ปรากฏว่ามีค่าแรงดันเท่ากับแรงดันที่ตั้งไว้ในตอนแรก และทดลองซ้ำในลักษณะเดียวกันทั้ง 4 ช่อง ผลการทดลองจะมีลักษณะเช่นเดียวกัน

4.4 การทดลองส่วนรับข้อมูลจากคีย์เมทริกซ์สวิตช์

4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1) ประกอบวงจะตามรูปที่ 3.6 แล้วนำไปต่อกับวงจรควบคุมในการทดลองที่ 4.3

2) ตรวจสอบความเรียบร้อยของวงจร จ่ายไฟให้กับวงจร

3) เขียนโปรแกรมรับค่าจากเมทริกซ์สวิตช์ โดยกำหนดค่าคีย์แต่ละคีย์ให้มีค่าตามรหัส BCD8421 และให้แสดงผลออก LED ทางพอร์ต P1

4.4.2 ผลการทดลอง

จากผลการทดลองเขียนโปรแกรมรับค่าจากเมทริกซ์สวิตช์ เมื่อทำการกดคีย์ LED ก็จะแสดงผลดังนี้

ตาราง 4.3 การแสดงผลของ LED เมื่อมีการกดค่าคีย์เมทริกซ์สวิตช์

ค่าคีย์เมทริกซ์สวิตช์	การแสดงผลของ LCD							
	L8	L7	L6	L5	L4	L3	L2	L1
0	○	○	●	○	○	○	○	○
1	○	○	○	○	○	○	○	●
2	○	○	○	○	○	○	●	○
3	○	○	○	○	○	○	●	●
4	○	○	○	○	○	●	○	○
5	○	○	○	○	○	●	○	●
6	○	○	○	○	○	●	●	○
7	○	○	○	○	○	●	●	●
8	○	○	○	○	●	○	○	○
9	○	○	○	○	●	○	○	●

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองในส่วนของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

4.5.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูป 4.1
2. ทำการตรวจเช็คความเรียบร้อยในการต่อวงจร
3. ทดสอบโปรแกรมและวัดแรงดันที่ออกทางขา 15 ของ PCF8591
4. ทดลองเซตแอดเดรส A0, A1, A2 ดังนี้ โดย A2 เป็น MSB และA0 เป็น LSB
   - ต่อ A0, A1, A2 เข้ากับขา GND เป็นแอดเดรส 00 ทดลองส่งข้อมูลจากคีย์บอร์ดกดขึ้นหรือลง ดูผลที่ได้จากการวัดแรงดันที่เปลี่ยนแปลง เป็นแรงดันของช่องที่ 1
   - ต่อ A0 เข้ากับ VCC A1, A2 เข้า GND เป็นแอดเดรส 01 แรงดันของช่องที่ 2 ทดลองกดปุ่มขึ้นหรือลง ดูผลที่ได้จากขา 15 ของของ PCF8591

4.5.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยัง I^2C จะมีข้อมูลเข้าไปยัง PCF8591 ข้อมูลจะถูกแปลงเป็นแรงดัน 0.5 โวลต์ ตามค่า 00-FF เป็น 0.0-5.0 โวลต์ โดยแรงดันจะเปลี่ยนแปลงตามค่าที่กด

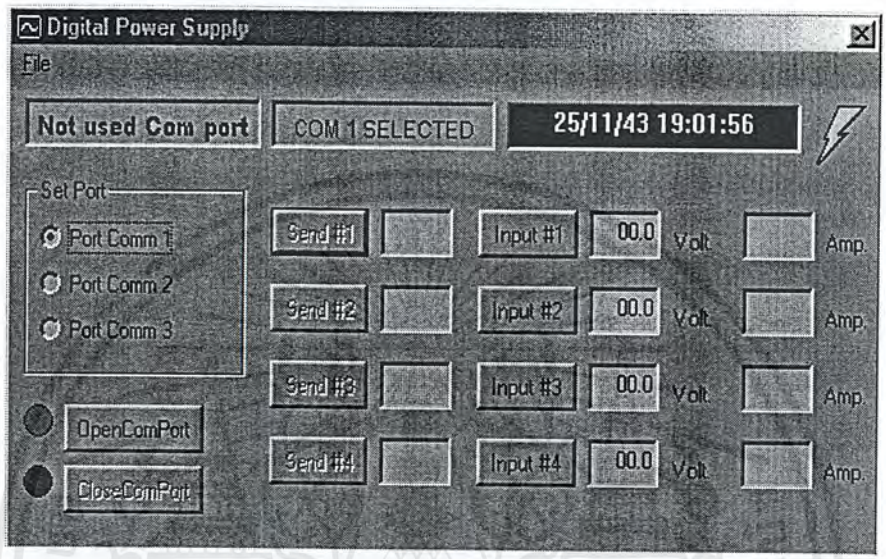
รูปที่ 4.1 การทดลองการต่อวงจร แปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองส่วนควบคุมอุปกรณ์อุปกรณ์รับข้อมูลโดยไมโครคอมพิวเตอร์

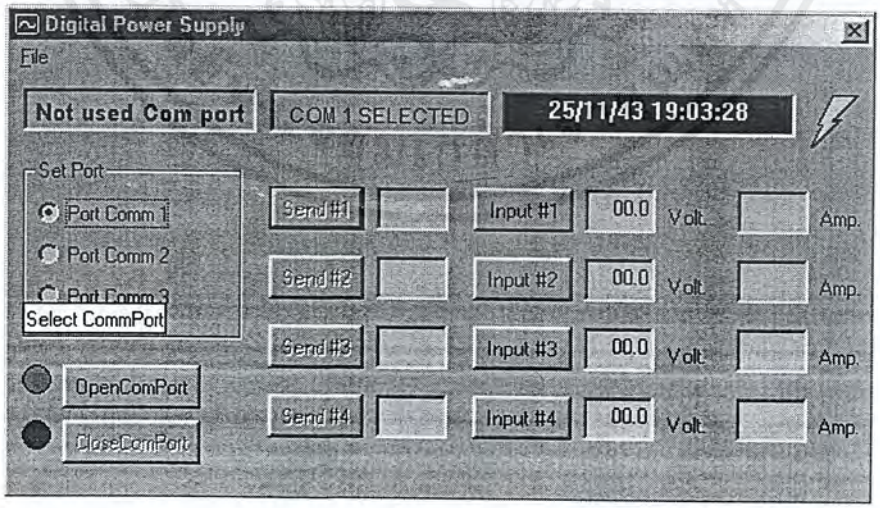
4.6.1 ลำดับขั้นการทดลองและผลการทดลอง

1. รันโปรแกรม SENDDATA_B1.EXE ซึ่งทางผู้จัดทำได้ กำหนดพอร์ตเริ่มต้นที่ COM1 โปรแกรมการใช้งานมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 4.2 โปรแกรมที่เรียกมาใช้งาน

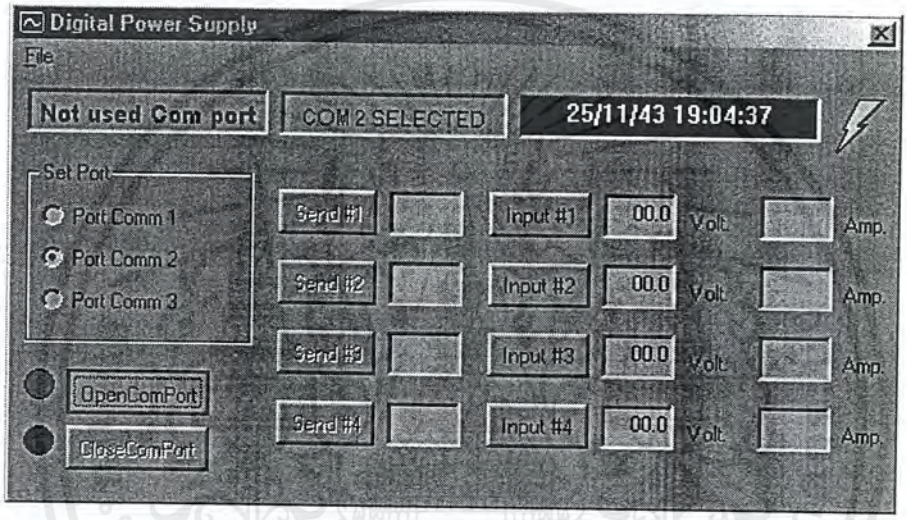
2. ในการใช้งาน ผู้ใช้ต้องกำหนดพอร์ตที่สามารถสื่อสารข้อมูลได้(พอร์ตว่าง) ดังตัวอย่าง



รูปที่ 4.3 การกำหนดพอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

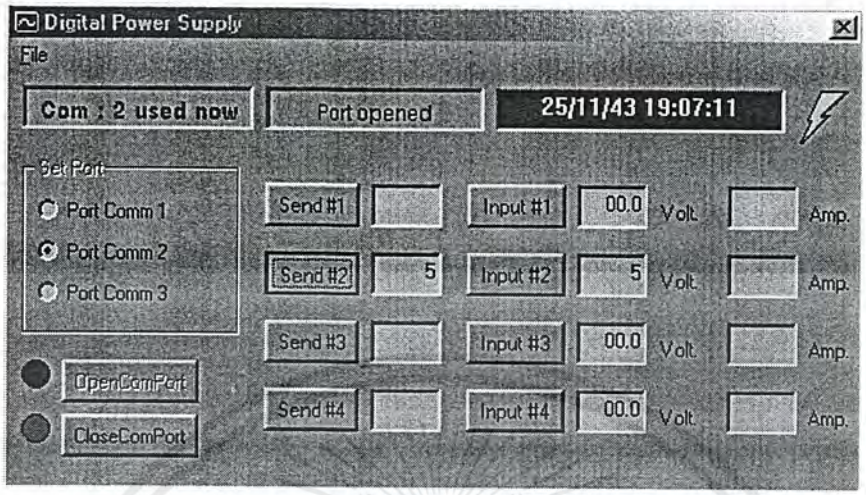
3. เมื่อกำหนดพอร์ตใช้งานแล้ว ต่อจากนั้นให้ คลิ๊กปุ่ม OpenComPort เพื่อทำการเปิดพอร์ต หากผู้ใช้ได้กำหนดพอร์ตที่มีการใช้งานอยู่แล้ว โปรแกรมก็จะเตือน และแสดงข้อความขึ้นมาคือ On error in Port ซึ่งหมายความว่าพอร์ตดังกล่าวไม่สามารถใช้ในการสื่อสารข้อมูลได้ และให้ผู้ใช้งานกำหนดพอร์ตใช้งานอีกครั้ง
4. ในการทดลองได้ใช้ พอร์ตคอม 2 ในการสื่อสารข้อมูล และได้ทำการส่งค่าแรงดันออกทางพอร์ต



รูปที่ 4.4 การเลือกพอร์ตนำมาใช้งาน

5. ค่าของแรงดันที่ส่งมาที่ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่าแรงดันก็จะถูกนำมาแสดงผลออกทางอุปกรณ์ LCD และส่งข้อมูลควบคุมการจ่ายแรงดันของแต่ละช่อง หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ก็ส่งข้อมูล ค่าแรงดันที่ปรากฏอยู่จริงบนอุปกรณ์ LCD มาที่ส่วนไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อเป็นการยืนยันว่าเป็นแรงดันใช้งาน
6. จากการทดลองส่งข้อมูลแต่ละช่องสามารถส่งได้ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ก็สามารถรับข้อมูล และนำไปแสดงเป็นค่าแรงดันออกทางอุปกรณ์ LCD ได้ตรงตามที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การกำหนดค่าแรงดันและกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และการพัฒนา

5.1 สรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอผลงานของ โครงงานแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล ใช้งานเพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟที่สามารถควบคุมได้ทั้งแรงดันและกระแสโดยอัตโนมัติ การใช้งานนั้นสามารถทำได้โดยการป้อนระดับแรงดันหรือกระแสที่แป้นคีย์บอร์ดเพื่อกำหนดค่าในการใช้งานโดยผู้ใช้งานเอง การแสดงผลจะแสดงออกทาง LCD

5.2 ปัญหา

จากการทดลอง ชุดแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล ซึ่งได้ทดลองต่ออุปกรณ์ทีละส่วน แล้วนำทีละส่วนมาประกอบรวมกันเป็นวงจรสมบูรณ์ในการทดลองแต่ละส่วนนั้นสามารถสรุปปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหาในการทดลองเป็นข้อๆ ดังนี้

1) ในการทดลองส่วนของตัวแหล่งจ่ายไฟนั้นลายวงจรบนแผ่นวงจรมีปัญหาคือ ลายวงจรบนแผ่นวงจรขาดทำให้การทดลองเกิดผลที่ผิดพลาด

2) ในการทดลองในส่วนของการแสดงผลทาง LCD นั้นมีบางส่วนในวงจรผิดพลาด จึงทำให้ LCD ใช้งานไม่ได้ ทำให้ต้องเสียเวลาและงบประมาณ

3) ในการทดลองส่วนของการรับข้อมูลทางคีย์บอร์ดนั้น เกิดการผิดพลาดกันระหว่างสายภายในตัวคีย์บอร์ดทำให้การกดคีย์ควบคุมไม่เป็นตามความจริง

4) ในการทดลองส่วนวงจรควบคุม โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ เกิดปัญหาในการเขียนโปรแกรมเพื่อรอรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์และการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการใช้ดีเลย์เพื่อรอรับค่า จากการทดลองข้อมูลที่รับได้มีความผิดพลาดสูงไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าเป็นข้อมูลของช่วงไหน

5) ในการทดลองส่วนวงจรควบคุมแรงดันค่าแรงดันที่ได้จะมีค่าไม่เป็นศูนย์แท้ เนื่องจากแรงดันที่ใช้ในการอ้างอิงเป็นแรงดันที่นำมาจากแหล่งจ่าย 2 แหล่งจ่าย

6) ในส่วนของแรงดันเอาต์พุตที่ได้ ไม่ตรงกับค่าแรงดันที่ป้อน ทำให้การใช้งานจริงเกิดความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) วงจรป้องกันการลัดเอาต์พุต จะมีความไวในการตรวจจับสูง จึงทำให้การจ่ายแรงดันออกมาไม่ต่อเนื่อง

5.3 แนวทางการแก้ปัญหา

1) แก้ไขโดยตรวจสอบวงจร โดยใช้มิเตอร์วัดทีละจุด และสามารถหาจุดที่ลายวงจรขาดได้

2) แก้ไขโดยตรวจสอบจุดที่เกิดการผิดพลาด แก้ไข และ ซื้อ LCD มาเปลี่ยนในวงจรใหม่

3) แก้ไขโดยการตรวจเช็คสายของคีย์บอร์ดแล้วทำการแก้ไขจุดนั้น

4) แก้ไขโดยในการเขียนโปรแกรมสื่อสารข้อมูล ได้ทำการเปลี่ยนรูปแบบคือ เลือกใช้อินเตอร์รัปต์ทั้งการรับและการส่งข้อมูลโดยใช้วิธีการส่งข้อมูลสองครั้งในเวลาเดียวกันคือข้อมูลแอดเดรสกับข้อมูลดาต้าและใช้วิธีการตรวจสอบข้อมูลแอดเดรสหลังจากนั้นก็ทำการเก็บข้อมูลดาต้าลงไปในแต่ละช่อง

5) ออกแบบวงจรเปรียบเทียบแรงดันให้ได้อัตราส่วนที่แน่นอน

6) ออกแบบวงจรให้สามารถปรับความไวในการทำงาน

5.4 แนวทางการพัฒนาโครงงาน

แหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอลนั้นสามารถทำงานได้ตามขีดความสามารถในวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้แต่โครงงานนี้ยังสามารถเพิ่มขีดความสามารถได้อีกคือ

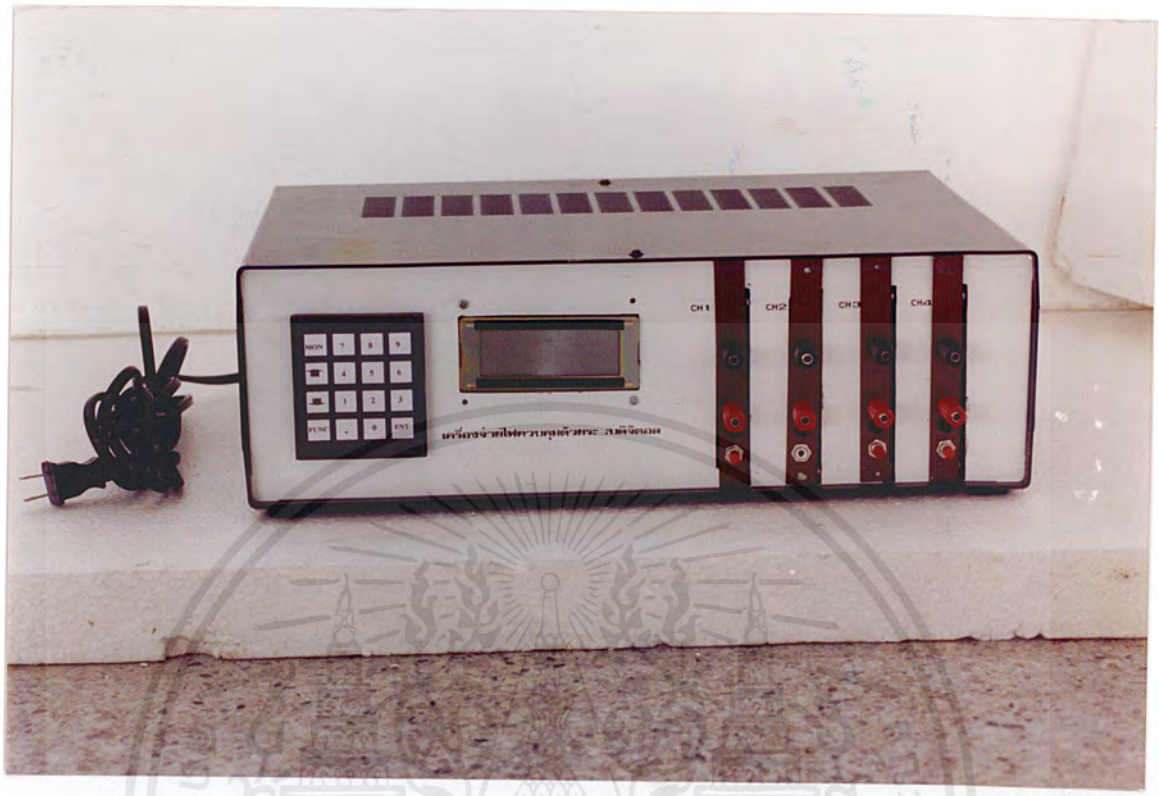
1) ให้สามารถทำการบันทึกค่าแรงดันและกระแสลงไปในหน่วยความจำภายนอกได้

2) ในการใช้งานจริงคอมพิวเตอร์ สามารถอ่านค่ากลับเข้ามาแสดงผลเพื่อให้ได้ค่าที่ใช้งานจริง

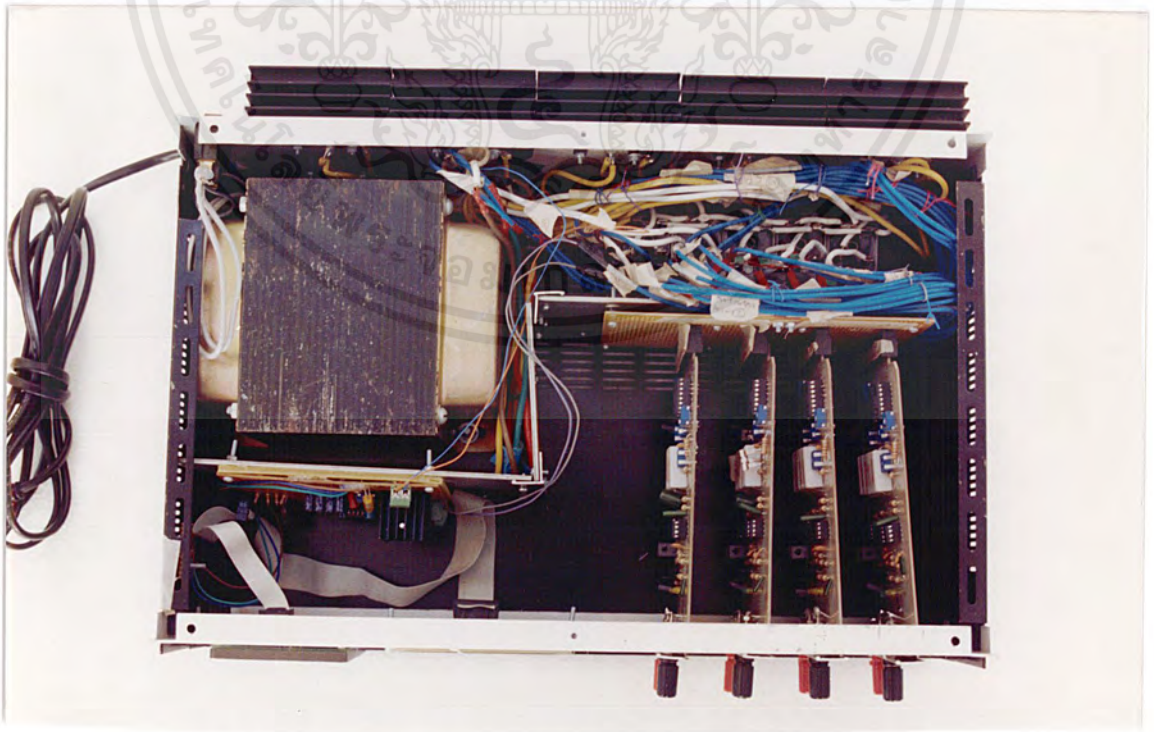
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
รูปต้นแบบของแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

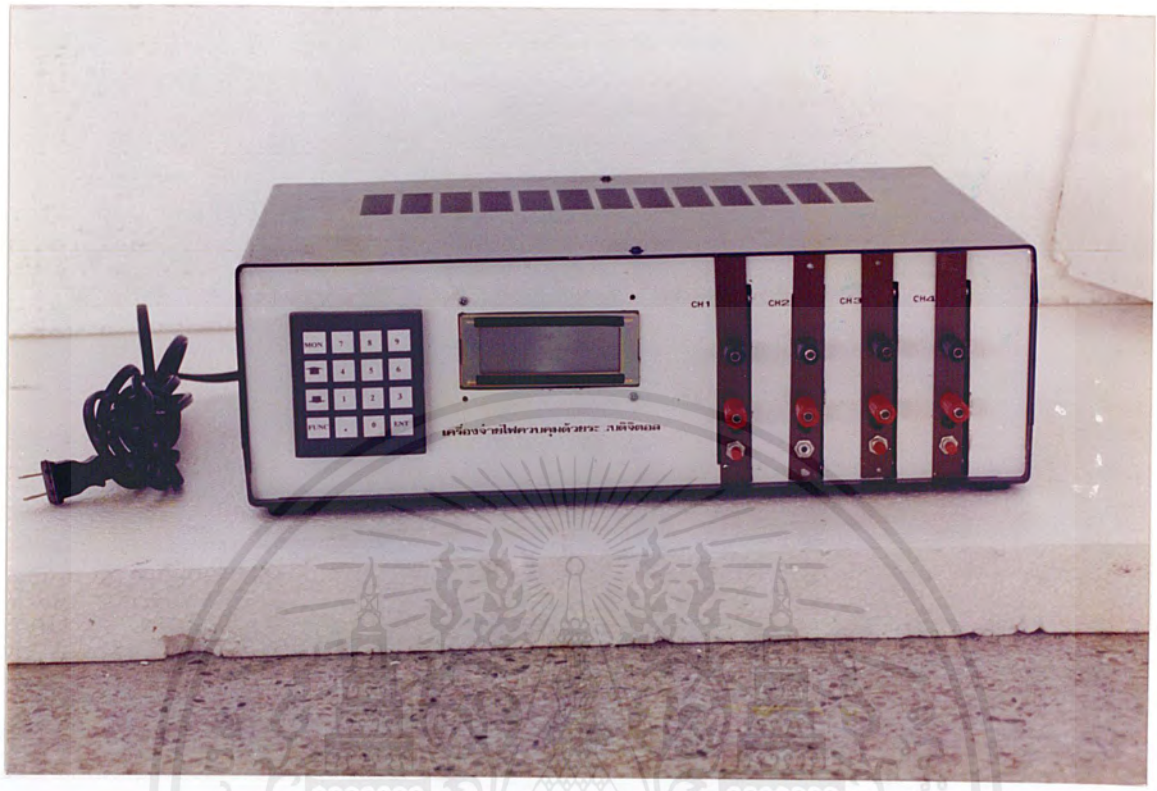


รูปที่ ก.1 ชุดแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล



รูปที่ ก.2 แผงวงจรรวมชุดแหล่งจ่ายไฟควบคุมด้วยระบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

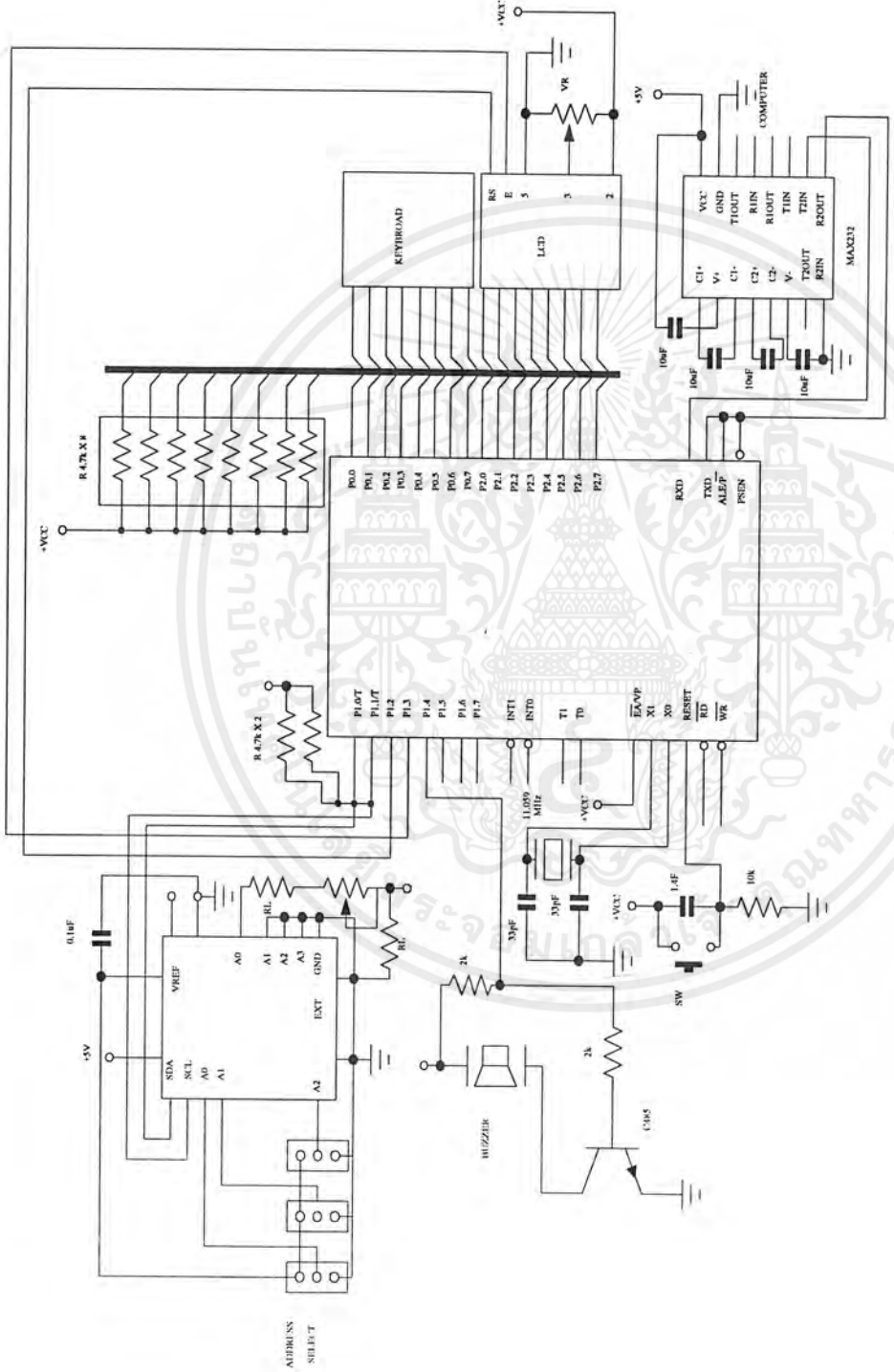


รูปที่ ก.3 การต่อแผงวงจรรวมกับไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

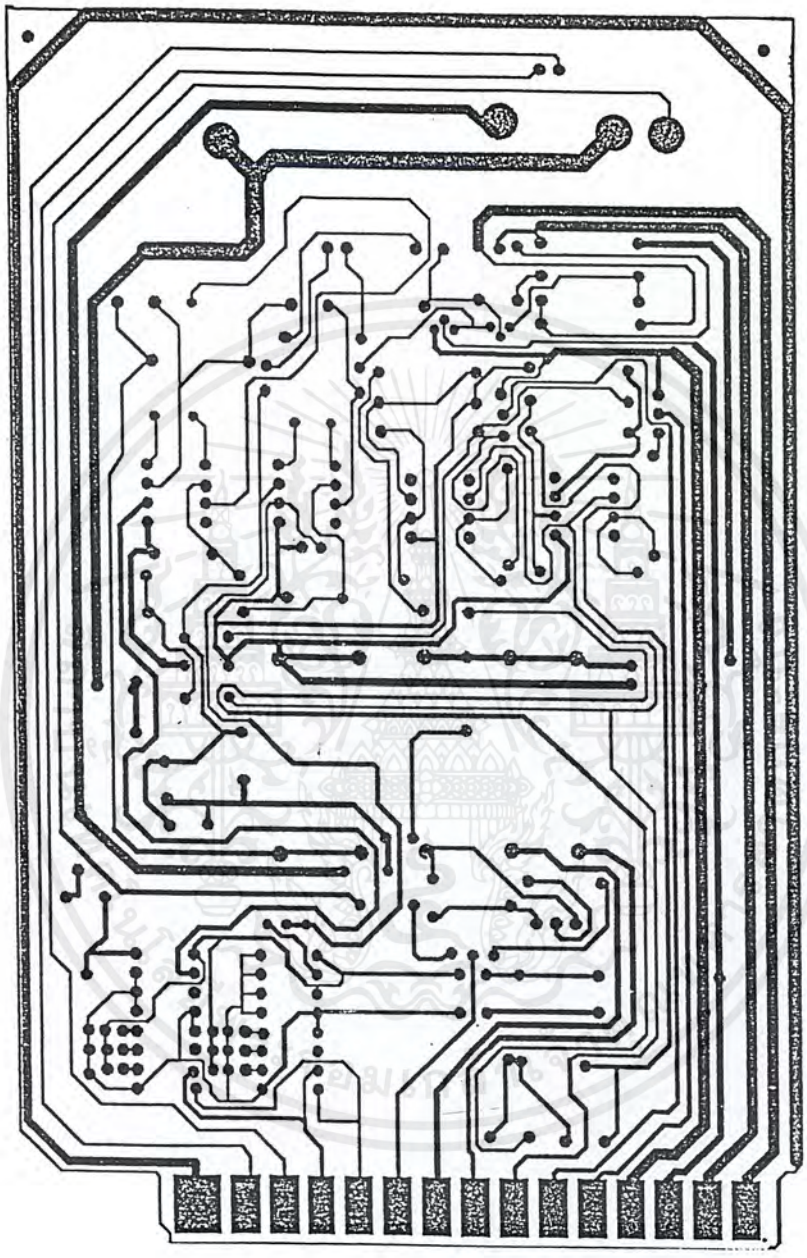
ภาคผนวก ข
วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 วงจรรวมอุปกรณ์รับข้อมูล อุปกรณ์แสดงผล และวงจรสื่อสารข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 ลายทองแดงของส่วนการ์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ผังการทำงานและโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*****************************************************************
**; Program        : I2C BUS
; Description    : I2C PCF8591 8 bit A/D 4 CH ,D/A 1 CH, 8 Pieces
;                : Keypad 4 X 4
; For            : Digital Power Supply 2000
; Assembler      : SXA51
; Copyright (C) 2000 KMITL Ed.engineer 21.
;*****************************************************************
**

;---------------------------------------------------------;
;  Define Port&Pin Name
;---------------------------------------------------------
SDA             BIT     P1.0    ; SDA I2C Bus
SCL             BIT     P1.1    ; SCL I2C Bus

LCD_EN          BIT     P1.2    ; LCD Module Enable (Active High :
Level)
LCD_RS          BIT     P1.3    ; LCD Module Register Select

KPAD_ROW0       BIT     P0.0    ; Keypad Input Row 0
KPAD_ROW1       BIT     P0.1    ; Keypad Input Row 1
KPAD_ROW2       BIT     P0.2    ; Keypad Input Row 2
KPAD_ROW3       BIT     P0.3    ; Keypad Input Row 3
KPAD_COL0       BIT     P0.4    ; Keypad Output Column 0
KPAD_COL1       BIT     P0.5    ; Keypad Output Column 1
KPAD_COL2       BIT     P0.6    ; Keypad Output Column 2
KPAD_COL3       BIT     P0.7    ; Keypad Output Column 3

FLAG            EQU     02FH    ; User FLAG

I2C_ACK         BIT     FLAG.0  ; Define I2C Acknowledge as bit
BUSY            BIT     FLAG.1
KEYPRESSED      BIT     FLAG.2
SOUND_BIT       BIT     FLAG.3
STEP_BIT        BIT     FLAG.4

;---------------------------------------------------------;
; Define User Register
;---------------------------------------------------------
LCD_ADDR        EQU     030H    ; For keep LCD Address
LCD_DATA        EQU     031H    ; For keep LCD Data
I2C_ADDR        EQU     032H    ; For keep I2C Address
I2C_DATA        EQU     033H    ; For keep I2C Data
IO_DATA         EQU     P2      ; For keep I2C 8 bit I/O Data

CONTROL         EQU     036H    ; Bit Control PCF8591
KPAD_DATA       EQU     037H    ; Keyboard Data
DATA            EQU     038H
DATA2           EQU     039H

DATA_KEY1       EQU     040H
DATA_KEY2       EQU     041H
DATA_KEY3       EQU     042H
DATA_KEY4       EQU     043H
BUF_KEY         EQU     044H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
VOLT_DATA       EQU     045H
AMP_DATA        EQU     046H
VI_DATA         EQU     047H

VOLT_DATA_1     EQU     048H
AMP_DATA_1      EQU     049H

VOLT_DATA_2     EQU     04AH
AMP_DATA_2      EQU     04BH

PCF8591_ID      EQU     04CH
CH              EQU     04DH
ADDR_DA         EQU     04EH

AD_DATA         EQU     04FH    ; Analog To Digital Data
AD_DATA1        EQU     050H
AD_DATA2        EQU     051H
AD_DATA3        EQU     052H
AD_DATA4        EQU     053H

DA_DATA         EQU     054H    ; Digital To Analog Data
DA_DATA1        EQU     055H
DA_DATA2        EQU     056H
DA_DATA3        EQU     057H
DA_DATA4        EQU     058H
DA_DATA5        EQU     059H
DA_DATA6        EQU     05AH
DA_DATA7        EQU     05BH
DA_DATA8        EQU     05CH

BUF_DA_DATA     EQU     05DH

DATA_BUF        EQU     060H
DATA_CH         EQU     061H
DATA_BUF1       EQU     062H
DATA_BUF2       EQU     063H
DATA_ADD        EQU     064H

                ORG     0000H
                JMP     INITIAL

INT_VECTER:     ORG     0023H           ;TI+RI Vector
                CALL    INIT_SERIAL
                CALL    BEEP
                CALL    DELAY_10ms

                LJMP    SELECT_FUNC

;-------------------------------------------------------------
; Main Program.
;-------------------------------------------------------------
INITIAL:        MOV     SP,#256-32      ;Define stack = 32 byte
                MOV     DATA_BUF,#00H
                MOV     DATA_ADD,#00H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     A,#00H
                MOV     PCON,A              ;smod = 0
                MOV     SCON,#040H          ;SELIAL(MODE 3) REN=1
                MOV     TMOD,#20H           ;TIMER 1 (MODE 2)
                MOV     TH1,#0FDH           ;9600 BAUD
                SETB    TR1                 ;Start TIMER
                SETB    REN                 ;Set bit REN (SCON.4)
                CLR     RI
                MOV     IE,#10010000B       ;En. EA,ES

                CLR     STEP_BIT
                CLR     SOUND_BIT

                MOV     KPAD_DATA,#0        ; Clear Keypad Data
                MOV     BUF_DA_DATA,#0
                MOV     CH,#0

                MOV     KPAD_DATA,#0

                CALL    INIT_LCD

MAIN:           MOV     DPTR,#START_MENU
                CALL    WR_LCD
                CALL    DELAY_1s

                CALL    BEEP
                CALL    DELAY_10ms
                CALL    BEEP

                CALL    INIT_AMP
                CALL    INIT_VOLT

                MOV     DPTR,#TITLE1
                CALL    WR_LCD
                CALL    READ_PCF

                CALL    ADDR_CH
SELECT_FUNC:    CALL    GET_KPAD
                LJMP    NEXT_PR

;************************************************************
;   When Interrub event
;************************************************************
INIT_SERIAL:    JNB     RI,$                ;Wait addr
                PUSH    PSW
                PUSH    ACC
                PUSH    IE
                PUSH    DPH
                PUSH    DPL
                MOV     A,SBUF
                MOV     DATA_ADD,A
                CLR     RI
                JNB     RI,$                ;Wait data
                CLR     A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     A,SBUF
                MOV     DATA_BUF,A
                MOV     DATA_BUF1,A
                CALL    CH_PASS
                CALL    WRITE_CH

FEED_BACK:      MOV     A,DATA_BUF1             ;Get Data
                CLR     TI
                MOV     SBUF,A                  ;Send  DATA to
Visual
                JNB     TI,$

                CALL    DELAY_100ms
                MOV     A,DATA_BUF2
                CLR     TI
                MOV     SBUF,A                  ;Send  DATA to
Visual
                JNB     TI,$

PASS:           CLR     RI
                CLR     TI
                CLR     A
                POP     DPL
                POP     DPH
                POP     IE
                POP     ACC
                POP     PSW

EXIT1:          RETI                                    ;Return interrupt

;*************************************************************
;   CHECK CH # 0 1 2 3
;*************************************************************
CH_PASS:        MOV     A,DATA_ADD
                CJNE    A,#030H,PASS1   ;Check addr(00)
                MOV     CH,#0           ;1 => Write 1
                MOV     PCF8591_ID,#90H
                MOV     DA_DATA1,DATA_BUF1
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA1
                MOV     DA_DATA,DA_DATA1
                CALL    PCF8591_WR
                RET

PASS1:          MOV     A,DATA_ADD
                CJNE    A,#031H,PASS2   ;Check addr(01)
                MOV     CH,#1           ;2 => Write 2
                MOV     PCF8591_ID,#92H
                MOV     DA_DATA2,DATA_BUF1
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA2
                MOV     DA_DATA,DA_DATA2
                CALL    PCF8591_WR
                RET

PASS2:          MOV     A,DATA_ADD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CJNE    A,#032H,PASS3   ;Check addr(02)
                MOV     CH,#2           ;3 => Write 3


                MOV     PCF8591_ID,#94H
                MOV     DA_DATA3,DATA_BUF1
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA3
                MOV     DA_DATA,DA_DATA3
                CALL    PCF8591_WR
                RET

PASS3:          MOV     A,DATA_ADD
                CJNE    A,#033H,PASS    ;Check addr(03)
                MOV     CH,#3           ;4 => Write 4
                MOV     PCF8591_ID,#96H
                MOV     DA_DATA4,DATA_BUF1
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA4
                MOV     DA_DATA,DA_DATA4
                CALL    PCF8591_WR
                RET

;*********************************************************
NEXT_PR:        CALL    BEEP
                CALL    DELAY_10ms
                MOV     A,KPAD_DATA

CHECK_CH:       CJNE    A,#14,AMP_CH
                CALL    SELECT_CH
                CALL    CH_1_4
                JMP     SELECT_FUNC

AMP_CH:         CJNE    A,#15,MENU_FUNC_1
                CALL    SELECT_CH
                MOV     A,CH
                ADD     A,#4
                MOV     CH,A
                CALL    CH_1_4
                JMP     SELECT_FUNC

MENU_FUNC_1:    CJNE    A,#13,UP_DOWN_FUNC
                CALL    FUNC_INTRO
                CALL    MENU_MAIN
                JMP     SELECT_FUNC

UP_DOWN_FUNC:   CJNE    A,#5,UP_DOWN_FUNC2
                CALL    STEP_UP_DOWN
                CALL    RETURN_DATA
                JMP     SELECT_FUNC

UP_DOWN_FUNC2:  CJNE    A,#9,RETURN_MENU
                CALL    STEP_UP_DOWN
                CALL    RETURN_DATA
                JMP     SELECT_FUNC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RETURN_MENU:    CJNE    A,#1,FUNC_X
                CALL    MENU_MAIN
                JMP     SELECT_FUNC

FUNC_X:         JMP     SELECT_FUNC

MENU_MAIN:      MOV     DPTR,#TITLE1
                CALL    WR_LCD
                CALL    READ_PCF
                RET

;-------------------------------------------------------------
; Loop For Check Ch to Write Address Lcd
;-------------------------------------------------------------
ADDR_CH:        MOV     A,CH
ADDR_CH1:       CJNE    A,#0,ADDR_CH2
                MOV     LCD_ADDR,#05H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

ADDR_CH2:       CJNE    A,#1,ADDR_CH3
                MOV     LCD_ADDR,#45H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

ADDR_CH3:       CJNE    A,#2,ADDR_CH4
                MOV     LCD_ADDR,#19H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

ADDR_CH4:       CJNE    A,#3,ADDR_CH_EXIT
                MOV     LCD_ADDR,#59H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

ADDR_CH_EXIT:   RET

;-------------------------------------------------------------
; CH 1-8
;-------------------------------------------------------------
CH_1_4:         MOV     A,CH
CH__1:          CJNE    A,#0,CH__2
                MOV     LCD_ADDR,#05H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     ADDR_DA,#90H
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA1
                RET

CH__2:          CJNE    A,#1,CH__3
                MOV     LCD_ADDR,#45H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     ADDR_DA,#92H
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                RET

CH__3:          CJNE    A,#2,CH__4
                MOV     LCD_ADDR,#19H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     ADDR_DA,#94H
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA3
                RET

CH__4:          CJNE    A,#3,AMP__1
                MOV     LCD_ADDR,#59H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     ADDR_DA,#96H
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA4
                RET

AMP__1:         CJNE    A,#4,AMP__2
                MOV     LCD_ADDR,#0EH
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     ADDR_DA,#98H
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA5
                RET

AMP__2:         CJNE    A,#5,AMP__3
                MOV     LCD_ADDR,#4EH
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     ADDR_DA,#9AH
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA6
                RET

AMP__3:         CJNE    A,#6,AMP__4
                MOV     LCD_ADDR,#22H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     ADDR_DA,#9CH
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA7
                RET

AMP__4:         CJNE    A,#7,AMP_EXIT
                MOV     LCD_ADDR,#62H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     ADDR_DA,#9EH
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA8
                RET

AMP_EXIT:       RET

;-------------------------------------------------------------
; Select Ch to Use
;-------------------------------------------------------------
SELECT_CH:       CALL    GET_KPAD
                 CALL    BEEP
                 CALL    DELAY_1s
                 MOV     A,KPAD_DATA
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
C_1:            CJNE    A,#10,C_2
                MOV     CH,#0
                RET

C_2:            CJNE    A,#11,C_3
                MOV     CH,#1
                RET

C_3:            CJNE    A,#12,C_4
                MOV     CH,#2
                RET

C_4:            CJNE    A,#6,C_EXIT
                MOV     CH,#3
                RET

C_EXIT:         JMP     SELECT_CH

;-------------------------------------------------------------
; CH 1-8
;-------------------------------------------------------------
CH_1_8:         MOV     A,CH
CH_1:           CJNE    A,#0,CH_2
                MOV     LCD_ADDR,#05H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

CH_2:           CJNE    A,#1,CH_3
                MOV     LCD_ADDR,#45H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

CH_3:           CJNE    A,#2,CH_4
                MOV     LCD_ADDR,#19H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

CH_4:           CJNE    A,#3,CH_5
                MOV     LCD_ADDR,#59H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

CH_5:           CJNE    A,#4,CH_6
                MOV     LCD_ADDR,#0EH
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

CH_6:           CJNE    A,#5,CH_7
                MOV     LCD_ADDR,#4EH
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

CH_7:           CJNE    A,#6,CH_8
                MOV     LCD_ADDR,#22H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

CH_8:           CJNE    A,#7,CH_EXIT
                MOV     LCD_ADDR,#62H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

CH_EXIT:        RET

;-------------------------------------------------------------
; Return Data To DA_DATA_X
; Data = DA_DATA
;-------------------------------------------------------------
RETURN_DATA:    MOV     A,CH
RETURN_CH1:     CJNE    A,#0,RETURN_CH2
                MOV     DA_DATA1,BUF_DA_DATA
                RET

RETURN_CH2:     CJNE    A,#1,RETURN_CH3
                MOV     DA_DATA2,BUF_DA_DATA
                RET

RETURN_CH3:     CJNE    A,#2,RETURN_CH4
                MOV     DA_DATA3,BUF_DA_DATA
                RET

RETURN_CH4:     CJNE    A,#3,RETURN_CH5
                MOV     DA_DATA4,BUF_DA_DATA
                RET

RETURN_CH5:     CJNE    A,#4,RETURN_CH6
                MOV     DA_DATA5,BUF_DA_DATA
                RET

RETURN_CH6:     CJNE    A,#5,RETURN_CH7
                MOV     DA_DATA6,BUF_DA_DATA
                RET

RETURN_CH7:     CJNE    A,#6,RETURN_CH8
                MOV     DA_DATA7,BUF_DA_DATA
                RET

RETURN_CH8:     CJNE    A,#7,RETURN_EXIT
                MOV     DA_DATA8,BUF_DA_DATA
                RET

RETURN_EXIT:    RET

;-------------------------------------------------------------
; Inital Volt to Zero Range
; Data = 00H
;-------------------------------------------------------------
INIT_VOLT:      MOV     PCF8591_ID,#90H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     R0,#4
                MOV     R1,#55H
LOOP_VOLT:      MOV     A,PCF8591_ID
                ADD     A,#2
                MOV     PCF8591_ID,A
                MOV     DA_DATA,#00H
                CALL    PCF8591_WR
                PUSH    ACC
                MOV     A,#0
                MOV     @R1,A
                POP     ACC
                INC     R1
                DJNZ    R0,LOOP_VOLT
                RET

;-------------------------------------------------------------
; Inital Current to Middle Range
; Data = 80H
;-------------------------------------------------------------
INIT_AMP:       MOV     PCF8591_ID,#96H
                MOV     R0,#4
                MOV     R1,#59H
LOOP_AMP:       MOV     A,PCF8591_ID
                ADD     A,#2
                MOV     PCF8591_ID,A
                MOV     DA_DATA,#7DH
                CALL    PCF8591_WR
                PUSH    ACC
                MOV     A,#7DH
                MOV     @R1,A
                POP     ACC
                INC     R1
                DJNZ    R0,LOOP_AMP
                RET

;-------------------------------------------------------------
; Write 4 Line LCD from ROM
; I/P:          DPTR
;-------------------------------------------------------------
READ_PCF:       MOV     R1,#55H
                MOV     LCD_ADDR,#05H
                CALL    RDD_PCF
                INC     R1
                MOV     LCD_ADDR,#45H
                CALL    RDD_PCF
                INC     R1
                MOV     LCD_ADDR,#19H
                CALL    RDD_PCF
                INC     R1
                MOV     LCD_ADDR,#59H
                CALL    RDD_PCF
                INC     R1
                MOV     LCD_ADDR,#0EH
                CALL    RD_PCF
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                INC     R1
                MOV     LCD_ADDR,#4EH
                CALL    RD_PCF
                INC     R1
                MOV     LCD_ADDR,#22H
                CALL    RD_PCF
                INC     R1
                MOV     LCD_ADDR,#62H
                CALL    RD_PCF
                RET

RDD_PCF:        CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     A,@R1
                MOV     LCD_DATA,A
                CALL    CON_25
                RET

RD_PCF:         CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     A,@R1
                MOV     LCD_DATA,A
                CALL    CON_AMP
                RET

;-------------------------------------------------------------
; Write 4 Line LCD from ROM
; I/P:          DPTR
;-------------------------------------------------------------
FUNC_INTRO:     MOV     DPTR,#FUNC_MENU
                CALL    WR_LCD
                CALL    GET_KPAD
                CALL    DELAY_1s
                CALL    BEEP
                MOV     A,KPAD_DATA

FUNC_IN_1:      CJNE    A,#10,FUNC_IN_2         ;SOUND_ON_OFF
                MOV     DPTR,#SOUND_ON_OFF
                CALL    WR_LCD
                CALL    CHECK_SOUND
                CALL    SOUND_ON__OFF
                RET

FUNC_IN_2:      CJNE    A,#11,FUNC_IN_3         ;STEP_SIZE
                MOV     DPTR,#STEP__SIZE
                CALL    WR_LCD
                CALL    CHECK_STEP
                CALL    STEP_SIZE
                RET

FUNC_IN_3:      CJNE    A,#12,FUNC_IN_4         ;CORRECT VOLT
                MOV     DPTR,#TITLE1
                CALL    WR_LCD
                CALL    READ_PCF
                CALL    CH_EDIT
                CALL    MANUAL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL    DELAY_1s
                CALL    RETURN_DATA
                RET

FUNC_IN_4:      CJNE    A,#6,FUNC_IN_5          ;SET 4 O/P ZERO
                CALL    SET_ZERO
                MOV     DPTR,#TITLE1
                CALL    WR_LCD
                CALL    READ_PCF
                RET

FUNC_IN_5:      CJNE    A,#7,FUNC_IN_6          ;DIGITAL VOLTMETER
4 CH
                MOV     DPTR,#DIGITAL_VOLT
                CALL    WR_LCD
                CALL    VOLT_METER
                CALL    DELAY_1s
                RET

FUNC_IN_6:      CJNE    A,#8,FUNC_IN_7          ;CALL MEMORY VOLT
                MOV     DPTR,#EDIT_IN_MEM
                CALL    WR_LCD
                MOV     A,CH
                JB      ACC.2,GET_MEM_EXIT
                CALL    GET_MEM
                CALL    RETURN_DATA
GET_MEM_EXIT:   RET

FUNC_IN_7:      CJNE    A,#1,FUNC_IN_EXIT       ;RETURN MAIN
MENU
                CALL    MENU_MAIN
                JMP     SELECT_FUNC

FUNC_IN_EXIT:   JMP     FUNC_INTRO

;-------------------------------------------------------------
;  Check Step
;  [1] Step 100 mV ,[2] Step 1 V
;-------------------------------------------------------------
CHECK_STEP:     JB      STEP_BIT,CHECK_STEP_1V
                MOV     LCD_ADDR,#54H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     DPTR,#STEP_100_mV
                CALL    WRLINE_LCD
                RET

CHECK_STEP_1V:  MOV     LCD_ADDR,#54H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     DPTR,#STEP_1_V
                CALL    WRLINE_LCD
                RET

;-------------------------------------------------------------;
STEP UP/DOWN SIZE
;  100 mV OR 1 V
;-------------------------------------------------------------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
STEP_SIZE:        CALL    GET_KPAD
                  CALL    DELAY_1s
                  MOV     A,KPAD_DATA
STEP_100MV:       CJNE    A,#10,STEP_1V
                  CLR     STEP_BIT
                  MOV     LCD_ADDR,#54H
                  CALL    SET_ADDR_LCD
                  MOV     DPTR,#STEP_100_mV
                  CALL    WRLINE_LCD
                  CALL    BEEP
                  CALL    DELAY_1s
                  MOV     DPTR,#TITLE1
                  CALL    WR_LCD
                  RET

STEP_1V:          CJNE    A,#11,STEP_NX_EXIT
                  SETB    STEP_BIT
                  MOV     LCD_ADDR,#54H
                  CALL    SET_ADDR_LCD
                  MOV     DPTR,#STEP_1_V
                  CALL    WRLINE_LCD
                  CALL    BEEP
                  CALL    DELAY_100ms
                  CALL    BEEP
                  CALL    DELAY_1s
                  RET

STEP_NX_EXIT:     CJNE    A,#1,STEP_EXIT
                  CALL    DELAY_100ms
                  JMP     FUNC_INTRO

STEP_EXIT:        JMP     STEP_SIZE

;-------------------------------------------------------------;
Check Sound On/Off Function
;  [1] Sound On ,[2] Sound Off
;-------------------------------------------------------------
CHECK_SOUND:      JB      SOUND_BIT,CHECK_SOUND_ON
                  MOV     LCD_ADDR,#54H
                  CALL    SET_ADDR_LCD
                  MOV     DPTR,#SOUND_ON
                  CALL    WRLINE_LCD
                  RET

CHECK_SOUND_ON:   MOV     LCD_ADDR,#54H
                  CALL    SET_ADDR_LCD
                  MOV     DPTR,#SOUND_OFF
                  CALL    WRLINE_LCD
                  RET

;-------------------------------------------------------------;
Sound On/Off Function
;  [1] Sound On ,[2] Sound Off
;-------------------------------------------------------------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SOUND_ON__OFF:  CALL    GET_KPAD
                CALL    DELAY_1s
                MOV     A,KPAD_DATA
SOUND__ON:      CJNE    A,#10,SOUND__OFF
                CLR     SOUND_BIT
                MOV     LCD_ADDR,#54H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     DPTR,#SOUND_ON
                CALL    WRLINE_LCD
                CALL    BEEP
                CALL    DELAY_1s
                RET

SOUND__OFF:     CJNE    A,#11,SOUND_NX_EXIT
                SETB    SOUND_BIT
                MOV     LCD_ADDR,#54H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     DPTR,#SOUND_OFF
                CALL    WRLINE_LCD
                CALL    DELAY_1s
                RET

SOUND_NX_EXIT:  CJNE    A,#1,SOUND_EXIT
                CALL    DELAY_100ms
                JMP     FUNC_INTRO

SOUND_EXIT:     JMP     SOUND_ON__OFF

;-------------------------------------------------------------
; Write 4 Line LCD from ROM
; I/P:          DPTR
;-------------------------------------------------------------
GET_MEM:        CALL    GET_KPAD
                CALL    BEEP
                CALL    DELAY_1s
                MOV     A,KPAD_DATA

MEM_1:          CJNE    A,#10,MEM_2
                MOV     DA_DATA,#30
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA
                CALL    PCF8591_WR
                CALL    DELAY_1s
                RET

MEM_2:          CJNE    A,#11,MEM_3
                MOV     DA_DATA,#50
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA
                CALL    PCF8591_WR
                CALL    DELAY_1s
                RET

MEM_3:          CJNE    A,#12,MEM_4
                MOV     DA_DATA,#60
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL    PCF8591_WR
                CALL    DELAY_1s
                RET

MEM_4:          CJNE    A,#6,MEM_5
                MOV     DA_DATA,#90
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA
                CALL    PCF8591_WR
                CALL    DELAY_1s
                RET

MEM_5:          CJNE    A,#7,MEM_6
                MOV     DA_DATA,#100
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA
                CALL    PCF8591_WR
                CALL    DELAY_1s
                RET

MEM_6:          CJNE    A,#8,MEM_7
                MOV     DA_DATA,#120
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA
                CALL    PCF8591_WR
                CALL    DELAY_1s
                RET

MEM_7:          CJNE    A,#2,MEM_8
                MOV     DA_DATA,#150
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA
                CALL    PCF8591_WR
                CALL    DELAY_1s
                RET

MEM_8:          CJNE    A,#3,MEM_9
                MOV     DA_DATA,#180
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA
                CALL    PCF8591_WR
                CALL    DELAY_1s
                RET

MEM_9:          CJNE    A,#4,MEM_NX_EXIT
                MOV     DA_DATA,#240
                MOV     BUF_DA_DATA,DA_DATA
                CALL    PCF8591_WR
                CALL    DELAY_1s
                RET

MEM_NX_EXIT:    CJNE    A,#1,MEM_EXIT
                CALL    DELAY_100ms
                JMP     FUNC_INTRO

MEM_EXIT:       JMP     GET_MEM

;-------------------------------------------------------------
; CH EDIT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; I/P:          DPTR
;-------------------------------------------------------------
CH_EDIT:        MOV     A,CH

CH_ED_1:        CJNE    A,#0,CH_ED_2
                MOV     LCD_ADDR,#05H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                CALL    WR_EDIT
                MOV     LCD_ADDR,#05H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

CH_ED_2:        CJNE    A,#1,CH_ED_3
                MOV     LCD_ADDR,#45H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                CALL    WR_EDIT
                MOV     LCD_ADDR,#45H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

CH_ED_3:        CJNE    A,#2,CH_ED_4
                MOV     LCD_ADDR,#19H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                CALL    WR_EDIT
                MOV     LCD_ADDR,#19H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

CH_ED_4:        CJNE    A,#3,CH_ED_EXIT
                MOV     LCD_ADDR,#59H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                CALL    WR_EDIT
                MOV     LCD_ADDR,#59H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                RET

CH_ED_EXIT:     JMP     SELECT_FUNC

WR_EDIT:        MOV     R0,#4
WR_EDIT_LP:     MOV     LCD_DATA,#20H
                CALL    WRCHAR_LCD
                DJNZ    R0,WR_EDIT_LP
                RET

;-------------------------------------------------------------
; Set Zero O/P
;
;-------------------------------------------------------------
SET_ZERO:       MOV     R0,#55H
                MOV     R1,#90H
                MOV     BUF_DA_DATA,#00H
                MOV     R2,#4
LP_SET_ZERO:    MOV     PCF8591_ID,R1
                MOV     DA_DATA,#00H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     A,#00H
                MOV     @R0,A
                CALL    PCF8591_WR
                INC     R0
                INC     R1
                INC     R1
                DJNZ    R2,LP_SET_ZERO
                RET

;-------------------------------------------------------------
; PCF8591 CH 1- 4 DIGITAL VOLTMETER
;-------------------------------------------------------------
VOLT_METER:     MOV     DPTR,#DIGITAL_VOLT
                CALL    WR_LCD

                MOV     PCF8591_ID,#90H
                CALL    PCF8591_RD
                CALL    PCF8591_RD
                MOV     AD_DATA1,AD_DATA

                MOV     PCF8591_ID,#92H
                CALL    PCF8591_RD
                CALL    PCF8591_RD
                MOV     AD_DATA2,AD_DATA

                MOV     PCF8591_ID,#94H
                CALL    PCF8591_RD
                CALL    PCF8591_RD
                MOV     AD_DATA3,AD_DATA

                MOV     PCF8591_ID,#96H
                CALL    PCF8591_RD
                CALL    PCF8591_RD
                MOV     AD_DATA4,AD_DATA

                MOV     LCD_ADDR,#44H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,AD_DATA1
                CALL    CON_25

                MOV     LCD_ADDR,#4FH
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,AD_DATA2
                CALL    CON_25

                MOV     LCD_ADDR,#18H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,AD_DATA3
                CALL    CON_25

                MOV     LCD_ADDR,#23H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,AD_DATA4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL    CON_25

                RET

;-------------------------------------------------------------
;  STEP UP/DOWN FUNCTION
;  Step 100 mV
;-------------------------------------------------------------
STEP_UP_DOWN:   JB      STEP_BIT,STEP_UP_DOWN_1V

S_UP_DOWN_100mV:MOV     VI_DATA,BUF_DA_DATA
                MOV     PCF8591_ID,ADDR_DA
                CALL    U_D_SE
                MOV     BUF_DA_DATA,VI_DATA
                RET

     U_D_SE:    MOV     DA_DATA,VI_DATA
                CALL    PCF8591_WR

                CALL    CH_1_8
                MOV     LCD_DATA,VI_DATA
                MOV     A,CH
                JNB     ACC.2,WR_AMP
                CALL    CON_AMP
                JMP     NEXT_WR

      WR_AMP:   CALL    CON_25

      NEXT_WR:  CALL    GET_KPAD
                CALL    BEEP
                CALL    DELAY_50ms
                MOV     A,KPAD_DATA

     INC_VOLT:  CJNE    A,#5,DEC_VOLT
                MOV     A,VI_DATA
                CJNE    A,#250,NX_INC
                MOV     VI_DATA,#250
                JMP     U_D_SE

    NX_INC:     INC     VI_DATA
                JMP     U_D_SE

     DEC_VOLT:  CJNE    A,#9,GOTO_MAIN
                MOV     A,VI_DATA
                CJNE    A,#0,NX_DEC
                MOV     VI_DATA,#0
                JMP     U_D_SE

     NX_DEC:    DEC     VI_DATA
                JMP     U_D_SE

    GOTO_MAIN:  CJNE    A,#1,OK_REQUEST
                JMP     SELECT_FUNC
   OK_REQUEST:  CJNE    A,#16,RETURN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                RET
    RETURN:     JMP     U_D_SE

;-------------------------------------------------------------
;  STEP UP/DOWN FUNCTION
;  Step 1 mV
;-------------------------------------------------------------
STEP_UP_DOWN_1V:MOV     A,CH
                JB      ACC.2,ST_EXIT
                MOV     VI_DATA,BUF_DA_DATA
                MOV     PCF8591_ID,ADDR_DA
                CALL    UP_DOWN_1V
                MOV     BUF_DA_DATA,VI_DATA
ST_EXIT:        RET

UP_DOWN_1V:     CLR     C
                MOV     DA_DATA,VI_DATA
                CALL    PCF8591_WR

                CALL    CH_1_8
                MOV     LCD_DATA,VI_DATA
                CALL    CON_25

                CALL    GET_KPAD
                CALL    BEEP
                CALL    DELAY_50ms
                MOV     A,KPAD_DATA

    INC_1V:     CJNE    A,#5,DEC_1V
                MOV     A,VI_DATA
                CJNE    A,#250,N_X_INC
                MOV     VI_DATA,#250
                JMP     UP_DOWN_1V

    N_X_INC:    MOV     A,VI_DATA
                ADD     A,#10
                MOV     VI_DATA,A
                MOV     DA_DATA,VI_DATA
                JMP     UP_DOWN_1V

    DEC_1V:     CJNE    A,#9,GO_TO_MAIN
                MOV     A,VI_DATA
                CJNE    A,#0,N_X_DEC
                MOV     VI_DATA,#0
                JMP     UP_DOWN_1V

    N_X_DEC:    MOV     A,VI_DATA
                SUBB    A,#10
                MOV     VI_DATA,A
                MOV     DA_DATA,VI_DATA
                JMP     UP_DOWN_1V

    GO_TO_MAIN: CJNE    A,#1,O_K_REQUEST
                JMP     SELECT_FUNC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
O_K_REQUEST:    CJNE    A,#16,RE_TURN
                RET

     RE_TURN:   JMP     UP_DOWN_1V

;-------------------------------------------------------------
;  MANUAL FUNCTION
;-------------------------------------------------------------
MANUAL:         CALL    SCAN_KEY1
                MOV     PCF8591_ID,ADDR_DA
                MOV     DA_DATA,DATA_KEY1
                CALL    PCF8591_WR
                MOV     BUF_DA_DATA,DATA_KEY1
                CALL    DELAY_1s
                RET

SCAN_KEY1:      CALL    RE_KEY1
                CALL    DELAY_1s
                MOV     DATA_KEY1,BUF_KEY
                MOV     A,BUF_KEY

SCAN_1:         CJNE    A,#00,SCAN_11
                CALL    RE_KEY4
                JMP     SCAN_KEY2

SCAN_11:        CJNE    A,#01,SCAN_111
                CALL    RE_KEY4
                JMP     SCAN_KEY2

SCAN_111:       CJNE    A,#02,SCAN_KEY1
                CALL    RE_KEY2
                JMP     SCAN_KEY2

SCAN_KEY2:      MOV     DATA_KEY2,BUF_KEY
                CALL    DELAY_1s

                CALL    RE_KEY3
                CALL    DELAY_1s

                MOV     A,DATA_KEY1
                CJNE    A,#2,NEXT_NUM
                MOV     A,DATA_KEY2
                CJNE    A,#5,NEXT_NUM
                CALL    DATA_0
                JMP     DA3_NX

NEXT_NUM:       CALL    RE_KEY4
DA3_NX:         MOV     DATA_KEY3,BUF_KEY
                CALL    DELAY_1s

                MOV     A,DATA_KEY1
                MOV     B,#100
                MUL     AB
                MOV     DATA_KEY1,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     A,DATA_KEY2
                MOV     B,#10
                MUL     AB
                MOV     DATA_KEY2,A

                MOV     A,DATA_KEY3

                ADD     A,DATA_KEY2
                ADD     A,DATA_KEY1
                MOV     DATA_KEY1,A
                RET

DATA_0:         CALL    GET_KPAD
                CALL    BEEP
                MOV     A,KPAD_DATA
DA_00:          CJNE    A,#15,DA_EXT
                MOV     BUF_KEY,#0
                MOV     LCD_DATA,#30H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

DA_EXT:         JMP     DATA_0

;================== RE1 =====================================

RE_KEY1:        CALL    GET_KPAD
                CALL    BEEP
                MOV     A,KPAD_DATA

CHK_KEY_11:     CJNE    A,#10,CHK_KEY_22            ;KEY 1
                MOV     BUF_KEY,#1
                MOV     LCD_DATA,#31H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_22:     CJNE    A,#11,CHK_KEY_33            ;KEY 2
                MOV     BUF_KEY,#2
                MOV     LCD_DATA,#32H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_33:     CJNE    A,#15,CHK_KEY_44            ;KEY 0
                MOV     BUF_KEY,#0
                MOV     LCD_DATA,#20H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_44:     JMP     RE_KEY1

;================== RE2 =====================================
RE_KEY2:        CALL    GET_KPAD
                CALL    BEEP
                MOV     A,KPAD_DATA
CHK_KEY_111:  CJNE  A,#10,CHK_KEY_222
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     BUF_KEY,#1
                MOV     LCD_DATA,#31H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_222:    CJNE    A,#11,CHK_KEY_333
                MOV     BUF_KEY,#2
                MOV     LCD_DATA,#32H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_333:    CJNE    A,#12,CHK_KEY_444
                MOV     BUF_KEY,#3
                MOV     LCD_DATA,#33H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_444:    CJNE    A,#6,CHK_KEY_555
                MOV     BUF_KEY,#4
                MOV     LCD_DATA,#34H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_555:    CJNE    A,#7,CHK_KEY_000
                MOV     BUF_KEY,#5
                MOV     LCD_DATA,#35H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_000:    CJNE    A,#15,CHK_KEY_EE
                MOV     BUF_KEY,#0
                MOV     LCD_DATA,#30H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_EE:     JMP     RE_KEY2

;================== RE3 ====================================
RE_KEY3:        CALL    GET_KPAD
                CALL    BEEP
                MOV     A,KPAD_DATA

CHK_KEY_F:      CJNE    A,#14,CHK_KEY_EX
                MOV     BUF_KEY,#11
                MOV     LCD_DATA,#'.'
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_EX:     JMP     RE_KEY3

;================== RE4 ====================================
RE_KEY4:        CALL    GET_KPAD
                CALL    BEEP
                MOV     A,KPAD_DATA
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CHK_KEY_1:      CJNE    A,#10,CHK_KEY_2         ;KEY 1
                MOV     BUF_KEY,#1
                MOV     LCD_DATA,#31H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_2:      CJNE    A,#11,CHK_KEY_3         ;KEY 2
                MOV     BUF_KEY,#2
                MOV     LCD_DATA,#32H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_3:      CJNE    A,#12,CHK_KEY_4         ;KEY 3
                MOV     BUF_KEY,#3
                MOV     LCD_DATA,#33H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_4:      CJNE    A,#6,CHK_KEY_5          ;KEY 4
                MOV     BUF_KEY,#4
                MOV     LCD_DATA,#34H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_5:      CJNE    A,#7,CHK_KEY_6          ;KEY 5
                MOV     BUF_KEY,#5
                MOV     LCD_DATA,#35H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_6:      CJNE    A,#8,CHK_KEY_7          ;KEY 6
                MOV     BUF_KEY,#6
                MOV     LCD_DATA,#36H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_7:      CJNE    A,#2,CHK_KEY_8          ;KEY 7
                MOV     BUF_KEY,#7
                MOV     LCD_DATA,#37H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_8:      CJNE    A,#3,CHK_KEY_9          ;KEY 8
                MOV     BUF_KEY,#8
                MOV     LCD_DATA,#38H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_9:      CJNE    A,#4,CHK_KEY_0          ;KEY 9
                MOV     BUF_KEY,#9
                MOV     LCD_DATA,#39H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET
CHK_KEY_0:      CJNE    A,#15,CHK_KEY_E         ;KEY 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     BUF_KEY,#0
                MOV     LCD_DATA,#30H
                CALL    WRCHAR_LCD
                RET

CHK_KEY_E:      JMP     RE_KEY4


;-------------------------------------------------------------
; Keypad Scan key Subroutine
; O/P = KPAD_DATA
;-------------------------------------------------------------
GET_KPAD:       MOV     P0,#0FFH        ; Pull P2 to High (1-Wire
not affect)

CHK_COL0:       CLR     KPAD_COL0       ; Begin Scan Column 0
                MOV     A,P0            ; Get Port2 Value
                ANL     A,#00FH         ; Get only lower 4 bit
                CJNE    A,#00FH,COL0_DETECT ; Check All rows '1'?
                JMP     CHK_COL1        ; All rows '1' => check
next column

COL0_DETECT:    MOV     KPAD_DATA,#01   ; Initial KPAD_DATA = 1
                JMP     GET_ROW         ; Jump to get row value

CHK_COL1:       CLR     KPAD_COL1       ; Stop  Scan Column 0
                SETB    KPAD_COL0       ; Begin Scan Column 1
                SETB    KPAD_COL2       ; Begin Scan Column 2
                SETB    KPAD_COL3       ; Begin Scan Column 3

                MOV     A,P0            ; Get Port2 Value
                ANL     A,#00FH         ; Get only lower 4 bit
                CJNE    A,#00FH,COL1_DETECT ; Check All rows '1'?
                JMP     CHK_COL2        ; All rows '1' => check
next column

COL1_DETECT:    MOV     KPAD_DATA,#02   ; Initial KPAD_DATA = 2
                JMP     GET_ROW         ; Jump to get row value

CHK_COL2:       CLR     KPAD_COL2       ; Stop  Scan Column 2
                SETB    KPAD_COL0       ; Begin Scan Column 0
                SETB    KPAD_COL1       ; Begin Scan Column 1
                SETB    KPAD_COL3       ; Begin Scan Column 2
                MOV     A,P0            ; Get Port0 Value
                ANL     A,#00FH         ; Get only lower 4 bit
                CJNE    A,#00FH,COL2_DETECT ; Check All rows '1'?
                JMP     CHK_COL3
                RET                     ; All rows '1' => return

COL2_DETECT:    MOV     KPAD_DATA,#03   ; Initial KPAD_DATA = 2
                JMP     GET_ROW

CHK_COL3:       CLR     KPAD_COL3       ; Stop  Scan Column 3
                SETB    KPAD_COL0       ; Begin Scan Column 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                SETB    KPAD_COL1         ; Begin Scan Column 1
                SETB    KPAD_COL2         ; Begin Scan Column 2
                MOV     A,P0              ; Get Port0 Value
                ANL     A,#00FH           ; Get only lower 4 bit
                CJNE    A,#00FH,COL3_DETECT ; Check All rows '1'?
                JMP     GET_KPAD

COL3_DETECT:    MOV     KPAD_DATA,#04     ; Initial KPAD_DATA = 2

GET_ROW:        CLR     KPAD_COL0         ; Enable all Column to find
Crosspoint
                CLR     KPAD_COL1         ;
                CLR     KPAD_COL2         ;
                CLR     KPAD_COL3

                JB      KPAD_ROW0,CHK_ROW1 ; Check Row 0 Detect?
                RET                       ; Row 0 Detect => return

CHK_ROW1:       JB      KPAD_ROW1,CHK_ROW2 ; Check Row 2 Detect?
                MOV     A,KPAD_DATA       ; Add 3 with KPAD_DATA
                ADD     A,#4              ;
                MOV     KPAD_DATA,A       ;
                RET                       ; Return

CHK_ROW2:       JB      KPAD_ROW2,CHK_ROW3 ; Check Row 2 Detect?
                MOV     A,KPAD_DATA       ; Add 6 with KPAD_DATA
                ADD     A,#8              ;
                MOV     KPAD_DATA,A       ;
                RET                       ; Return

CHK_ROW3:       MOV     A,KPAD_DATA       ; Add 9 with KPAD_DATA
                ADD     A,#12             ;
                MOV     KPAD_DATA,A       ;
                RET                       ; Return

;-------------------------------------------------------------------
--; LCD Initialize
;-------------------------------------------------------------------
-- INIT_LCD:       CALL    DELAY_100ms     ; Delay
                CLR     LCD_RS            ; Clear LCD_RS Pin

                MOV     IO_DATA,#38H

                CALL    LCD_CLK           ; Pulse LCD Clock
                CALL    DELAY_10ms        ; Delay

                MOV     IO_DATA,#38H
                CALL    LCD_CLK           ; Pulse LCD Clock

                MOV     IO_DATA,#0DH
                CALL    LCD_CLK           ; Pulse LCD Clock

                MOV     IO_DATA,#06H
                CALL    LCD_CLK           ; Pulse LCD Clock
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     IO_DATA,#01H
                CALL    LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock

                RET

;-----------------------------------------------------------------
--; Write 4 Line LCD from ROM
; I/P:          DPTR
;-----------------------------------------------------------------
-- WR_LCD:          MOV     LCD_ADDR,#00
                CALL    WRR
                MOV     LCD_ADDR,#40H
                CALL    WRR
                MOV     LCD_ADDR,#14H
                CALL    WRR
                MOV     LCD_ADDR,#54H
                CALL    WRR
                RET

WRR:            CALL    SET_ADDR_LCD
                CALL    WRLINE_LCD
                RET


;---------------- CLEAR LCD ---------------------------------------
--;  Clear Lcd
;-----------------------------------------------------------------
-- LCD_CLR:         MOV     IO_DATA,#01H
                CALL    LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
                RET

;-----------------------------------------------------------------
--; LCD Clk
;-----------------------------------------------------------------
-- LCD_CLK:         SETB    LCD_EN          ; Pulse Clock to LCD_EN
                CALL    LCD_DELAY
                CLR     LCD_EN
                CALL    LCD_DELAY
                RET
;-----------------------------------------------------------------
--
; Set LCD Address
; I/P:          LCD_ADDR
;-----------------------------------------------------------------
--
SET_ADDR_LCD:   CLR     LCD_RS          ; Clear LCD_RS Pin
                MOV     A,LCD_ADDR      ; Move LCD_ADDR to ACC.
                SETB    ACC.7           ; Set bit ACC.7
                MOV     IO_DATA,A       ; Move to DATABUS
                CALL    LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
                RET
;-----------------------------------------------------------------
--; Write Character to show LCD
; I/P:          LCD_DATA
;-----------------------------------------------------------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
WRCHAR_LCD:     SETB    LCD_RS          ; Set LCD_RS Pin
                MOV     IO_DATA,LCD_DATA; Move LCD_DATA to DATABUS
                CALL    LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
                RET

;-----------------------------------------------------------------
--; Write Line of 16 Character from ROM
; I/P:          DPTR : Locate ROM Address
;-----------------------------------------------------------------
-- WRLINE_LCD:     MOV     R0,#0           ; Clear loop counter
WRLINE_LCD_1:   SETB    LCD_RS          ; Set LCD_RS Pin
                CLR     A               ; Clear ACC.
                MOVC    A,@A+DPTR       ; Move data from @DPTR to
ACC.
                MOV     IO_DATA,A       ; Move ACC. to DATABUS
                CALL    LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
                INC     DPTR            ; Increase Pointer
                INC     R0              ; Increase loop counter
                CJNE    R0,#20,WRLINE_LCD_1 ; Do until 8 times
                RET

;-----------------------------------------------------------------
--; Convert Digital Volt To 0.00V - 5.00V
;-----------------------------------------------------------------
-- CON_AMP:       PUSH    ACC
                MOV     A,LCD_DATA
                MOV     B,#100
                DIV     AB
                ADD     A,#30H
                MOV     LCD_DATA,A
                CALL    WRCHAR_LCD
                MOV     LCD_DATA,#02EH ;.
                CALL    WRCHAR_LCD
                MOV     A,B
                MOV     B,#10
                DIV     AB
                CJNE    A,#10,NX
                MOV     A,#0
        NX:     ADD     A,#30H
                MOV     LCD_DATA,A
                CALL    WRCHAR_LCD
                MOV     A,B
                ADD     A,#30H
                MOV     LCD_DATA,A
                CALL    WRCHAR_LCD
                POP     ACC
                RET

;-----------------------------------------------------------------
--; Convert Digital Volt To 0.0V - 25.00V
;-----------------------------------------------------------------
-- CON_25:        PUSH    ACC
               MOV     A,LCD_DATA
               MOV     B,#100
               DIV  AB
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CJNE    A,#0,WR_
                MOV     A,#20H
                JMP     WR_X
        WR_:    ADD     A,#30H
        WR_X:   MOV     LCD_DATA,A
                CALL    WRCHAR_LCD
                MOV     A,B
                MOV     B,#10
                DIV     AB
                ADD     A,#30H
                MOV     LCD_DATA,A
                CALL    WRCHAR_LCD
                MOV     LCD_DATA,#02EH ;.
                CALL    WRCHAR_LCD
                MOV     A,B
                ADD     A,#30H
                MOV     LCD_DATA,A
                CALL    WRCHAR_LCD
                POP     ACC
                RET

;-------------------------------------------------------------------
--; I2C PCF8591 Write
;-------------------------------------------------------------------
-- PCF8591_WR:     MOV     I2C_ADDR,PCF8591_ID ; Set PCF8591 as I2C
Write Slave
                CALL    I2C_SLAVE       ; Connect Slave

                MOV     I2C_DATA,#40H   ; Write CONTROL to Slave
                CALL    I2C_DATA_WR     ; Write Data to Slave

                MOV     I2C_DATA,DA_DATA ; Write D/A Data to Slave
                CALL    I2C_DATA_WR     ; Write Data to Slave

                CALL    I2C_STOP        ; Send Stop Condition
                RET                     ; Return

;-------------------------------------------------------------------
--; I2C PCF8591 Read
;-------------------------------------------------------------------
-- PCF8591_RD:      MOV     I2C_ADDR,PCF8591_ID ; Set PCF8591 as I2C
Write Slave
                CALL    I2C_SLAVE           ; Connect Slave
                MOV     A,PCF8591_ID
                SETB    ACC.0
                MOV     PCF8591_ID,A
                MOV     I2C_ADDR,PCF8591_ID

                CALL    I2C_DATA_RD
                MOV     AD_DATA,I2C_DATA
                CALL    I2C_NACK_BIT

                CALL    I2C_STOP
                RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;-----------------------------------------------------------------
--; I2C Data Write
; I/P:          I2C_DATA
;-----------------------------------------------------------------
-- I2C_DATA_WR:    PUSH    ACC              ; Push ACC.
                   SETB    I2C_ACK          ; Set ACK. bit
                   MOV     A,I2C_DATA       ; Get Data
                   MOV     R5,#008          ; Set loop 8 times
I2C_DATA_WR_1:     RLC     A                ; Rotate ACC. to Left with
Carry
                   MOV     SDA,C            ; Move Carry Flag to SDA
                   CALL    I2C_CLK          ; Pulse I2C Clock
                   DJNZ    R5,I2C_DATA_WR_1 ; Do until 8 times
                   SETB    SDA              ; Set SDA
                   CALL    I2C_DELAY        ; Delay
                   SETB    SCL              ; Set SCL
                   CALL    I2C_DELAY        ; Delay
                   JB      SDA,I2C_DATA_WR_2 ; Check Acknowledge from
Slave
                   CLR     I2C_ACK          ; Clear ACK. bit
I2C_DATA_WR_2:     CLR     SCL              ; Clear SCL
                   POP     ACC              ; Pop ACC.
                   RET                      ; Return

;-----------------------------------------------------------------
--; I2C Data Read
; O/P:          I2C_DATA
;-----------------------------------------------------------------
-- I2C_DATA_RD:    PUSH    ACC              ; Push ACC.
                   CLR     A                ; Clear ACC.
                   MOV     R5,#008          ; Set loop 8 times
I2C_DATA_RD_1:     CALL    I2C_DELAY        ; Delay
                   SETB    SCL              ; Set SCL
                   CALL    I2C_DELAY        ; Delay
                   MOV     C,SDA            ; Get SDA to Carry Flag
                   RLC     A                ; Rotate ACC. to Left with
Carry
                   CLR     SCL              ; Clear SCL
                   DJNZ    R5,I2C_DATA_RD_1 ; Do until 8 times
                   MOV     I2C_DATA,A       ; Move Data to I2C_DATA
                   POP     ACC              ; Pop ACC.
                   RET                      ; Return

;-----------------------------------------------------------------
--; I2C Slave Connect
; I/P:          I2C_ADDR
; O/P Flag:     I2C_ACK
;-----------------------------------------------------------------
-- I2C_SLAVE:      PUSH    ACC              ; Push ACC.
                   SETB    I2C_ACK          ; Set ACK. bit
                   MOV     A,I2C_ADDR       ; Get Slave Address
                   CALL    I2C_START        ; Send Start Condition
                   MOV     R5,#008          ; Set loop 8 times
I2C_SLAVE_1:       RLC     A                ; Rotate ACC. to Left with
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Carry
                MOV     SDA,C              ; Move Carry Flag to SDA
                CALL    I2C_CLK            ; Pulse I2C Clock
                DJNZ    R5,I2C_SLAVE_1     ; Do until 8 times

                SETB    SDA                ; Set SDA
                CALL    I2C_DELAY          ; Delay
                SETB    SCL                ; Set SCL
                CALL    I2C_DELAY          ; Delay
                JB      SDA,I2C_SLAVE_2    ; Check Acknowledge from
Slave
                CLR     I2C_ACK            ; Clear ACK.
I2C_SLAVE_2:    CLR     SCL                ; Clear SCL
                POP     ACC                ; Pop ACC.
                RET                        ; Return

;-------------------------------------------------------------------
--; I2C Start Condition
;-------------------------------------------------------------------
-- I2C_START:      SETB    SCL                ; Set SCL
                SETB    SDA                ; Set SDA
                CALL    I2C_DELAY          ; Delay
                CLR     SDA                ; Clear SDA during SCL set
                CALL    I2C_DELAY          ; Delay
                CLR     SCL                ; Clear SCL
                RET                        ; Return

;-------------------------------------------------------------------
--; I2C Stop Condition
;-------------------------------------------------------------------
-- I2C_STOP:       CLR     SDA                ; Clear SDA
                CALL    I2C_DELAY          ; Delay
                SETB    SCL                ; Set SCL
                CALL    I2C_DELAY          ; Delay
                SETB    SDA                ; Set SDA during SCL set
                RET                        ; Return

;-------------------------------------------------------------------
--; I2C Clock
;-------------------------------------------------------------------
-- I2C_CLK:        CALL    I2C_DELAY          ; Pulse SCL
                SETB    SCL                ;
                CALL    I2C_DELAY          ;
                CLR     SCL                ;
                RET                        ; Return

;-------------------------------------------------------------------
--; I2C Not Acknowledge
;-------------------------------------------------------------------
-- I2C_NACK_BIT:   SETB    SDA                ; Set SDA
                CALL    I2C_DELAY          ; Delay
                CALL    I2C_CLK            ; Pulse I2C Clock
        RET             ; Return
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;-----------------------------------------------------------------
--; Dummy Delay time I2C_DELAY, LCD_DELAY, 10m, 100m, 1s
;-----------------------------------------------------------------
-- I2C_DELAY:      MOV     6,#00CH          ; Each loop = 50 us
I2C_DELAY_1:    NOP
                NOP
                DJNZ    R6,I2C_DELAY_1
                RET

LCD_DELAY:      MOV     7,#002           ; Do 2 times
CD_DELAY:       MOV     7,#002           ; Do 2 times
LCD_DELAY_1:    MOV     6,#0E6H          ; Each loop = 1 ms
LCD_DELAY_2:    NOP
                NOP
                DJNZ    R6,LCD_DELAY_2
                DJNZ    R7,LCD_DELAY_1
                RET

;-----------------------------------------------------------------
--; Write Data to Lcd 4 Line LCD from ROM
; I/P:
;-----------------------------------------------------------------
-- WRITE_CH:      MOV     A,CH
WRITE_CH1:      CJNE    A,#0,WRITE_CH2
                MOV     LCD_ADDR,#05H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,DA_DATA1
                MOV     DATA_BUF2,DA_DATA1
                CALL    CON_25
                RET

WRITE_CH2:      CJNE    A,#1,WRITE_CH3
                MOV     LCD_ADDR,#45H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,DA_DATA2
                MOV     DATA_BUF2,DA_DATA2
                CALL    CON_25
                RET

WRITE_CH3:      CJNE    A,#2,WRITE_CH4
                MOV     LCD_ADDR,#19H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,DA_DATA3
                MOV     DATA_BUF2,DA_DATA3
                CALL    CON_25
                RET

WRITE_CH4:      MOV     LCD_ADDR,#59H
                CALL    SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,DA_DATA4
                MOV     DATA_BUF2,DA_DATA4
                CALL    CON_25
                RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;-----------------------------------------------------------------
--
; FUNCTION BEEP
; Sound Bit = 0 Beep On,Sound Bit = 1 Beep Off
;-----------------------------------------------------------------
-- BEEP:          JB      SOUND_BIT,BEEP_EXIT
                  SETB    RS0
                  MOV     R1,#40H
                  MOV     R2,#03H
                  CALL    SOUND
                  CLR     RS0
BEEP_EXIT:        RET

;-----------------------------------------------------------------
--; Sound Generator
; Use Registor Sound Generator
;-----------------------------------------------------------------
-- SOUND:          PUSH    ACC
                  MOV     R3,#80H
                  MOV     R4,#0H
SOUND1:           CALL    SOUND2
                  CJNE    R4,#1H,SOUND1
                  MOV     R3,#0H
                  POP     ACC
                  RET
SOUND2:           SETB    P1.4
                  CALL    SOUND3
                  CLR     P1.4
                  CALL    SOUND3
                  RET
SOUND3:           DJNZ    R3,SOUND4
                  JMP     SOUND6
SOUND4:           MOV     A,R1
SOUND5:           DEC     A
                  JNZ     SOUND5
                  RET
SOUND6:           MOV     R3,#80H
                  DJNZ    R2,SOUND3
                  MOV     R4,#1H
                  RET

;-----------------------------------------------------------------
--; Delay Routine
; Use Registor Delay
;-----------------------------------------------------------------
-- DELAY_10ms:     MOV     7,#010          ; Do 10 times
DELAY_10ms_1:     MOV     6,#0E6H         ; Each loop = 1 ms
DELAY_10ms_2:     NOP
                  NOP
                  DJNZ    R6,DELAY_10ms_2
                  DJNZ    R7,DELAY_10ms_1
                  RET

DELAY_1ms:        MOV     6,#0E6H         ; Each loop = 1 ms
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

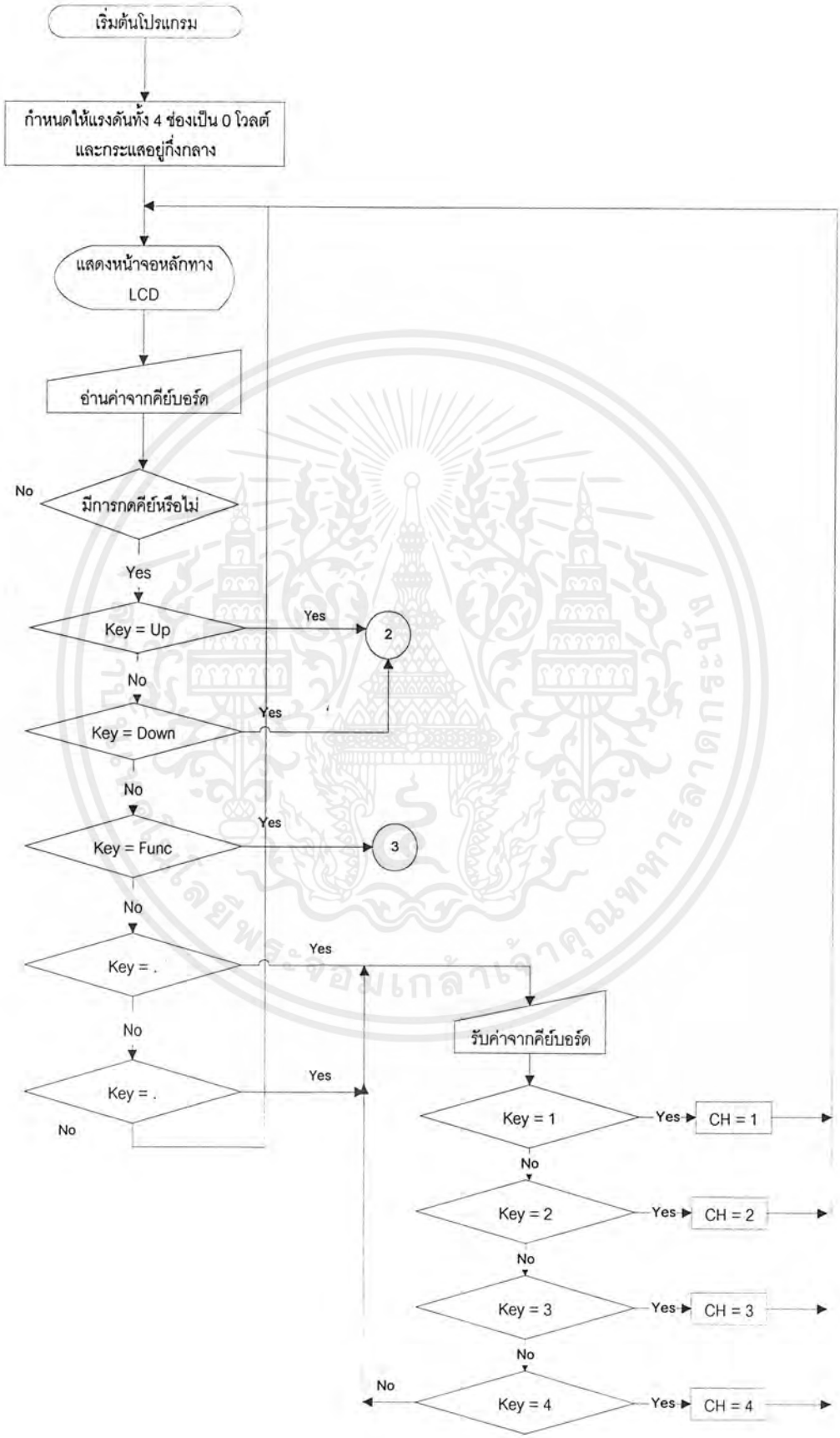
```
DELAY_1ms_1:    NOP
                NOP
                DJNZ    R6,DELAY_1ms_1
                RET

DELAY_50ms:     MOV     7,50            ; Do 50 times
DELAY_50ms_1:   MOV     6,#0E6H           ; Each loop = 1 ms
DELAY_50ms_2:   NOP
                NOP
                DJNZ    R6,DELAY_50ms_2
                DJNZ    R7,DELAY_50ms_1
                RET

DELAY_100ms:    MOV     7,#100            ; Do 100 times
DELAY_100ms_1:  MOV     6,#0E6H                 ; Each loop = 1 ms
DELAY_100ms_2:  NOP
                NOP
                DJNZ    R6,DELAY_100ms_2
                DJNZ    R7,DELAY_100ms_1
                RET

DELAY_500ms:    MOV     4,#5            ; Do 100 times
DELAY_500ms_1:  CALL    DELAY_100ms     ; Each loop = 100 ms
                DJNZ    R4,DELAY_500ms_1
                RET

DELAY_1s:       MOV     5,#100                  ; Do 100 times
DELAY_1s_1:     CALL    DELAY_10ms
                DJNZ    R5,DELAY_1s_1
                RET

DELAY_5s:       MOV     3,#5                    ; Do 100 times
DELAY_5s_1:     CALL    DELAY_1s
                DJNZ    R5,DELAY_5s_1
                RET

;-------------------------------------------------------------
--; Table Data
; Define Byes
;-------------------------------------------------------------
--
START_MENU:     DB    "Digital Power Supply"
                DB    "4 Channel 4x25v V1.0"
                DB    "Design By ID.ED 21   "
                DB    "Electronics&Computer"

FUNC_MENU:      DB    "-- Menu Function ---"
                DB    "1)Sound  2)Step Size"
                DB    "3)Correc 4)Zero O/P "
                DB    "5)DVM    6)Store_Mem"

TITLE1:         DB    "CH1:      V,       A"
                DB    "CH2:      V,       A"
                DB    "CH3:      V,       A"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

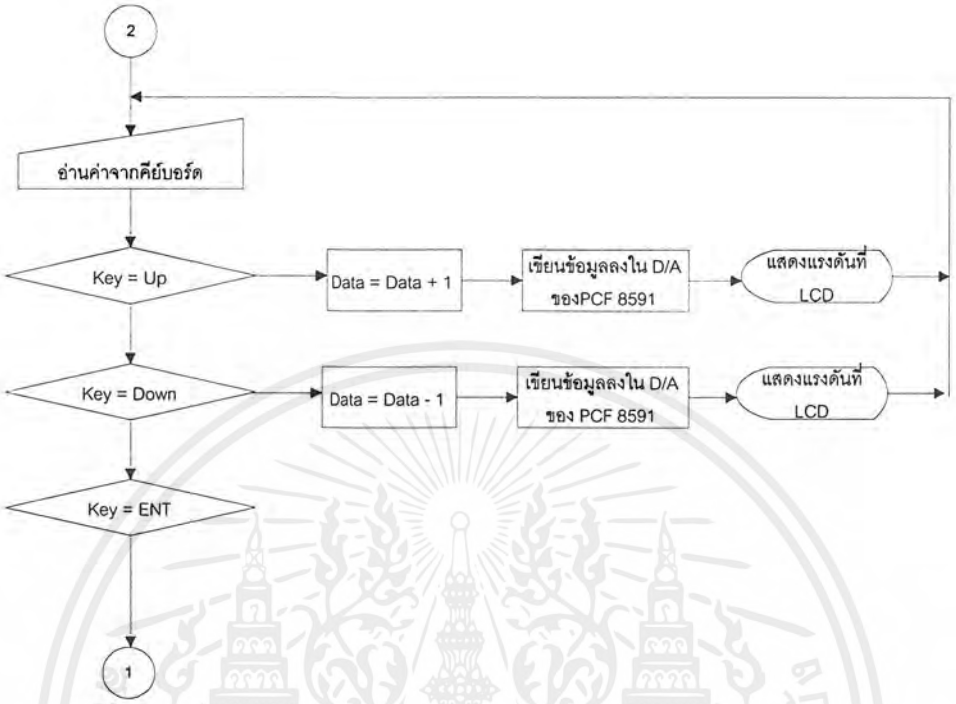
```
      DB    "CH4:       V,       A"
DIGITAL_VOLT:   DB    "<< DIGITAL METER >>>"
                DB    "CH1:      V,CH2:     V"
                DB    "CH3:      V,CH4:     V"
                DB    "####################"

SOUND_ON_OFF:   DB    " ___SOUND ON/OFF___  "
                DB    "| [1] Sound On      |"
                DB    "| [2] Sound Off     |"
                DB    "|____________________|"

SOUND_ON:       DB    "| Now Sound is On   |"
SOUND_OFF:      DB    "| Now Sound is Off  |"

STEP__SIZE:     DB    " ---- Step Size --- "
                DB    "| [1] Step 100 mV   |"
                DB    "| [2] Step 1 V      |"
                DB    "|___________________|"

STEP_100_mV:    DB    "| Now Step is 100mV|"
STEP_1_V:       DB    "| Now Step is 1 V   |"

EDIT_IN_MEM:    DB    "---- Store Size ----"
                DB    "1)3 V  2)5 V  3) 6 V"
                DB    "4)9 V  5)10 V 6) 12V"
                DB    "7)15V  8)18 V 9) 24V"

                END
```

รูปที่ ค.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

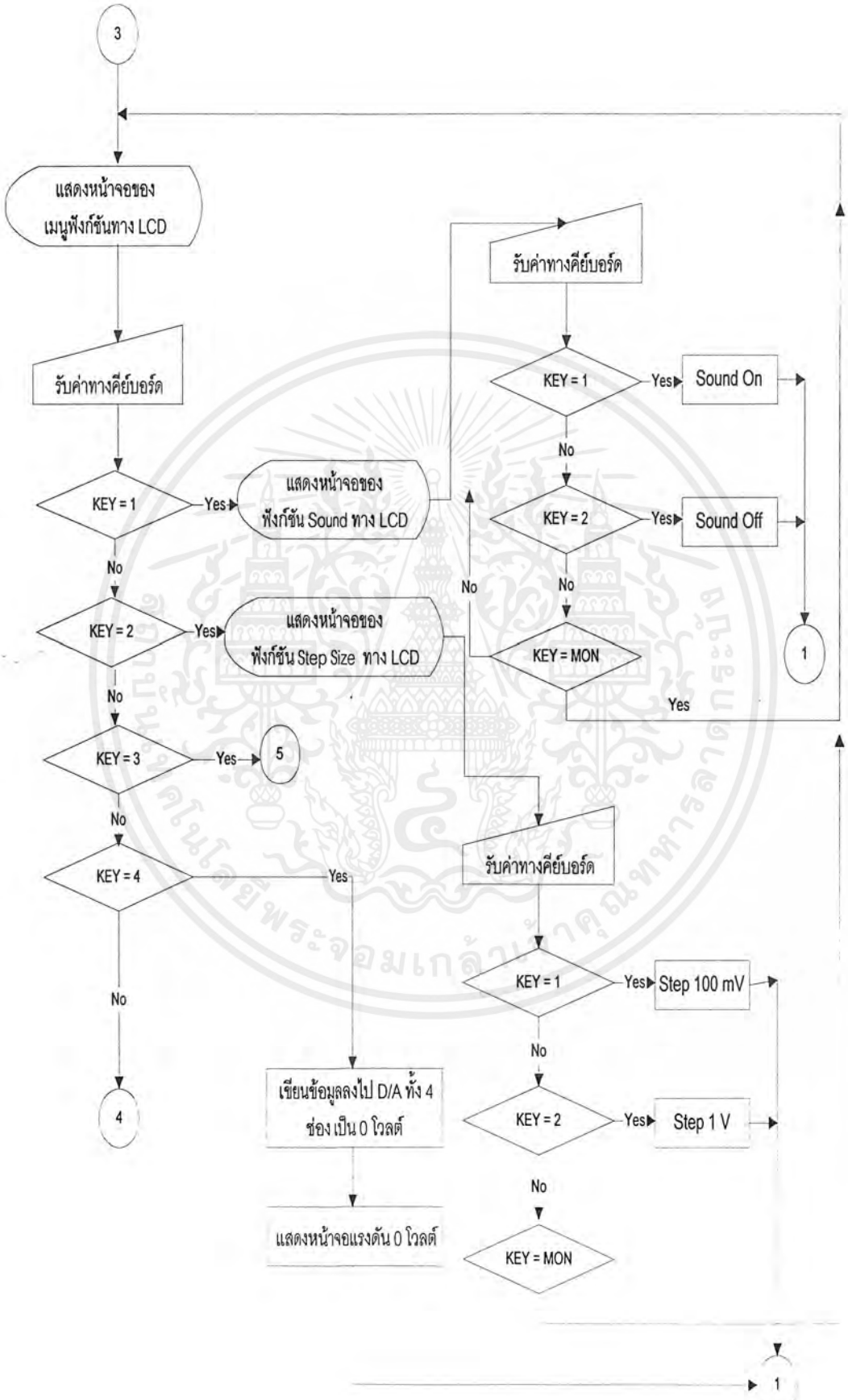
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



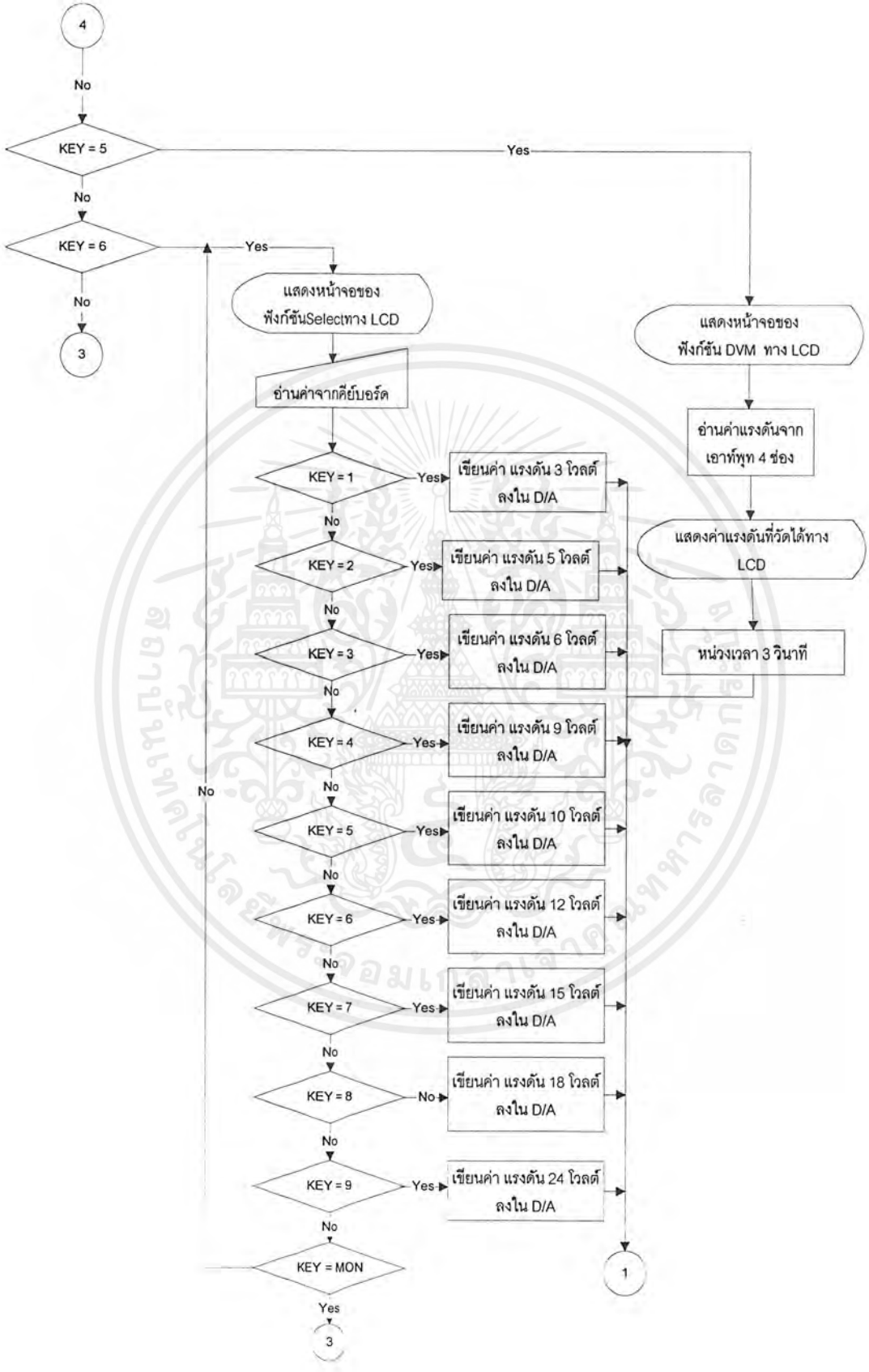
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.2 ผังงานของโปรแกรมควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Option Explicit
Private Sub Form_Load()
    OpenPort.Enabled = False                    'Close Name
    ClosePort.Enabled = False                   'Close Name
    cmdsend1.Enabled = False
    cmdsend2.Enabled = False
    cmdsend3.Enabled = False
    cmdsend4.Enabled = False
    If MSComm1.PortOpen = False Then
        StatusPort.Caption = "Port closed"
        Shape1.BackColor = QBColor(10)
        Shape2.BackColor = 255
        Status.Caption = "Not used Com port"
    Else
        StatusPort.Caption = "Port already opened"
        Shape1.BackColor = 255
        Shape2.BackColor = QBColor(10)
        Status.Caption = "Com : 2 used now"
    End If
End Sub
Private Sub mnuexit_Click()
    End
End Sub
Private Sub OpenPort_Click()
    On Error GoTo error_open
    MSComm1.InBufferCount = 0
    Frame1.Enabled = False
        If MSComm1.PortOpen = False Then
MSComm1.Settings = "9600,n,8,1"
        MSComm1.PortOpen = True
        StatusPort.Caption = "Port opened"
        Shape2.BackColor = QBColor(10)
        Shape1.BackColor = 255
        Status.Caption = "Com : " & MSComm1.CommPort & " used now"
    cmdsend1.Enabled = True
    cmdsend2.Enabled = True
    cmdsend3.Enabled = True
    cmdsend4.Enabled = True
    Else
        StatusPort.Caption = "Port already opened"
        Status.Caption = "Com : " & MSComm1.CommPort & " used now"
    End If
        OpenPort.Enabled = False
        ClosePort.Enabled = True
    Exit Sub
error_open:  MsgBox ("On error in port")
             Frame1.Enabled = True
             Option1.Value = False
             Option2.Value = False
             Option3.Value = False
             StatusPort.Caption = "Port already opened"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub
Private Sub ClosePort_Click()
    Frame1.Enabled = True
              Option1.Value = False
              Option2.Value = False Option3.Value = False
        OpenPort.Enabled = False
    If MSComm1.PortOpen = False Then
        StatusPort.Caption = "Port already closed"
        Shape1.BackColor = QBColor(10)
        Shape2.BackColor = QBColor(10)
        Status.Caption = "Not used Com port"
    Else
        MSComm1.PortOpen = False
        StatusPort.Caption = "Port closed"
        Shape1.BackColor = QBColor(10)
        Shape2.BackColor = 255
        Status.Caption = "Not used Com port"
    End If
End Sub
Private Sub Option1_Click()
         MSComm1.CommPort = 1
        OpenPort.Enabled = True
        StatusPort.Caption = "COM " & MSComm1.CommPort & "
SELECTED"
End Sub
Private Sub Option2_Click()
    MSComm1.CommPort = 2
    OpenPort.Enabled = True
    StatusPort.Caption = "COM " & MSComm1.CommPort & " SELECTED"
End Sub
Private Sub Option3_Click()
    MSComm1.CommPort = 3
    OpenPort.Enabled = True
StatusPort.Caption = "COM " & MSComm1.CommPort & " SELECTED"
End Sub
Private Sub Timer1_Timer()
    lbtime.Caption = Now()
End Sub
Private Sub cmdsend1_Click()
Dim BUFFER As Variant
Dim BUFFER1 As Variant
On Error GoTo Again
        MSComm1.OutBufferCount = 0
            MSComm1.Output = "0"
            MSComm1.OutBufferCount = 0
            BUFFER = ""
'*****************    Start Send Data  *********************
If TextSend(0).Text <> "" Then
        BUFFER = TextSend(0).Text * 10
        If Val(BUFFER) <= 250 Then
            MSComm1.InBufferCount = 0
                MSComm1.Output = Chr(Hex("&H" & BUFFER))
                MSComm1.InputLen = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

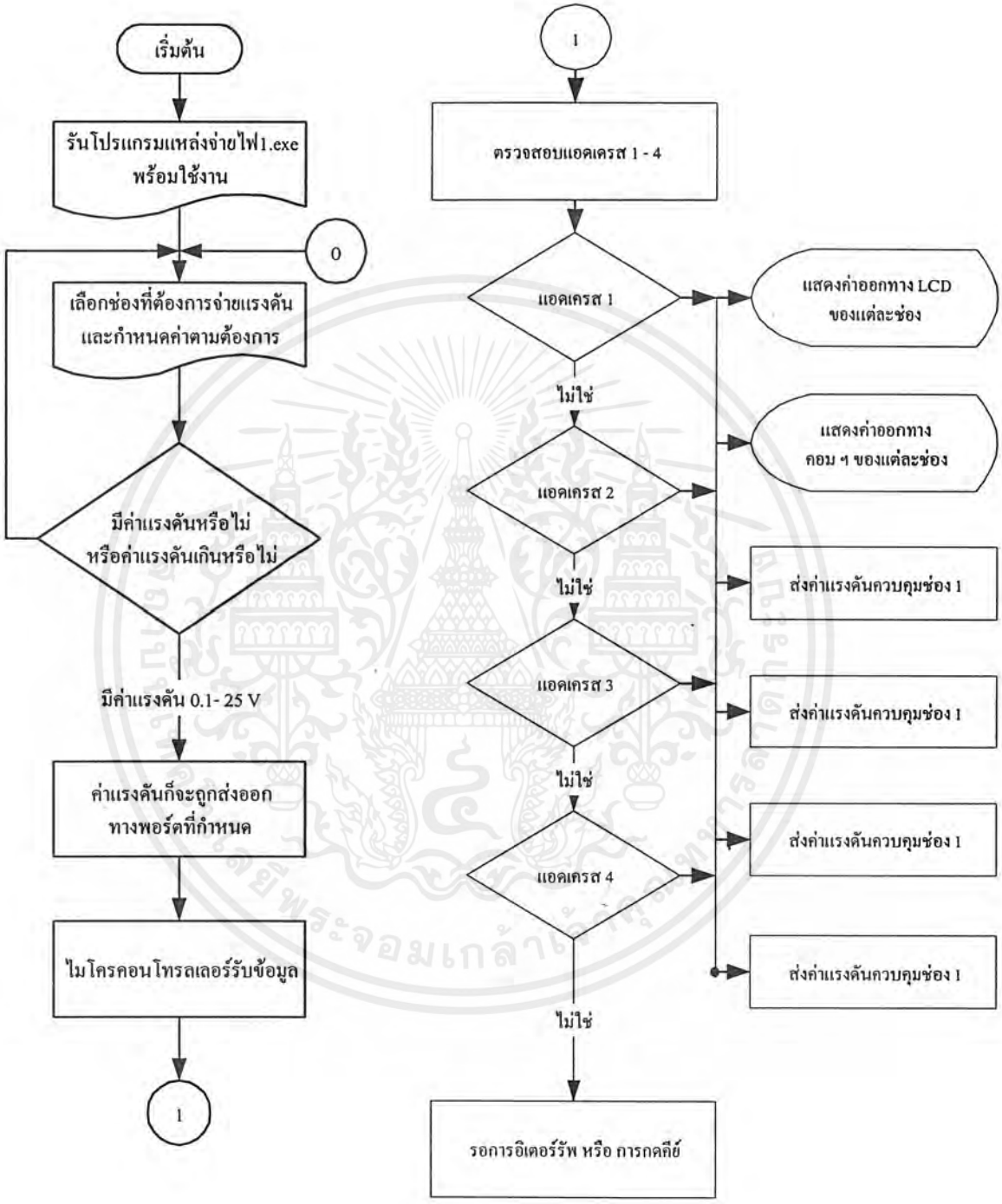
```
'Data Volt
                For I = 0 To 1000
                If MSComm1.InBufferCount Then
                    BUFFER1 = MSComm1.Input                    'Show
Data TextRecive(0)
                    TextRecive(0).Text = (BUFFER) / 10
                End If
                Next I
'*****************   End Of Send Data   *******************
        End If
    End If
Exit Sub
Again:  MsgBox ("Data Over .... Please Put Data Again")
End Sub
Private Sub cmdsend2_Click()
Dim BUFFER As Variant
Dim BUFFER1 As Variant
On Error GoTo Again
        MSComm1.OutBufferCount = 0
            MSComm1.Output = "1"
            MSComm1.OutBufferCount = 0
            BUFFER = ""
'*****************    Start Send Data  *********************
    If TextSend(1).Text <> "" Then
        BUFFER = TextSend(1).Text * 10
        If Val(BUFFER) <= 250 Then
            MSComm1.InBufferCount = 0
            MSComm1.Output = Chr(Hex("&H" & BUFFER))
            MSComm1.InputLen = 0
                For I = 0 To 1000
                If MSComm1.InBufferCount Then
                    BUFFER1 = MSComm1.Input                    'Show
Data TextRecive(1)
                    TextRecive(1).Text = (BUFFER) / 10
                End If
                Next I
'*****************   End Of Send Data   *******************
        End If
    End If
    Exit Sub
Again:  MsgBox ("Data Over .... Please Put Data Again")
End Sub
Private Sub cmdsend3_Click()
Dim BUFFER As Variant
Dim BUFFER1 As Variant
On Error GoTo Again
        MSComm1.OutBufferCount = 0
            MSComm1.Output = "2"
            MSComm1.OutBufferCount = 0
            BUFFER = ""
'*****************    Start Send Data  *********************
If TextSend(2).Text <> "" Then
        BUFFER = TextSend(2).Text * 10
        If Val(BUFFER) <= 250 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MSComm1.InBufferCount = 0
            MSComm1.Output = Chr(Hex("&H" & BUFFER))
            MSComm1.InputLen = 0
                For I = 0 To 1000
                If MSComm1.InBufferCount Then
                    BUFFER1 = MSComm1.Input                    'Show
Data TextRecive(2)
                    TextRecive(2).Text = (BUFFER) / 10
                End If
                Next I
'*****************   End Of Send Data   ******************
        End If
    End If
    Exit Sub
Again:  MsgBox ("Data Over .... Please Put Data Again")
End Sub
Private Sub cmdsend4_Click()
Dim BUFFER As Variant
Dim BUFFER1 As Variant
Dim I As Integer
On Error GoTo Again
        MSComm1.OutBufferCount = 0
            MSComm1.Output = "3"
            MSComm1.OutBufferCount = 0
            BUFFER = ""
'*****************   Start Send Data  *********************
    If TextSend(3).Text <> "" Then
        BUFFER = TextSend(3).Text * 10
        If Val(BUFFER) <= 250 Then
            MSComm1.InBufferCount = 0
            MSComm1.Output = Chr(Hex("&H" & BUFFER))
            MSComm1.InputLen = 0
                For I = 0 To 1000
                If MSComm1.InBufferCount Then
                    BUFFER1 = MSComm1.Input                    'Show
Data TextRecive(3)
                    TextRecive(3).Text = (BUFFER) / 10
                End If
                Next I
'*****************   End Of Send Data   ******************
        End If
    End If
    Exit Sub
Again:  MsgBox ("Data Over .... Please Put Data Again")
End Sub
```

รูปที่ ค.3 โปรแกรมควบคุมการทำงานโดยไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.4 ผังงานของโปรแกรมควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
รายละเอียดข้อมูล และคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HARRIS SEMICONDUCTOR

ICL232

+5V Powered Dual RS-232 Transmitter/Receiver

December 1993

Features

- Meets All RS-232C Specifications
- Requires Only Single +5V Power Supply
- Onboard Voltage Doubler/Inverter
- Low Power Consumption
- 2 Drivers
  - ±9V Output Swing for +5V Input
  - 300Ω Power-off Source Impedance
  - Output Current Limiting
  - TTL/CMOS Compatible
  - 30V/µs Maximum Slew Rate
- 2 Receivers
  - ±30V Input Voltage Range
  - 3kΩ to 7kΩ Input Impedance
  - 0.5V Hysteresis to Improve Noise Rejection
- All Critical Parameters are Guaranteed Over the Entire Commercial, Industrial and Military Temperature Ranges

Applications

- Any System Requiring RS-232 Communications Port
  - Computer - Portable and Mainframe
  - Peripheral - Printers and Terminals
  - Portable Instrumentation
  - Modems
  - Dataloggers

Description

The ICL232 is a dual RS-232 transmitter/receiver interface circuit that meets all EIA RS-232C specifications. It requires a single +5V power supply, and features two onboard charge pump voltage converters which generate +10V and -10V supplies from the 5V supply.

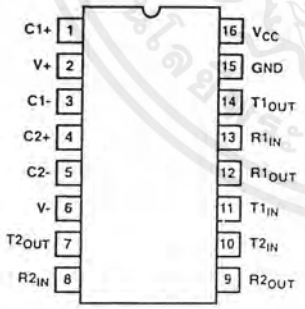
The drivers feature true TTL/CMOS input compatibility, slew-rate-limited output, and 300Ω power-off source impedance. The receivers can handle up to +30V, and have a 3kΩ to 7kΩ input impedance. The receivers also have hysteresis to improve noise rejection.

Ordering Information

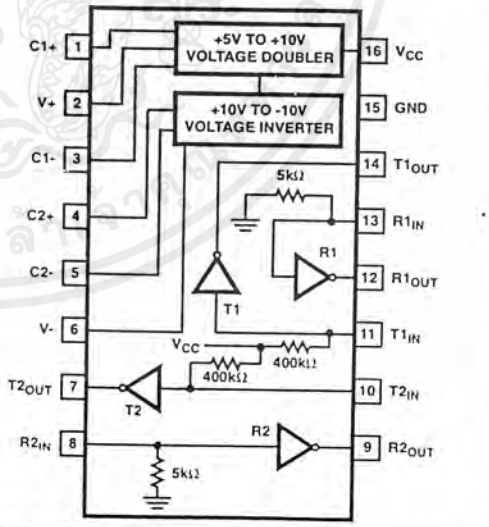
PART NUMBER	TEMPERATURE RANGE	PACKAGE
ICL232CPE	0°C to +70°C	16 Lead Plastic DIP
ICL232CJE	0°C to +70°C	16 Lead Ceramic DIP
ICL232CBE	0°C to +70°C	16 Lead SOIC (W)
ICL232IPE	-40°C to +85°C	16 Lead Plastic DIP
ICL232IJE	-40°C to +85°C	16 Lead Ceramic DIP
ICL232IBE	-40°C to +85°C	16 Lead SOIC (W)
ICL232MJE	-55°C to + 125°C	16 Lead Ceramic DIP

Pinouts

ICL232
(PDIP, CDIP, SOIC)
TOP VIEW



Functional Diagram



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper I.C. Handling Procedures.

Copyright © Harris Corporation 1993

File Number 3020.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications ICL232

Absolute Maximum Ratings

V_{CC} to Ground ..... (GND -0.3V) <V_{CC} < 6V
V+ to Ground ..... (V_{CC} -0.3V) <V+ < 12V
V- to Ground ..... -12V < V- < (GND +0.3V)
Input Voltages
  $T1_{IN}$, $T2_{IN}$ ..... (V- -0.3V) < V_{IN} < (V+ +0.3V)
  $R1_{IN}$, $R2_{IN}$ ..... ±30V
Output Voltages
  $T1_{OUT}$, $T2_{OUT}$ ..... (V- -0.3V) < V_{TXOUT} < (V+ +0.3V)
  $R1_{OUT}$, $R2_{OUT}$ ..... (GND -0.3V) < V_{RXOUT} < (V_{CC} +0.3V)
Short Circuit Duration
  $T1_{OUT}$, $T2_{OUT}$ ..... Continuous
  $R1_{OUT}$, $R2_{OUT}$ ..... Continuous
Storage Temperature Range ..... -65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering 10s) ..... +300°C

Thermal Information

Thermal Resistance	θ_{JA}	θ_{JC}
Ceramic DIP Package	80°C/W	24°C/W
Plastic DIP Package	100°C/W	-
SOIC Package	100°C/W	-

Maximum Power Dissipation 250mW
Operating Temperature Range
  ICL232C ..... 0°C to +70°C
  ICL232I ..... -40°C to +85°C
  ICL232M ..... -55°C to +125°C

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

Electrical Specifications

Test Conditions: V_{CC} = +5V ±10%, T_A = Operating Temperature Range, Test Circuit as in Figure 8 Unless Otherwise Specified

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS MIN	LIMITS TYP	LIMITS MAX	UNITS
Transmitter Output Voltage Swing, T_{OUT}	$T1_{OUT}$ and $T2_{OUT}$ loaded with 3kΩ to Ground	±5	±9	±10	V
Power Supply Current, I_{CC}	Outputs Unloaded, T_A = +25°C	-	5	10	mA
T_{IN}, Input Logic Low, V_{IL}		-	-	0.8	V
T_{IN}, Input Logic High, V_{IH}		2.0	-	-	V
Logic Pullup Current, I_P	$T1_{IN}$, $T2_{IN}$ = 0V	-	15	200	µA
RS-232 Input Voltage Range, V_{IN}		-30	-	+30	V
Receiver Input Impedance, R_{IN}	V_{IN} = ±3V	3.0	5.0	7.0	kΩ
Receiver Input Low Threshold, V_{IN} (H-L)	V_{CC} = 5.0V, T_A = +25°C	0.8	1.2	-	V
Receiver Input High Threshold, V_{IN} (L-H)	V_{CC} = 5.0V, T_A = +25°C	-	1.7	2.4	V
Receiver Input Hysteresis, V_{HYST}		0.2	0.5	1.0	V
TTL/CMOS Receiver Output Voltage Low, V_{OL}	I_{OUT} = 3.2mA	-	0.1	0.4	V
TTL/CMOS Receiver Output Voltage High, V_{OH}	I_{OUT} = -1.0mA	3.5	4.6	-	V
Propagation Delay, t_{PD}	RS-232 to TTL	-	0.5	-	µs
Instantaneous Slew Rate, SR	C_L = 10pF, R_L = 3kΩ, T_A = +25°C (Notes 1, 2)	-	-	30	V/µs
Transition Region Slew Rate, SR_T	R_L = 3kΩ, C_L = 2500pF Measured from +3V to -3V or -3V to +3V	-	3	-	V/µs
Output Resistance, R_{OUT}	V_{CC} = V+ = V- = 0V, V_{OUT} = ±2V	300	-	-	Ω
RS-232 Output Short Circuit Current, I_{SC}	$T1_{OUT}$ or $T2_{OUT}$ shorted to GND	-	±10	-	mA

NOTES:
1. Guaranteed by design.
2. See Figure 4 for definition.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Curves

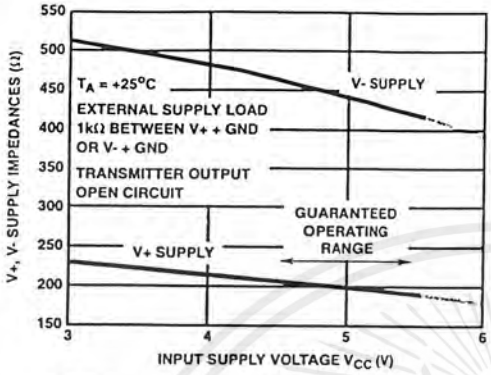


FIGURE 1. V+, V- OUTPUT IMPEDANCES vs V_{CC}

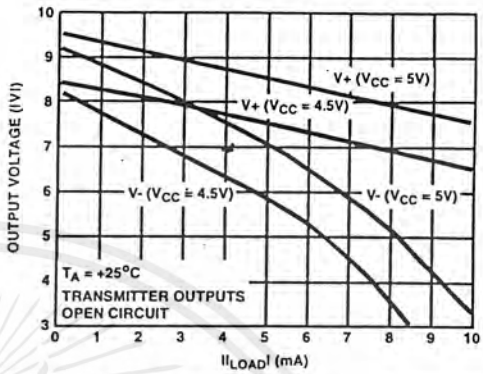


FIGURE 2. V+, V- OUTPUT VOLTAGES vs LOAD CURRENT

Pin Descriptions

PLASTIC DIP, CERAMIC DIP	SOIC	PIN NAME	DESCRIPTION
1	1	C1+	External capacitor "+" for internal voltage doubler.
2	2	V+	Internally generated +10V (typical) supply.
3	3	C1-	External capacitor "-" for internal voltage doubler.
4	4	C2+	External capacitor "+" internal voltage inverter.
5	5	C2-	External capacitor "-" internal voltage inverter.
6	6	V-	Internally generated -10V (typical) supply.
7	7	$T2_{OUT}$	RS-232 Transmitter 2 output ±10V (typical).
8	8	$R2_{IN}$	RS-232 Receiver 2 input, with internal 5K pulldown resistor to GND.
9	9	R2out	Receiver 2 TTL/CMOS output.
10	10	$T2_{IN}$	Transmitter 2 TTL/CMOS input, with internal 400K pullup resistor to V_{CC}.
11	11	$T1_{IN}$	Transmitter 1 TTL/CMOS input, with internal 400K pullup resistor to V_{CC}.
12	12	$R1_{OUT}$	Receiver 1 TTL/CMOS output.
13	13	$R1_{IN}$	RS-232 Receiver 1 input, with internal 5K pulldown resistor to GND.
14	14	$T1_{OUT}$	RS-232 Transmitter 1 output ±10V (typical).
15	15	GND	Supply Ground.
16	16	VCC	Positive Power Supply +5V ±10%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detailed Description

The ICL232 is a dual RS-232 transmitter/receiver powered by a single +5V power supply which meets all EIA RS232C specifications and features low power consumption. The functional diagram illustrates the major elements of the ICL232. The circuit is divided into three sections: a voltage doubler/inverter, dual transmitters, and dual receivers.

Voltage Converter

An equivalent circuit of the dual charge pump is illustrated in Figure 3.

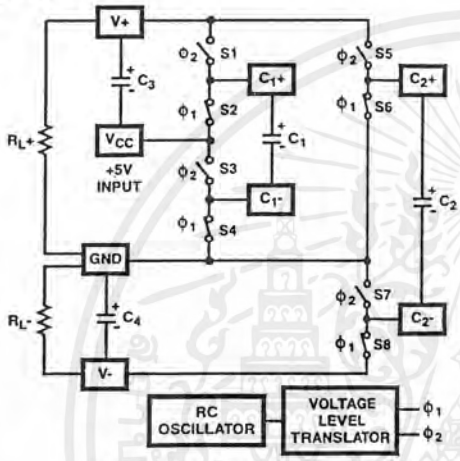
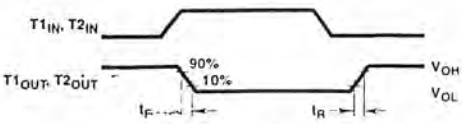


FIGURE 3. DUAL CHARGE PUMP

The voltage quadrupler contains two charge pumps which use two phases of an internally generated clock to generate +10V and -10V. The nominal clock frequency is 16kHz. During phase one of the clock, capacitor C1 is charged to V_{CC}. During phase two, the voltage on C1 is added to V_{CC}, producing a signal across C2 equal to twice V_{CC}. At the same time, C3 is also charged to $2V_{CC}$, and then during phase one, it is inverted with respect to ground to produce a signal across C4 equal to $-2V_{CC}$. The voltage converter accepts input voltages up to 5.5V. The output impedance of the doubler (V+) is approximately 200Ω, and the output impedance of the inverter (V-) is approximately 450Ω. Typical graphs are presented which show the voltage converters output vs input voltage and output voltages vs load characteristics. The test circuit (Figure 8) uses 1µF capacitors for C1-C4, however, the value is not critical. Increasing the values of C1 and C2 will lower the output impedance of the voltage doubler and inverter, and increasing the values of the reservoir capacitors, C3 and C4, lowers the ripple on the V+ and V- supplies.



Instantaneous Slew Rate (SR) = $\frac{(0.8)(V_{OH} - V_{OL})}{t_R}$ or $\frac{(0.8)(V_{OL} - V_{OH})}{t_F}$

FIGURE 4. SLEW RATE DEFINITION

Transmitters

The transmitters are TTL/CMOS compatible inverters which translate the inputs to RS-232 outputs. The input logic threshold is about 26% of V_{CC}, or 1.3V for V_{CC} = 5V. A logic 1 at the input results in a voltage of between -5V and V- at the output, and a logic 0 results in a voltage between +5V and (V+ -0.6V). Each transmitter input has an internal 400kΩ pullup resistor so any unused input can be left unconnected and its output remains in its low state. The output voltage swing meets the RS-232C specification of ±5V minimum with the worst case conditions of: both transmitters driving 3kΩ minimum load impedance, V_{CC} = 4.5V, and maximum allowable operating temperature. The transmitters have an internally limited output slew rate which is less than 30V/µs. The outputs are short circuit protected and can be shorted to ground indefinitely. The powered down output impedance is a minimum of 300Ω with ±2V applied to the outputs and V_{CC} = 0V.

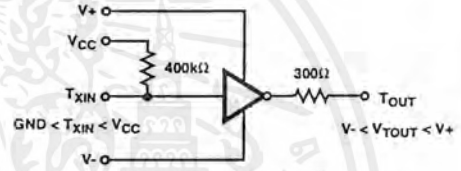


FIGURE 5. TRANSMITTER

Receivers

The receiver inputs accept up to ±30V while presenting the required 3kΩ to 7kΩ input impedance even it the power is off (V_{CC} = 0V). The receivers have a typical input threshold of 1.3V which is within the ±3V limits, known as the transition region, of the RS-232 specification. The receiver output is 0V to V_{CC}. The output will be low whenever the input is greater than 2.4V and high whenever the input is floating or driven between +0.8V and -30V. The receivers feature 0.5V hysteresis to improve noise rejection.

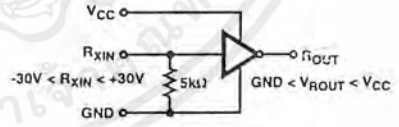
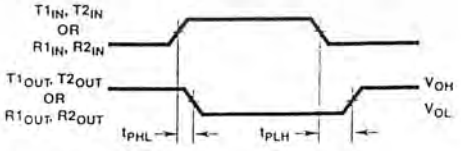


FIGURE 6. RECEIVER



Average Propagation Delay = $\frac{t_{PHL} + t_{PLH}}{2}$

FIGURE 7. PROPAGATION DELAY DEFINITION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test Circuits

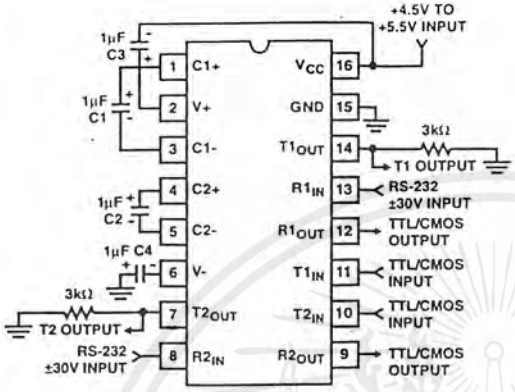


FIGURE 8. GENERAL TEST CIRCUIT

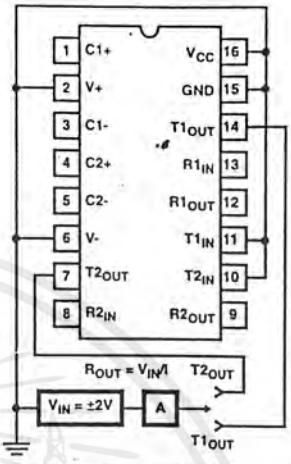


FIGURE 9. POWER-OFF SOURCE RESISTANCE CONFIGURATION

Applications

The ICL232 may be used for all RS-232 data terminal and communication links. It is particularly useful in applications where ±12V power supplies are not available for conventional RS-232 interface circuits. The applications presented represent typical interface configurations.

A simple duplex RS-232 port with CTS/RTS handshaking is illustrated in Figure 10. Fixed output signals such as DTR (data terminal ready) and DSRS (data signaling rate select) is generated by driving them through a 5kΩ resistor connected to V+.

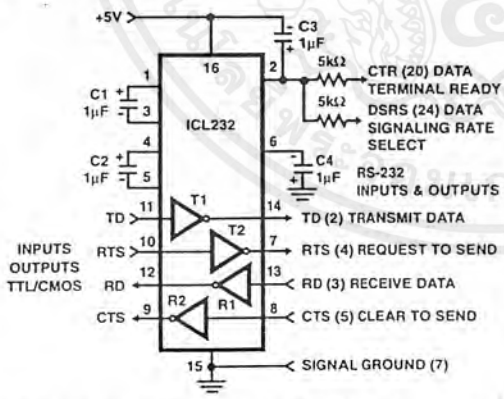


FIGURE 10. SIMPLE DUPLEX RS-232 PORT WITH CTS/RTS HANDSHAKING

In applications requiring four RS-232 inputs and outputs (Figure 11), note that each circuit requires two charge pump capacitors (C1 and C2) but can share common reservoir capacitors (C3 and C4). The benefit of sharing common reservoir capacitors is the elimination of two capacitors and the reduction of the charge pump source impedance which effectively increases the output swing of the transmitters.

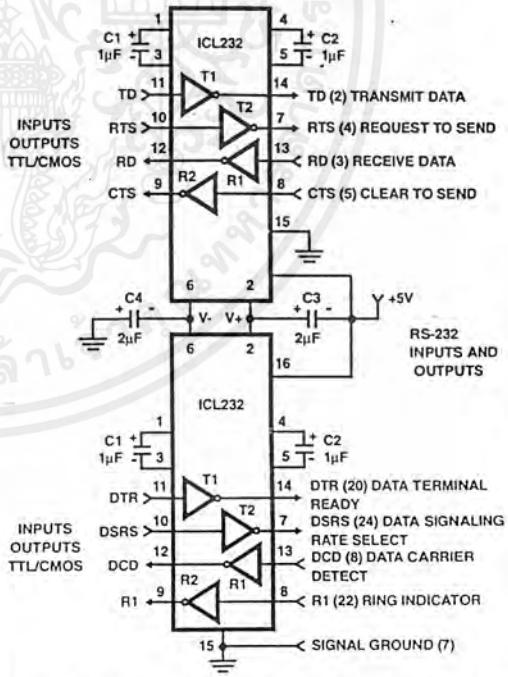


FIGURE 11. COMBINING TWO ICL232s FOR 4 PAIRS OF RS-232 INPUTS AND OUTPUTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET

PCF8591
8-bit A/D and D/A converter

Product specification
Supersedes data of 1997 Apr 02
File under Integrated Circuits, IC12

1998 Jul 02

Philips
Semiconductors

PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTENTS

1 FEATURES
2 APPLICATIONS
3 GENERAL DESCRIPTION
4 ORDERING INFORMATION
5 BLOCK DIAGRAM
6 PINNING
7 FUNCTIONAL DESCRIPTION
7.1 Addressing
7.2 Control byte
7.3 D/A conversion
7.4 A/D conversion
7.5 Reference voltage
7.6 Oscillator
8 CHARACTERISTICS OF THE I²C-BUS
8.1 Bit transfer
8.2 Start and stop conditions
8.3 System configuration
8.4 Acknowledge
8.5 I²C-bus protocol
9 LIMITING VALUES
10 HANDLING
11 DC CHARACTERISTICS
12 D/A CHARACTERISTICS
13 A/D CHARACTERISTICS
14 AC CHARACTERISTICS
15 APPLICATION INFORMATION
16 PACKAGE OUTLINES
17 SOLDERING
17.1 Introduction
17.2 DIP
17.2.1 Soldering by dipping or by wave
17.2.2 Repairing soldered joints
17.3 SO
17.3.1 Reflow soldering
17.3.2 Wave soldering
17.3.3 Repairing soldered joints
18 DEFINITIONS
19 LIFE SUPPORT APPLICATIONS
20 PURCHASE OF PHILIPS I²C COMPONENTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit A/D and D/A converter PCF8591

1 FEATURES

- Single power supply
- Operating supply voltage 2.5 V to 6 V
- Low standby current
- Serial input/output via I²C-bus
- Address by 3 hardware address pins
- Sampling rate given by I²C-bus speed
- 4 analog inputs programmable as single-ended or differential inputs
- Auto-incremented channel selection
- Analog voltage range from V_{SS} to V_{DD}
- On-chip track and hold circuit
- 8-bit successive approximation A/D conversion
- Multiplying DAC with one analog output.

2 APPLICATIONS

- Closed loop control systems
- Low power converter for remote data acquisition
- Battery operated equipment
- Acquisition of analog values in automotive, audio and TV applications.

3 GENERAL DESCRIPTION

The PCF8591 is a single-chip, single-supply low power 8-bit CMOS data acquisition device with four analog inputs, one analog output and a serial I²C-bus interface. Three address pins A0, A1 and A2 are used for programming the hardware address, allowing the use of up to eight devices connected to the I²C-bus without additional hardware. Address, control and data to and from the device are transferred serially via the two-line bidirectional I²C-bus.

The functions of the device include analog input multiplexing, on-chip track and hold function, 8-bit analog-to-digital conversion and an 8-bit digital-to-analog conversion. The maximum conversion rate is given by the maximum speed of the I²C-bus.

4 ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
PCA8591P	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body	SOT38-1
PCA8591T	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm	SOT162-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 BLOCK DIAGRAM

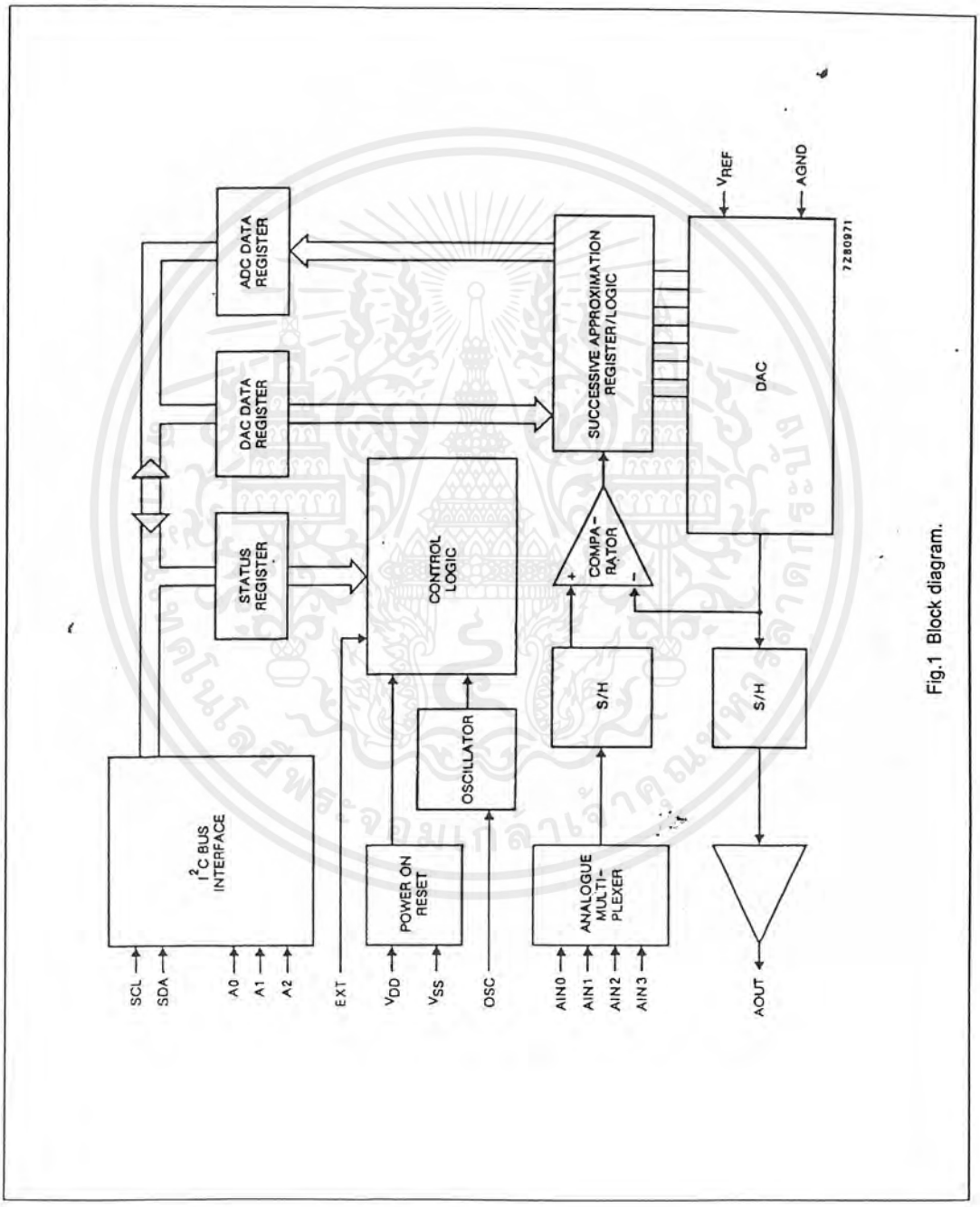


Fig.1 Block diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
AINO	1	analog inputs (A/D converter)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
A0	5	hardware address
A1	6	
A2	7	
V_{SS}	8	negative supply voltage
SDA	9	I²C-bus data input/output
SCL	10	I²C-bus clock input
OSC	11	oscillator input/output
EXT	12	external/internal switch for oscillator input
AGND	13	analog ground
V_{REF}	14	voltage reference input
AOUT	15	analog output (D/A converter)
V_{DD}	16	positive supply voltage

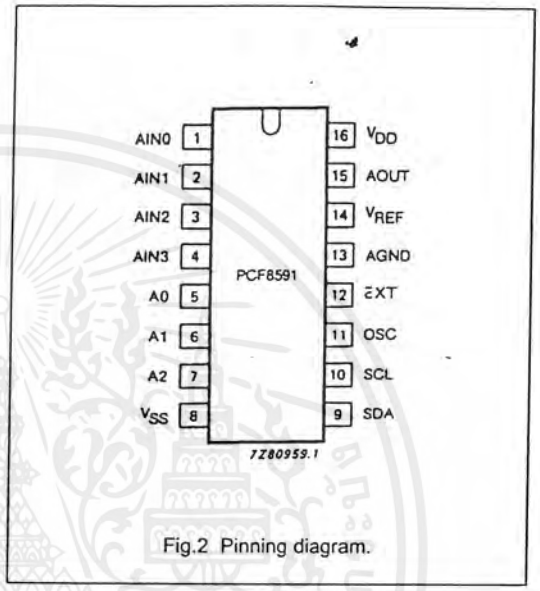


Fig.2 Pinning diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7 FUNCTIONAL DESCRIPTION

7.1 Addressing

Each PCF8591 device in an I²C-bus system is activated by sending a valid address to the device. The address consists of a fixed part and a programmable part. The programmable part must be set according to the address pins A0, A1 and A2. The address always has to be sent as the first byte after the start condition in the I²C-bus protocol. The last bit of the address byte is the read/write-bit which sets the direction of the following data transfer (see Figs 3, 15 and 16).

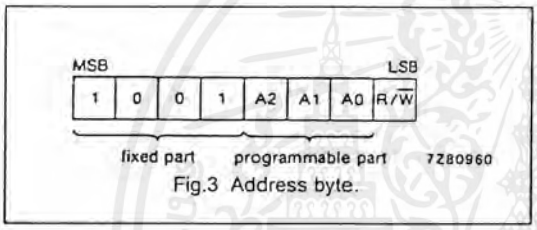


Fig.3 Address byte.

7.2 Control byte

The second byte sent to a PCF8591 device will be stored in its control register and is required to control the device function.

The upper nibble of the control register is used for enabling the analog output, and for programming the analog inputs as single-ended or differential inputs. The lower nibble selects one of the analog input channels defined by the upper nibble (see Fig.4). If the auto-increment flag is set the channel number is incremented automatically after each A/D conversion.

If the auto-increment mode is desired in applications where the internal oscillator is used, the analog output enable flag in the control byte (bit 6) should be set. This allows the internal oscillator to run continuously, thereby preventing conversion errors resulting from oscillator start-up delay. The analog output enable flag may be reset at other times to reduce quiescent power consumption.

The selection of a non-existing input channel results in the highest available channel number being allocated. Therefore, if the auto-increment flag is set, the next selected channel will be always channel 0. The most significant bits of both nibbles are reserved for future functions and have to be set to 0. After a Power-on reset condition all bits of the control register are reset to 0. The D/A converter and the oscillator are disabled for power saving. The analog output is switched to a high-impedance state.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

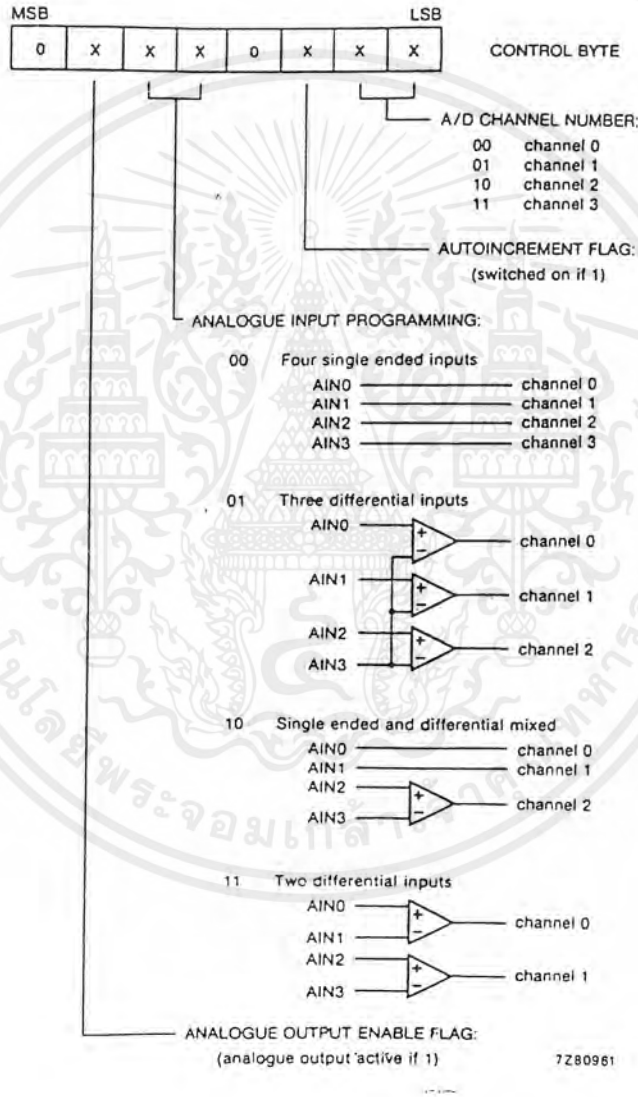


Fig.4 Control byte.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 D/A conversion

The third byte sent to a PCF8591 device is stored in the DAC data register and is converted to the corresponding analog voltage using the on-chip D/A converter. This D/A converter consists of a resistor divider chain connected to the external reference voltage with 256 taps and selection switches. The tap-decoder switches one of these taps to the DAC output line (see Fig.5).

The analog output voltage is buffered by an auto-zeroed unity gain amplifier. This buffer amplifier may be switched on or off by setting the analog output enable flag of the control register. In the active state the output voltage is held until a further data byte is sent.

The on-chip D/A converter is also used for successive approximation A/D conversion. In order to release the DAC for an A/D conversion cycle the unity gain amplifier is equipped with a track and hold circuit. This circuit holds the output voltage while executing the A/D conversion.

The output voltage supplied to the analog output AOUT is given by the formula shown in Fig.6. The waveforms of a D/A conversion sequence are shown in Fig.7

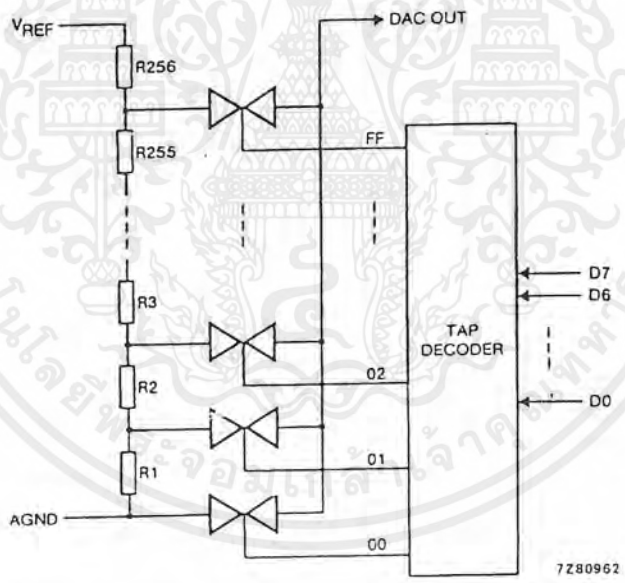


Fig.5 DAC resistor divider chain.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

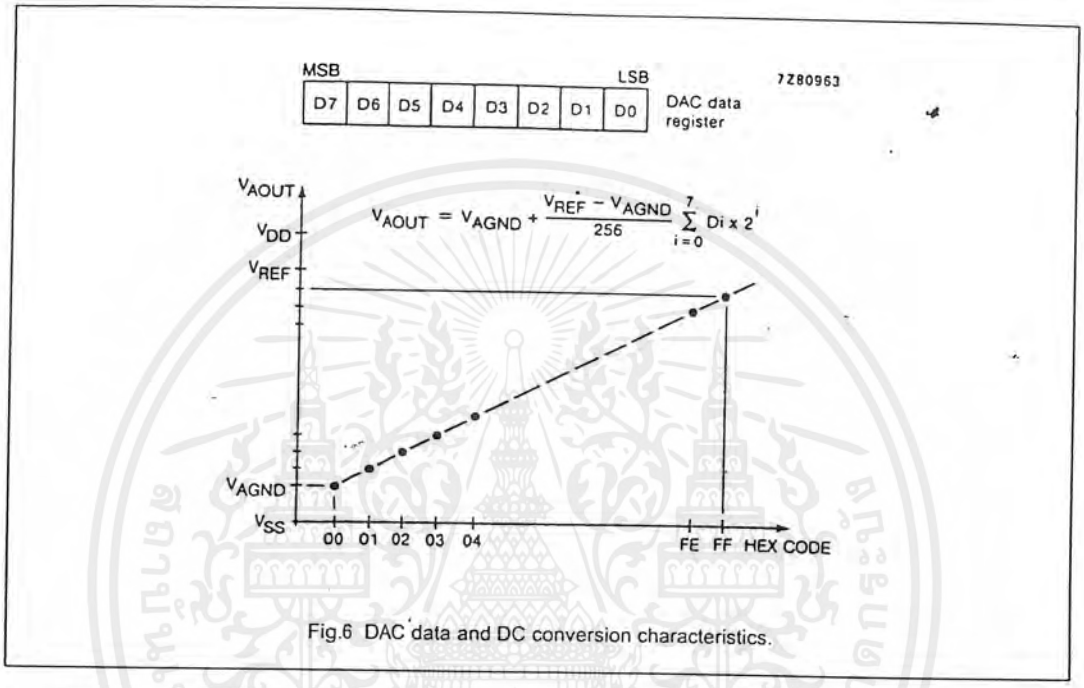


Fig.6 DAC data and DC conversion characteristics.

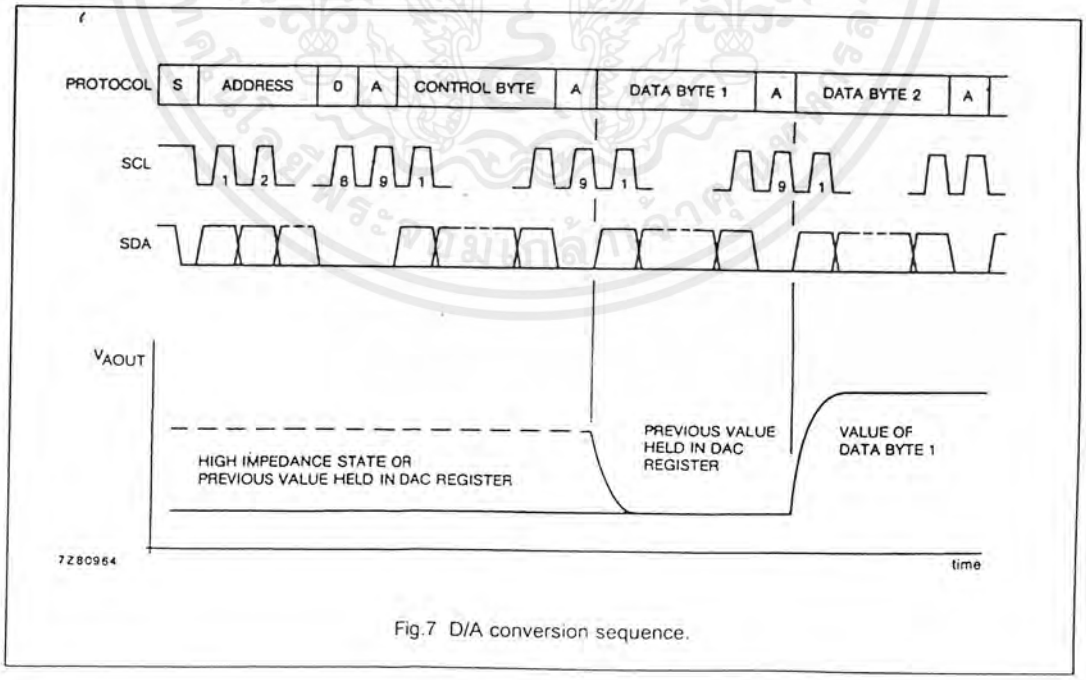


Fig.7 D/A conversion sequence.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 A/D conversion

The A/D converter makes use of the successive approximation conversion technique. The on-chip D/A converter and a high-gain comparator are used temporarily during an A/D conversion cycle.

An A/D conversion cycle is always started after sending a valid read mode address to a PCF8591 device. The A/D conversion cycle is triggered at the trailing edge of the acknowledge clock pulse and is executed while transmitting the result of the previous conversion (see Fig.8).

Once a conversion cycle is triggered an input voltage sample of the selected channel is stored on the chip and is converted to the corresponding 8-bit binary code. Samples picked up from differential inputs are converted to an 8-bit two's complement code (see Figs 9 and 10)

The conversion result is stored in the ADC data register and awaits transmission. If the auto-increment flag is set the next channel is selected.

The first byte transmitted in a read cycle contains the conversion result code of the previous read cycle. After a Power-on reset condition the first byte read is a hexadecimal 80. The protocol of an I^2C-bus read cycle is shown in Chapter 8, Figs 15 and 16.

The maximum A/D conversion rate is given by the actual speed of the I^2C-bus.

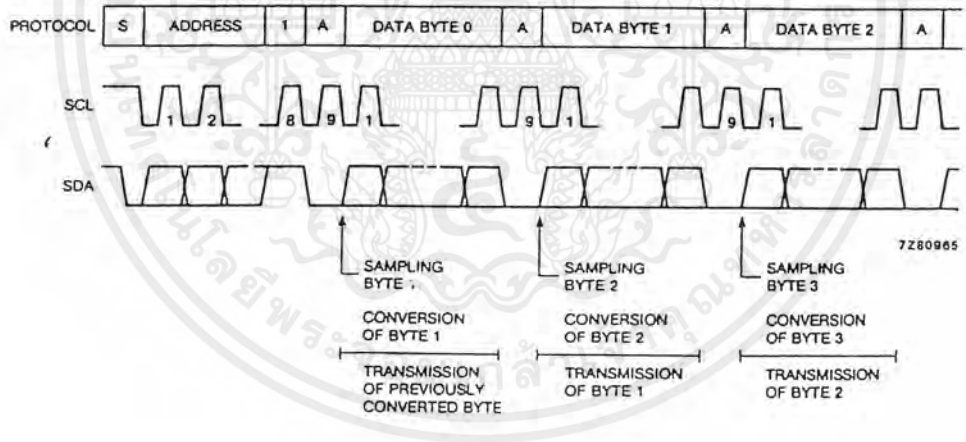


Fig.8 A/D conversion sequence.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

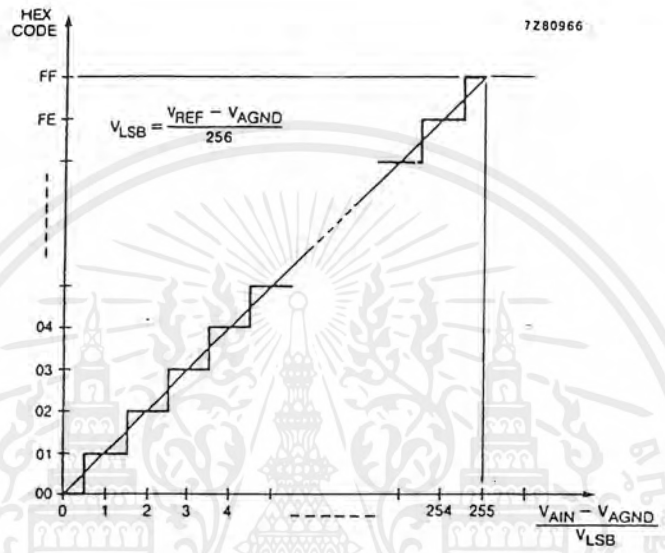


Fig.9 A/D conversion characteristics of single-ended inputs.

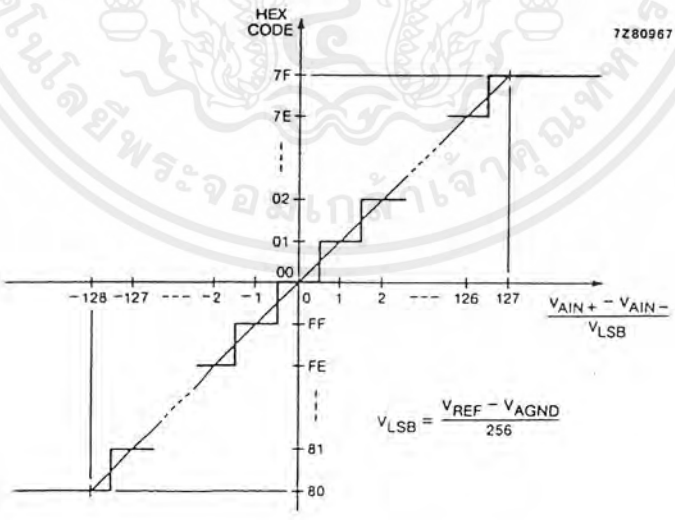


Fig.10 A/D conversion characteristics of differential inputs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5 Reference voltage

For the D/A and A/D conversion either a stable external voltage reference or the supply voltage has to be applied to the resistor divider chain (pins V_{REF} and AGND). The AGND pin has to be connected to the system analog ground and may have a DC off-set with reference to V_{SS}.

A low frequency may be applied to the V_{REF} and AGND pins. This allows the use of the D/A converter as a one-quadrant multiplier; see Chapter 15 and Fig.6.

The A/D converter may also be used as a one or two quadrant analog divider. The analog input voltage is divided by the reference voltage. The result is converted to a binary code. In this application the user has to keep the reference voltage stable during the conversion cycle.

7.6 Oscillator

An on-chip oscillator generates the clock signal required for the A/D conversion cycle and for refreshing the auto-zeroed buffer amplifier. When using this oscillator the EXT pin has to be connected to V_{SS}. At the OSC pin the oscillator frequency is available.

If the EXT pin is connected to V_{DD} the oscillator output OSC is switched to a high-impedance state allowing the user to feed an external clock signal to OSC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8 CHARACTERISTICS OF THE I²C-BUS

The I²C-bus is for bidirectional, two-line communication between different ICs or modules. The two lines are a serial data line (SDA) and a serial clock line (SCL). Both lines must be connected to a positive supply via a pull-up resistor. Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.

8.1 Bit transfer

One data bit is transferred during each clock pulse. The data on the SDA line must remain stable during the HIGH period of the clock pulse as changes in the data line at this time will be interpreted as a control signal.

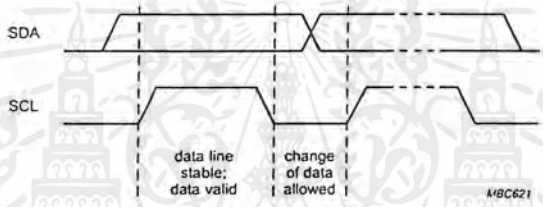


Fig.11 Bit transfer.

8.2 Start and stop conditions

Both data and clock lines remain HIGH when the bus is not busy. A HIGH-to-LOW transition of the data line, while the clock is HIGH, is defined as the start condition (S). A LOW-to-HIGH transition of the data line while the clock is HIGH, is defined as the stop condition (P).

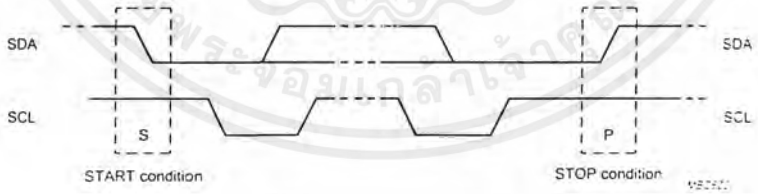


Fig.12 Definition of START and STOP condition.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3 System configuration

A device generating a message is a 'transmitter', a device receiving a message is the 'receiver'. The device that controls the message is the 'master' and the devices which are controlled by the master are the 'slaves'.

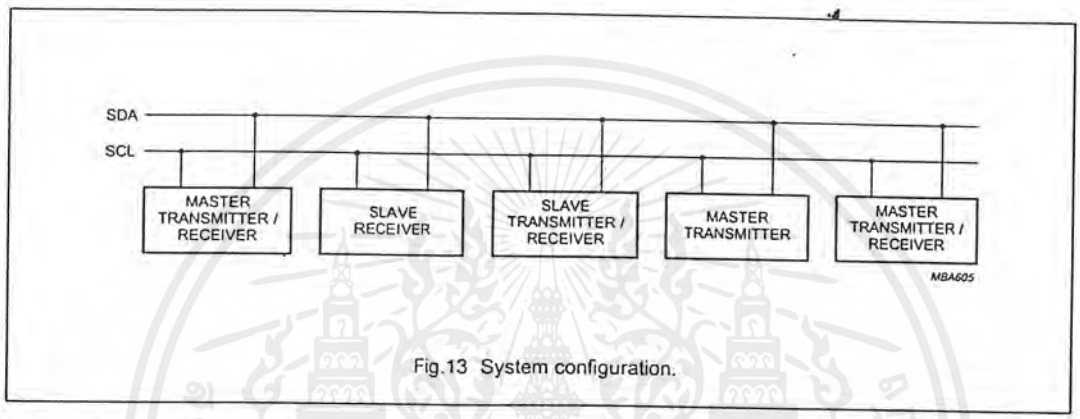


Fig.13 System configuration.

8.4 Acknowledge

The number of data bytes transferred between the start and stop conditions from transmitter to receiver is not limited. Each data byte of eight bits is followed by one acknowledge bit. The acknowledge bit is a HIGH level put on the bus by the transmitter whereas the master also generates an extra acknowledge related clock pulse. A slave receiver which is addressed must generate an acknowledge after the reception of each byte. Also a master must generate an acknowledge after the reception of each byte that has been clocked out of the slave transmitter. The device that acknowledges has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse, so that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. A master receiver must signal an end of data to the transmitter by **not** generating an acknowledge on the last byte that has been clocked out of the slave. In this event the transmitter must leave the data line HIGH to enable the master to generate a stop condition.

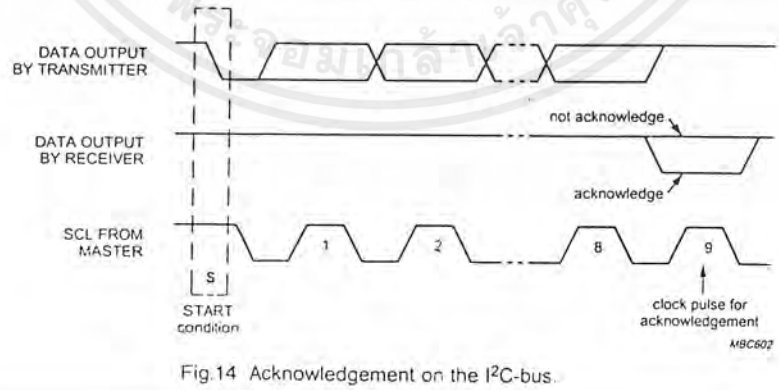


Fig.14 Acknowledgement on the I²C-bus.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.5 I²C-bus protocol

After a start condition a valid hardware address has to be sent to a PCF8591 device. The read/write bit defines the direction of the following single or multiple byte data transfer. For the format and the timing of the start condition (S), the stop condition (P) and the acknowledge bit (A) refer to the I²C-bus characteristics. In the write mode a data transfer is terminated by sending either a stop condition or the start condition of the next data transfer.

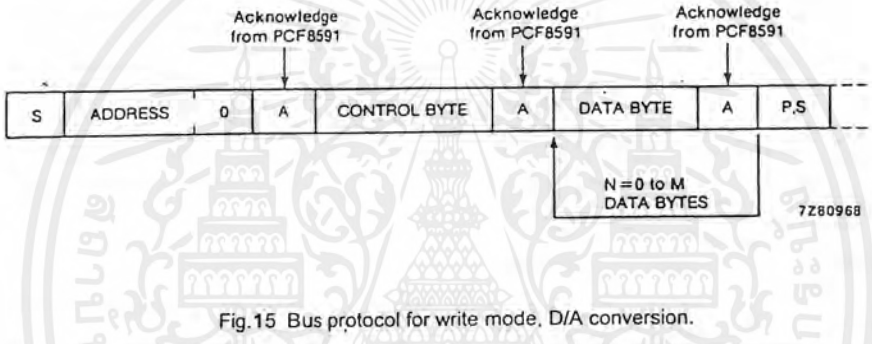


Fig.15 Bus protocol for write mode, D/A conversion.

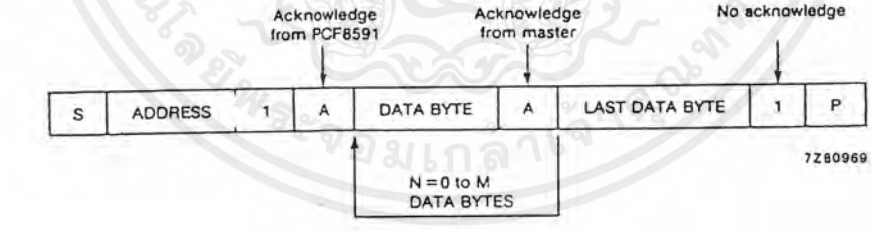


Fig.16 Bus protocol for read mode, A/D conversion.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DD}	supply voltage (pin 16)	−0.5	+8.0	V
V_I	input voltage (any input)	−0.5	V_{DD} + 0.5	V
I_I	DC input current	−	±10	mA
I_O	DC output current	−	±20	mA
I_{DD}, I_{SS}	V_{DD} or V_{SS} current	−	±50	mA
P_{tot}	total power dissipation per package	−	300	mW
P_O	power dissipation per output	−	100	mW
T_{amb}	operating ambient temperature	−40	+85	°C
T_{stg}	storage temperature	−65	+150	°C

10 HANDLING

Inputs and outputs are protected against electrostatic discharge in normal handling. However, to be totally safe, it is desirable to take precautions appropriate to handling MOS devices. Advice can be found in Data Handbook IC12 under *"Handling MOS Devices"*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DD}	supply voltage (pin 16)	−0.5	+8.0	V
V_I	input voltage (any input)	−0.5	V_{DD} + 0.5	V
I_I	DC input current	–	±10	mA
I_O	DC output current	–	±20	mA
I_{DD}, I_{SS}	V_{DD} or V_{SS} current	–	±50	mA
P_{tot}	total power dissipation per package	–	300	mW
P_O	power dissipation per output	–	100	mW
T_{amb}	operating ambient temperature	−40	+85	°C
T_{stg}	storage temperature	−65	+150	°C

10 HANDLING

Inputs and outputs are protected against electrostatic discharge in normal handling. However, to be totally safe, it is desirable to take precautions appropriate to handling MOS devices. Advice can be found in Data Handbook IC12 under *"Handling MOS Devices"*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11 DC CHARACTERISTICS

V_{DD} = 2.5 V to 6 V; V_{SS} = 0 V; T_{amb} = −40 °C to +85 °C unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply						
V_{DD}	supply voltage (operating)		2.5	–	6.0	V
I_{DD}	supply current					
	standby	$V_I = V_{SS}$ or V_{DD}; no load	–	1	15	µA
	operating, AOUT off	f_{SCL} = 100 kHz	–	125	250	µA
	operating, AOUT active	f_{SCL} = 100 kHz	–	0.45	1.0	mA
V_{POR}	Power-on reset level	note 1	0.8	–	2.0	V
Digital inputs/output: SCL, SDA, A0, A1, A2						
V_{IL}	LOW level input voltage		0	–	$0.3 \times V_{DD}$	V
V_{IH}	HIGH level input voltage		$0.7 \times V_{DD}$	–	V_{DD}	V
I_L	leakage current					
	A0, A1, A2	$V_I = V_{SS}$ to V_{DD}	−250	–	+250	nA
	SCL, SDA	$V_I = V_{SS}$ to V_{DD}	−1	–	+1	µA
C_i	input capacitance		–	–	5	pF
I_{OL}	LOW level SDA output current	V_{OL} = 0.4 V	3.0	–	–	mA
Reference voltage inputs						
V_{REF}	reference voltage	$V_{REF} > V_{AGND}$; note 2	V_{SS} + 1.6	–	V_{DD}	V
V_{AGND}	analog ground voltage	$V_{REF} > V_{AGND}$; note 2	V_{SS}	–	V_{DD} − 0.8	V
I_{LI}	input leakage current		−250	–	+250	nA
R_{REF}	input resistance	pins V_{REF} and AGND	–	100	–	kΩ
Oscillator: OSC, EXT						
I_{LI}	input leakage current		–	–	250	nA
f_{OSC}	oscillator frequency		0.75	–	1.25	MHz

Notes

1. The power on reset circuit resets the I²C-bus logic when V_{DD} is less than V_{POR}.
2. A further extension of the range is possible, if the following conditions are fulfilled:

$$\frac{V_{REF} + V_{AGND}}{2} \geq 0.8V, V_{DD} - \frac{V_{REF} + V_{AGND}}{2} \geq 0.4V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12 D/A CHARACTERISTICS

V_{DD} = 5.0 V; V_{SS} = 0 V; V_{REF} = 5.0 V; V_{AGND} = 0 V; R_L = 10 kΩ; C_L = 100 pF; T_{amb} = −40 °C to +85 °C unless otherwise specified.

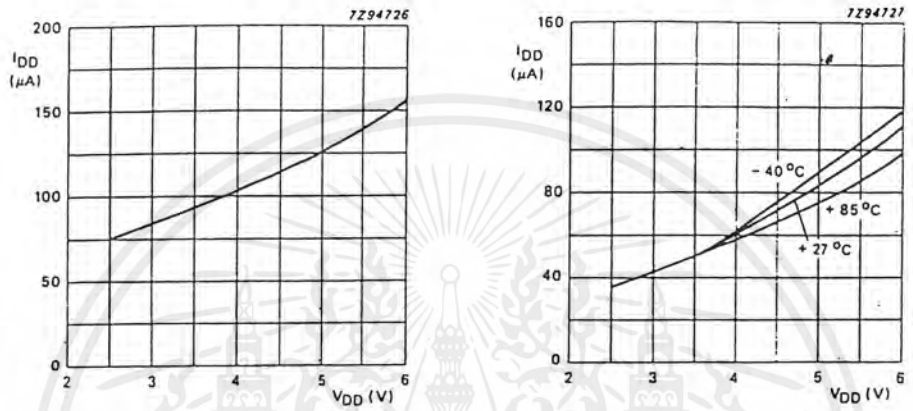
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Analog output						
V_{OA}	output voltage	no resistive load	V_{SS}	–	V_{DD}	V
		R_L = 10 kΩ	V_{SS}	–	0.9 × V_{DD}	V
I_{LO}	output leakage current	AOUT disabled	–	–	250	nA
Accuracy						
OS_e	offset error	T_{amb} = 25 °C	–	–	50	mV
L_e	linearity error		–	–	±1.5	LSB
G_e	gain error	no resistive load	–	–	1	%
t_{DAC}	settling time	to ½ LSB full scale step	–	–	90	µs
f_{DAC}	conversion rate		–	–	11.1	kHz
SNRR	supply noise rejection ratio	f = 100 Hz; V_{DDN} = 0.1 × V_{PP}	–	40	–	dB

13 A/D CHARACTERISTICS

V_{DD} = 5.0 V; V_{SS} = 0 V; V_{REF} = 5.0 V; V_{AGND} = 0 V; R_S = 10 kΩ; T_{amb} = −40 °C to +85 °C unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Analog inputs						
V_{IA}	analog input voltage		V_{SS}	–	V_{DD}	V
I_{LIA}	analog input leakage current		–	–	100	nA
C_{IA}	analog input capacitance		–	10	–	pF
C_{ID}	differential input capacitance		–	10	–	pF
V_{IS}	single-ended voltage	measuring range	V_{AGND}	–	V_{REF}	V
V_{ID}	differential voltage	measuring range: $V_{FS} = V_{REF} - V_{AGND}$	$\frac{-V_{FS}}{2}$	–	$\frac{+V_{FS}}{2}$	V
Accuracy						
OS_e	offset error	T_{amb} = 25 °C	–	–	20	mV
L_e	linearity error		–	–	±1.5	LSB
G_e	gain error		–	–	1	%
GS_e	small-signal gain error	ΔV_i = 16 LSB	–	–	5	%
CMRR	common-mode rejection ratio		–	60	–	dB
SNRR	supply noise rejection ratio	f = 100 Hz; V_{DDN} = 0.1 × V_{PP}	–	40	–	dB
t_{ADC}	conversion time		–	–	90	µs
f_{ADC}	sampling/conversion rate		–	–	11.1	kHz

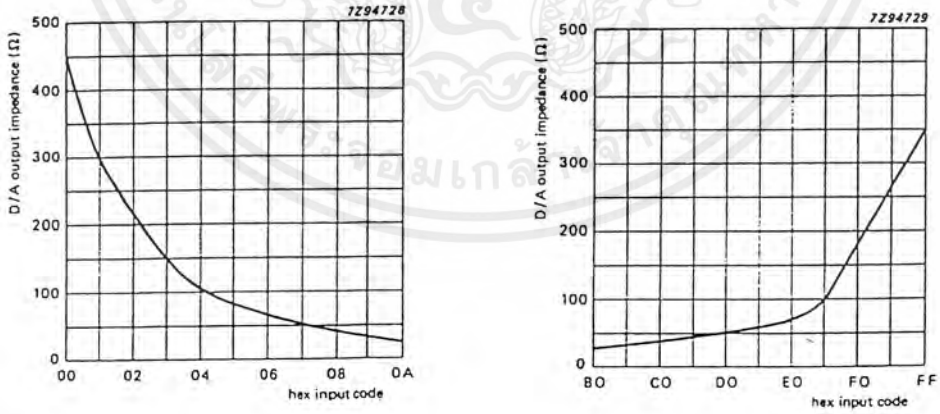
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Internal oscillator; T_{amb} = +27 °C.

(b) External oscillator.

Fig.17 Operating supply current as a function of supply voltage (analog output disabled).



(a) Output impedance near negative power rail; T_{amb} = +27 °C.

(b) Output impedance near positive power rail; T_{amb} = +27 °C.

The x-axis represents the hex input-code equivalent of the output voltage.

Fig.18 Output impedance of analog output buffer (near power rails).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14 AC CHARACTERISTICS

All timing values are valid within the operating supply voltage and ambient temperature range and reference to V_{IL} and V_{IH} with an input voltage swing of V_{SS} to V_{DD}.

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I²C-bus timing (see Fig.19; note 1)					
f_{SCL}	SCL clock frequency	–	–	100	kHz
t_{SP}	tolerable spike width on bus	–	–	100	ns
t_{BUF}	bus free time	4.7	–	–	µs
$t_{SU;STA}$	START condition set-up time	4.7	–	–	µs
$t_{HD;STA}$	START condition hold time	4.0	–	–	µs
t_{LOW}	SCL LOW time	4.7	–	–	µs
t_{HIGH}	SCL HIGH time	4.0	–	–	µs
t_r	SCL and SDA rise time	–	–	1.0	µs
t_f	SCL and SDA fall time	–	–	0.3	µs
$t_{SU;DAT}$	data set-up time	250	–	–	ns
$t_{HD;DAT}$	data hold time	0	–	–	ns
$t_{VD;DAT}$	SCL LOW-to-data out valid	–	–	3.4	µs
$t_{SU;STO}$	STOP condition set-up time	4.0	–	–	µs

Note

1. A detailed description of the I²C-bus specification, with applications, is given in brochure *"The I²C-bus and how to use it"*. This brochure may be ordered using the code 9398 393 40011.

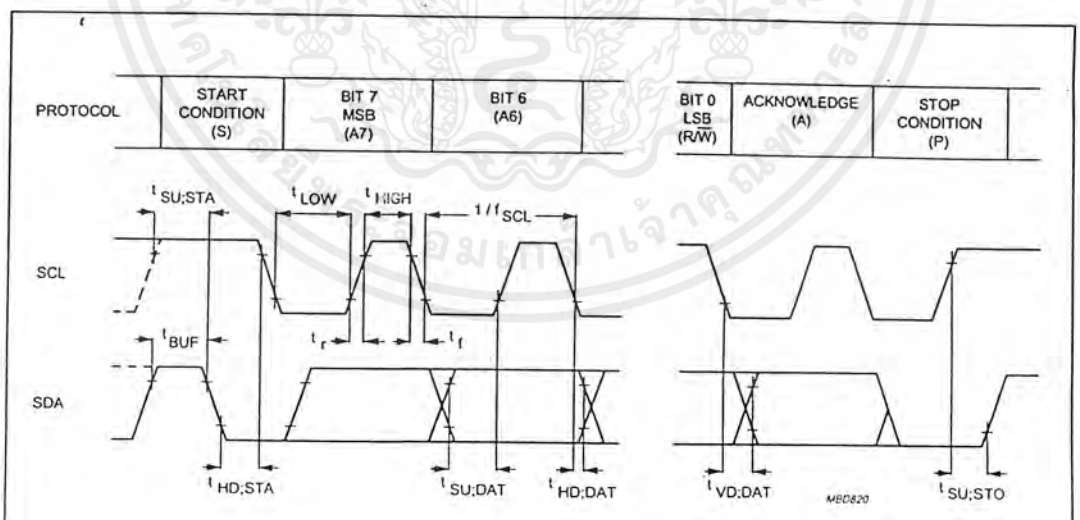


Fig.19 I²C-bus timing diagram; rise and fall times refer to V_{IL} and V_{IH}.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15 APPLICATION INFORMATION

Inputs must be connected to V_{SS} or V_{DD} when not in use. Analog inputs may also be connected to AGND or V_{REF}.

In order to prevent excessive ground and supply noise and to minimize cross-talk of the digital to analog signal paths the user has to design the printed-circuit board layout very carefully. Supply lines common to a PCF8591 device and noisy digital circuits and ground loops should be avoided. Decoupling capacitors (>10 µF) are recommended for power supply and reference voltage inputs.

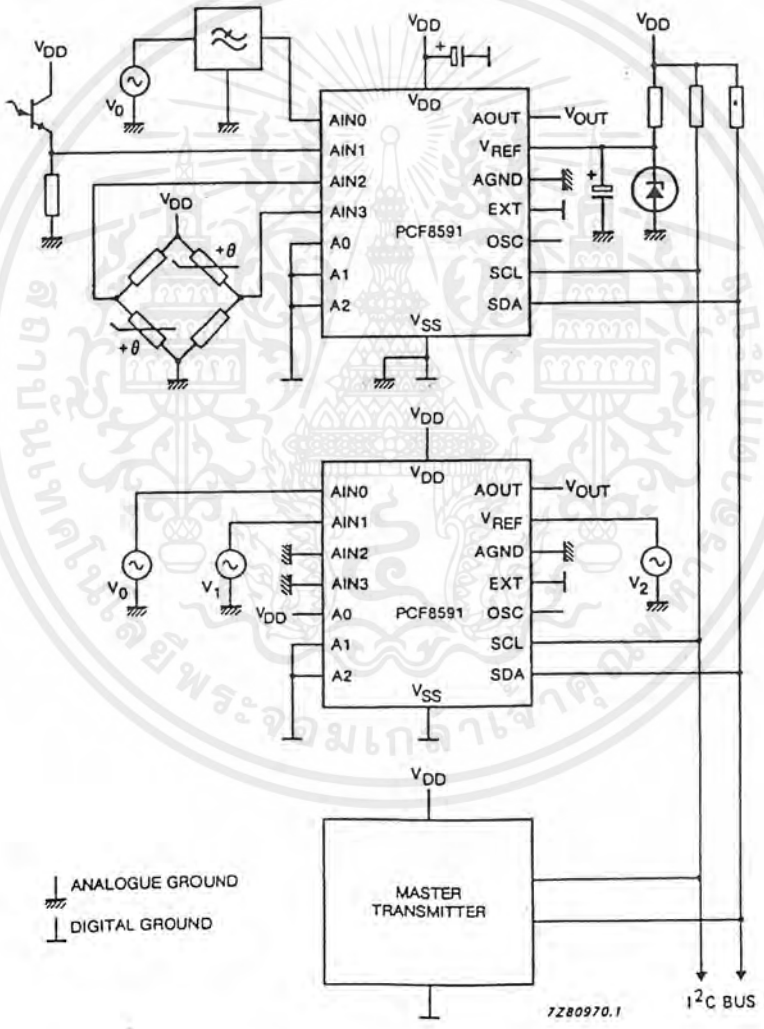


Fig.20 Application diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

แผนกหนังสือพิเศษด้านอิเล็กทรอนิกส์.**ออกแบบเครื่องจ่ายไฟ.** เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับพิเศษ โดยบริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน): กรุงเทพมหานคร,2538

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล,วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. **เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรเลอร์.** บริษัทอินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด : กรุงเทพมหานคร,2542.

กฤษดา ใจเย็น,อรรถพล บุญยะโภคา,ชัยวัฒน์ ลิ้มจิตรวิไล.**เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม.** บริษัทอินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด : กรุงเทพมหานคร,2542.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายจตุพล อังโชติพันธุ์
วันเดือนปีเกิด	5 พฤศจิกายน 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดสตูล
ภูมิลำเนาเดิม	151 หมู่ 7 ต.สาคร อ.ท่าแพ จ.สตูล 91150
ที่อยู่ปัจจุบัน	13/11 หมู่ 3 แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์	01-8978094

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านเกาะอาดัง (อนุบาล – ป.3) โรงเรียนบ้านทางยาง
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนท่าแพผดุงวิทย์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสตูล
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับ	-
กองทุนกู้ยืมเพื่อการศึกษา	-
คติพจน์	ความรู้ไม่เคยหยุดนิ่งสำหรับคนขยัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายณัฐศักดิ์ จันทร์เพรช
วันเดือนปีเกิด	7 เมษายน 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดนราธิวาส
ภูมิลำเนาเดิม	160 หมู่ 1 ต.โคกเคียน อ.เมือง จ.นราธิวาส 96000
ที่อยู่ปัจจุบัน	272/5 หมู่ 1 ถ.อ่อนนุช-ลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์	02-7390087

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดพนาสณฑ์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนนราธิวาส
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคนราธิวาส
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคนราธิวาส
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับ	-
กองทุนกู้ยืมเพื่อการศึกษา	-
คติพจน์	คิดจะทำอะไรต้องทำให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายสิริวัฒน์ คงสุข
วันเดือนปีเกิด	28 สิงหาคม 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดกระบี่
ภูมิลำเนาเดิม	58 หมู่ 1 ต.ทับปริก อ.เมือง จ.กระบี่
ที่อยู่ปัจจุบัน	260/7 หมู่ 1 ถ.อ่อนนุช-ลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์	02-7390087

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดบ้านคลองใหญ่
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนอำมาตย์พาพิชนุกูล
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคกระบี่
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคใต้
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับ	-
กองทุนกู้ยืมเพื่อการศึกษา	-
คติพจน์	ความสำเร็จ หรือความล้มเหลวยังไม่เกิดขึ้น หากยังไม่ลงมือทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายสราวุธ เทียมเพื่อน
วันเดือนปีเกิด	30 สิงหาคม 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดตราด
ภูมิลำเนาเดิม	5 หมู่ 3 ต.หนองคันทรง อ.เมือง จ.ตราด 23000
ที่อยู่ปัจจุบัน	13/11 หมู่ 3 แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์	039-542409

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดหนองคันทรง
มัธยมศึกษาตอนต้น	ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียนจังหวัดตราด
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคตราด
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคตราด
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับ	-
กองทุนกู้ยืมเพื่อการศึกษา	-
คติพจน์	เพื่อนที่เชื่อใจได้ที่สุดคือตัวเราเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้