



เครื่องจ่ายกระแสตรงคงที่สำหรับชุดสร้างสนามแม่เหล็ก

ร.พ.
๒๖๒๙๑
๒๕๓๗

นาย นโรตม์ ศุภวาณิชยศกุล
นาย ภิชะก ทาญพานิช

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

๒.1252๐๐๗๕

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. ๒๕๓๕

D.C. CURRENT SOURCE FOR ELECTROMAGNET

Mr. NAROT SUPAVANICHSUKUL

Mr. PISEK HANPANISH

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
DEPARTMENT OF APPLIED PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1995

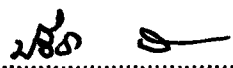
หัวข้อโครงการพิเศษ เครื่องจ่ายกระแสตรงคงที่สำหรับชุดสร้างสนามแม่เหล็ก

โดย นาย นโรตม์ สุภาวณีย์สกุล
นาย ภิเชก หาญพานิช

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

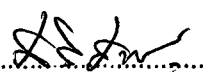
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย

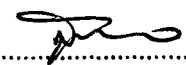
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
(ผศ.ดร. ปรีชา เทียนสมประสงค์)

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ

..... ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย)


..... กรรมการ
(ผศ. สิริศักดิ์ เดชะทวีกุล)


..... กรรมการ
(รศ. สุรพล รักรวิชัย)

..... กรรมการ
(อ. สุ่น จ้างประยูร)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	เครื่องจ่ายกระแสตรงคงที่สำหรับชุดสร้างสนามแม่เหล็ก
นักศึกษา	นาย นโรตม์ สุภาวณิชย์สกุล นาย ภิเชก หาญพานิช
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2537

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการออกแบบและการสร้างเครื่องจ่ายกระแสตรงคงที่ ที่สามารถจ่ายกระแสได้ตั้งแต่ 0-20 แอมป์ กำลังไฟฟ้า 4 กิโลวัตต์ โดยการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยวารีแอกซึ่งควบคุมจากระบบเซอร์โว และนำไอจีบีทีที่มาต่อขนานกัน เพื่อเป็นอุปกรณ์ในการควบคุม และรักษาเสถียรภาพของกระแส กระแสที่จ่ายออกมาจะมีความเสถียรประมาณ 1% ในช่วงกระแสตั้งแต่ 0-20 แอมป์ และทำการวัดค่าของความเสถียร 1% ที่สภาวะปกติเป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยเครื่องจ่ายกระแสจะเหมาะสมสำหรับเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ที่มีค่าความต้านทานระหว่าง 0-10 โอห์ม

Special Project Title	D.C. Current Source for Electromagnet
Name	Mr. Narot Supavanichsakul Mr. Pisek Hanpanish
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Aree Wichianchai
Department	Applied Physics
Academic Year	1994

Abstract

The design and construction of a constant-current 0-20 Amp, 4 KW d.c. power supply is described. The main power line regulation is controlled by variac transformer via servo-controller system. The current is controlled, and stabilization is provided, by the parallel IGBT devices. Output current can be maintain constant to better than 1% at anyvalue of 0-20 Amp. Under normal conditions, after an initial warming up period, a stability of 1% is measured during 10 hours. This supply is suitable for general electromagnet with the resistant of load between 0-10 ohms.

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จที่มีในโครงการพิเศษนี้ เกิดขึ้นได้ เนื่องมาจากบุคคลดังต่อไปนี้

พ่อ และ แม่ ผู้ที่คอยสนับสนุน และให้กำลังใจมาตลอด

อ. อารีย์ วิเชียรฉาย ผู้ให้คำแนะนำ แนวทาง ความรู้ และช่วยเหลือ ในด้านต่างๆ ในการทำงาน

อ. วิชิต ศิริโชติ ผู้ให้คำแนะนำ และความรู้

คุณ สุรวุฒิ กิจสัมพันธ์ ผู้คอยให้คำปรึกษา และแนะนำ

คุณ ชาญวิทย์ เดชอัครนง ผู้คอยให้คำปรึกษา และแนะนำ

เพื่อนๆ ปี4 ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.3 ขั้นตอนในการดำเนินงาน	1
บทที่ 2 เครื่องจ่ายกระแสคงที่	
2.1 ชนิดของกระแสคงที่	2
2.2 การออกแบบวงจรกระแสคงที่	3
บทที่ 3 การควบคุมและระบบเซอร์โว ของมอเตอร์	
3.1 การควบคุม	7
3.2 ระบบควบคุม	8
3.3 ระบบเซอร์โว	9
3.4 ระบบควบคุมดีซีซีเอ็มมอเตอร์	9
3.5 หลักการทำงานของดีซีซีเอ็มมอเตอร์	11
3.6 การแยกประเภทของดีซีซีเอ็มมอเตอร์	12
บทที่ 4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	
4.1 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของ MCS-51	14
4.2 การจัดขาคตามลักษณะภายนอกของ MCS-51	15
4.3 การจัดการทางสถาปัตยกรรม	18
4.4 การจัดหน่วยความจำ	22
4.5 การใช้เนื้อที่ของโปรแกรมภายนอกซ้อนกับหน่วยความจำข้อมูล	24
4.6 การอินเตอร์รัพต์	26
4.7 พอร์ต 8255	29
4.8 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลและแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก	36
4.9 การทำงานด้วยคอนโทรลเลอร์	40

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 5 การทำงานของชุดจ่ายกระแสคงที่	
5.1 การทำงานของวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า	46
5.2 ส่วนควบคุมการจ่ายกระแสตรง	47
5.3 ไอจีบีที	48
5.4 การทำงานของวงจรควบคุมและระบบเซอร์โวดี้ซีมอเตอร์	49
5.5 การทำงานในโหมดอัตโนมัติ	51
5.6 เครื่องสร้างสนามแม่เหล็ก	52
5.7 ส่วนแสดงผล	54
5.8 การทำงานเมื่อเปิดเครื่อง	55
บทที่ 6 การทดสอบการทำงานของเครื่องจ่ายกระแส และชุดอิเล็กทรอนิกส์แมกเนต	
6.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องจ่ายกระแส	58
6.2 การทดสอบไอจีบีที (ครั้งที่1)	67
การทดสอบไอจีบีที (ครั้งที่2)	73
6.3 การทดสอบสนามแม่เหล็กของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์แมกเนต	76
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ไอจีบีที	81
ภาคผนวก ข MC 33030	89
เอกสารอ้างอิง	102

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 หน้าที่ของขาสัญญานต่าง ๆ ของพอร์ต C เมื่อทำงานในโหมด 1	33
ตารางที่ 4.2 หน้าที่ของพอร์ต C ในโหมด 2	36

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะของวงจรควบคุมกระแส	2
รูปที่ 2.2 วงจรจ่ายกระแส โดยใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์	3
รูปที่ 2.3 วงจรจ่ายกระแส โดยใช้ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์	4
รูปที่ 2.4 วงจรจ่ายกระแส โดยใช้ออปแอมป์	4
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างวงจรกระแสซอร์ส	5
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างวงจรกระแสซิงค์	5
รูปที่ 3.1 วงจรแสดงการควบคุมแบบ เปิด-ปิด	7
รูปที่ 3.2 วงจรแสดงการควบคุมแบบสเตป	7
รูปที่ 3.3 วงจรแสดงการควบคุมแบบต่อเนื่อง	8
รูปที่ 3.4 ระบบควบคุมแบบลูปเปิด	8
รูปที่ 3.5 ระบบควบคุมแบบลูปปิด	9
รูปที่ 3.6 การเกิดแรงบิดในดีซีมอเตอร์	11
รูปที่ 3.7 คุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของดีซีมอเตอร์อนุกรม	12
รูปที่ 3.8 คุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของดีซีมอเตอร์ชานาน	12
รูปที่ 4.1 แผนภาพของไมโครคอนโทรลเลอร์	14
รูปที่ 4.2 ไดอะแกรมขาของ 8051 แบบ DIP	15
รูปที่ 4.3 โครงสร้างสถาปัตยกรรมภายในของ MCS-51	18
รูปที่ 4.4 แผนภูมิหน่วยความจำของ 8051	22
รูปที่ 4.5 ไดอะแกรมเวลาของการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก	24
รูปที่ 4.6 ไดอะแกรมเวลาของการตอบสนองการขัดจังหวะ	26
รูปที่ 4.7 แผนผังวงจรภายในของ 8255	29
รูปที่ 4.8 การจัดขาของ 8255	30
รูปที่ 4.9 ความหมายของบิตต่างๆในรหัสควบคุม	31
รูปที่ 4.10 โครงสร้างตัวตรวจสอบสัญญาณของพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุต	32
รูปที่ 4.11 วงจรการต่อ 8255 ในโหมด 1	32
รูปที่ 4.12 แผนผังเวลาการรับและส่งข้อมูลโดยใช้ตัวตรวจสอบสัญญาณ	34
รูปที่ 4.13 โครงสร้างของพอร์ต A ที่ทำงานแบบพอร์ต 2 ทิศทาง	35
รูปที่ 4.14 แผนผังและรูปคลื่นของวงจรเอดีซี แบบประมาณค่าต่อเนื่อง	37
รูปที่ 4.15 วงจรเอดีซี แบบแฟลช	38
รูปที่ 4.16 แผนผังของวงจรดีเอซี	39
รูปที่ 4.17 วงจรดีเอซี แบบตัวต้านทานหลายค่า	39
รูปที่ 4.18 วงจรดีเอซี แบบตัวต้านทาน 2 ค่า	40

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 5.1 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของชุดจ่ายกระแส	46
รูปที่ 5.2 วงจรป้อนแรงดันที่ใช้ในโครงการพิเศษ	46
รูปที่ 5.3 วงจรควบคุมกระแส	47
รูปที่ 5.4 การต่อไอจีบีที	48
รูปที่ 5.5 วงจรของระบบควบคุมดีซีมอเตอร์	49
รูปที่ 5.6 วงจรรวมทั้งระบบ ของเครื่องจ่ายกระแส	50
รูปที่ 5.7 ลักษณะของแป้นรับข้อมูล	51
รูปที่ 5.8 แสดง bounce ที่เกิดขึ้น	52
รูปที่ 5.9 โครงสร้างของเครื่องสร้างสนามแม่เหล็ก	52
รูปที่ 5.10 ลักษณะของ Yoke	53
รูปที่ 5.11 ลักษณะของขดลวดแม่เหล็ก	54

บทที่ 1

บทนำ

แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเครื่องมือพื้นฐานสำหรับนักวิทยาศาสตร์ทั่วไป ที่เป็นพลังงานสำหรับกระตุ้นพาหะต่างๆ ได้ละเอียดมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งประกอบเป็นเครื่องมือทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของสสารทางฟิสิกส์ เช่น Hall Effect Magnetic Susceptibility measurement, B-H loop hysteresis curve, Zeeman Effect, Nuclear magnetic resonance ฯลฯ มักจะใช้สนามแม่เหล็กชนิดแม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งนี้เพราะง่าย และสะดวกในการควบคุมสนามให้มีสนามแม่เหล็กที่เหมาะสม และมีเสถียรภาพ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้มีการพัฒนาชุดดังกล่าวขึ้น เพื่อให้สามารถใช้งานได้กับ 0-20 แอมป์ และมีชุดปรับแรงดันไฟเลี้ยงให้เหมาะสมกับโหลด ด้วยมอเตอร์ที่ขับเคลื่อน

1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องจ่ายกระแสที่มีความเสถียร
2. ต้องการออกแบบชุดจ่ายกระแสตรงให้เหมาะสม ด้วยการใช้อุปกรณ์ power device ชนิดใหม่ๆ

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อนำมาประกอบในการใช้งานของเครื่อง Electromagnet ของภาควิชา
2. เรียนรู้การคัดเลือก power devices เช่น BJT, IGBT, PMOSFET มาใช้งาน

1.3 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ศึกษาและค้นคว้า ทฤษฎี ของวงจรจ่ายกระแส
2. ออกแบบวงจรให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ
3. สร้างเครื่องจ่ายกระแสตามวงจรที่ออกแบบไว้
4. ทดสอบการทำงานของเครื่อง และบันทึกผล
5. สรุปผลในการทดสอบ และประสิทธิภาพของเครื่อง

บทที่ 2 เครื่องจ่ายกระแสคงที่

คือเครื่องมือที่สามารถควบคุมการจ่ายกระแสให้คงที่ตลอด โดยไม่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงหรือเปลี่ยนแปลงเมื่อความต้านทานของโหลดเปลี่ยนไป

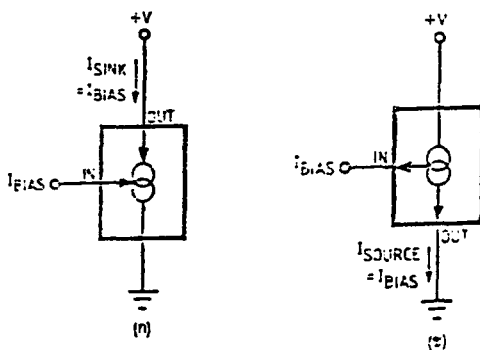
วงจรที่สามารถจะมีคุณสมบัติตามที่กล่าวมา ควรจะมีความต้านทานขาออกที่สูงกว่าความต้านทานของโหลดมาก เพราะเมื่อนำโหลดมาต่อที่ขาออกของวงจร ความต้านทานของโหลดก็จะเสมือนว่าต่ออนุกรมกับความต้านทานขาออกของวงจร ถ้าสมมติให้ความต้านทานขาออกของวงจรมีค่าเท่ากับ $10\text{ k}\Omega$ และความต้านทานของโหลดมีค่า $10\ \Omega$ จะได้ความต้านทานรวมเป็น $10,010\ \Omega$ จะเห็นว่าความต้านทานเปลี่ยนไปเพียง 0.1% ซึ่งจะเห็นว่ากระแสเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้นดังนั้นจะทำให้วงจรเปรียบเหมือนเป็นวงจรกระแสคงที่ได้

แต่ในความเป็นจริงแล้วไม่สามารถจะออกแบบวงจรเช่นนี้ได้ เนื่องจากจะมีข้อจำกัดในการป้อนแรงดันไฟฟ้า และการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานขาออกด้วย ดังนั้นจึงต้องออกแบบวงจรเสมือนว่ามีความต้านทานทางด้านขาออกสูง และไม่มีความต้านทานขาออกมาเกี่ยวข้องด้วย

2.1 ชนิดของกระแสคงที่

การไหลของกระแสในวงจรกระแสคงที่จะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ การไหลของกระแสซิงค์ (current sink) และการไหลของกระแสซอร์ส (current source) ซึ่งลักษณะความแตกต่างในการไหลของกระแสทั้งสองแบบจะเป็นดังนี้

พิจารณาโดยการกำหนดทิศทางการไหลของกระแสให้ไหลจากบวกไปยังลบ ในกรณีของวงจรกระแสซอร์ส จะพบว่าวงจรจะเป็นเหมือนขั้วทางด้านบวกที่กระแสไหลออกมา เป็นการควบคุมกระแสก่อนไหลเข้าสู่โหลด ส่วนวงจรกระแสซิงค์มีทิศทางของกระแสไหลผ่านโหลด ก่อนที่จะไหลเข้าวงจรควบคุมกระแสและผ่านลงกราวด์ เราจะได้ลักษณะวงจรควบคุมกระแสทั้งสองแบบจะเป็นดังนี้



รูปที่ 2.1 ก) ลักษณะของวงจรควบคุมกระแสซิงค์
ข) ลักษณะของวงจรควบคุมกระแสซอร์ส

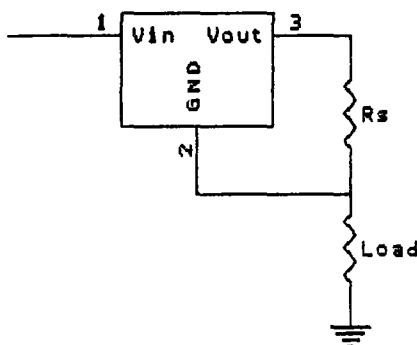
อาจจะกล่าวอย่างสรุปได้ว่ากระแสที่ไหลเข้าไปในวงจรโดยที่มีกระแสที่เรียกว่า ‘กระแสซิงค์’ ส่วนกระแสที่ไหลออกจากวงจรโดยมีค่าคงที่จะเรียกว่า ‘กระแสซอร์ส’ แต่อย่างไรก็ตามการทำงานของวงจรกระแสทั้งสองนี้จะให้ผลที่เหมือนกัน

2.2 การออกแบบวงจรกระแสคงที่

วงจรกระแสคงที่ โดยทั่วไปจะมีการใช้อุปกรณ์ในการควบคุมกระแสแบบต่างๆ ดังนี้

2.2.1 โดยใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์

จากคุณสมบัติของเรกกูเลเตอร์ที่จะรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าคงที่ ดังนั้นถ้าหากเราต่อตัวต้านทานที่มีค่าคงที่ค่าหนึ่งจากกฎของโอห์มคือ $V = I/R$ จะได้กระแสออกมาค่าหนึ่ง ซึ่งมีหลักในการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 วงจรจ่ายกระแส โดยใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์

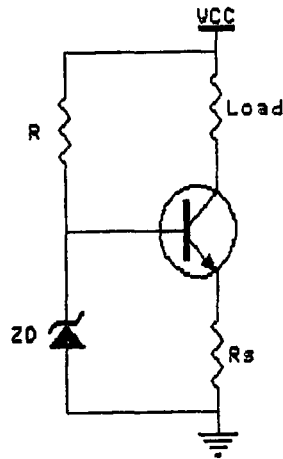
จากรูปมีการควบคุมแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานคงที่ R_s ด้วยไอซีเรกกูเลเตอร์ ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านจะเท่ากับ แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_s ส่วนด้วยความต้านทาน R_s โดยค่ากระแสที่ได้จะไม่ขึ้นกับความต้านทานของโหลด R_L ดังนี้

$$I = \frac{V}{R_s}$$

การควบคุมกระแสให้ไหลผ่านได้มากหรือน้อย สามารถทำได้โดยเปลี่ยนความต้านทานของ R_s แต่ควรจะต้องระวังตัวไอซีเรกกูเลเตอร์อาจจะเสียหายได้ และเนื่องจากมีการควบคุมกระแสโดยการปรับค่าของ R_s ทำให้ยากต่อการควบคุมกระแสที่ต้องการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อเนื่อง

2.2.2 โดยใช้ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์

ถ้าต่อไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ ในรูปของวงจรคอลเลกเตอร์ร่วม (Common Collector) โดยจะใช้ชาคอลเลกเตอร์เป็นตัวจ่ายกระแสให้กับโหลดดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.3 วงจรจ่ายกระแส โดยใช้ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ที่มีการไบแอสชนิด คอลเลคเตอร์ร่วม

กำหนดให้ R_s เป็นตัวต้านทานที่ขาอิมิตเตอร์ แรงดันที่ตกคร่อม R_s จะเท่ากับแรงดันไบแอสที่ขาเบส ลบด้วยแรงดันตกคร่อมระหว่างขาเบสและอิมิตเตอร์ตามสมการ

$$V_B = V_{BE} + V_{R_s}$$

ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน R_s จะเท่ากับ

$$I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_s}$$

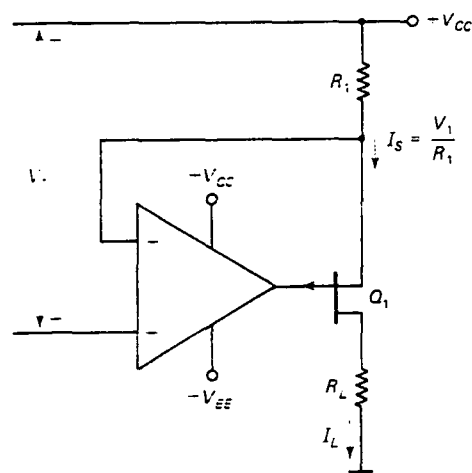
และจาก

$$I_C = I_E$$

ดังนั้นจะได้กระแสคงที่ที่ไม่ขึ้นกับโหลด

2.2.3 โดยใช้โอปแอมป์

เป็นการอาศัยคุณสมบัติของโอปแอมป์ในการเปรียบเทียบสัญญาณในลักษณะของวงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอมพลิไฟเออร์ แล้วนำสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตไปควบคุมอุปกรณ์ได้รูป



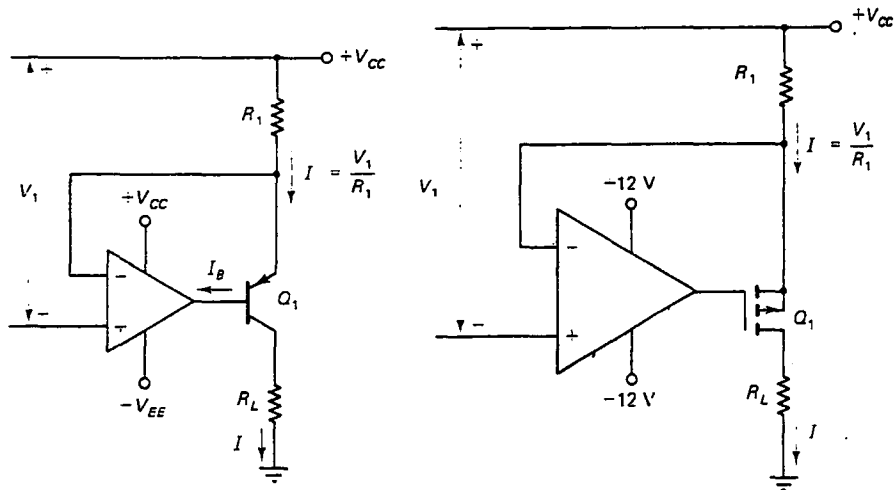
รูปที่ 2.4 วงจรจ่ายกระแสตรงคงที่ โดยใช้โอปแอมป์

ถ้ามีการป้อนสัญญาณเข้าที่ขาอินพุทของออปแอมป์ แล้วนำสัญญาณที่ได้จากตัวต้านทานคงที่มาต่อที่ขาอินพุทของออปแอมป์ ออปแอมป์จะพยายามรักษาระดับสัญญาณ ที่ขาทั้งสองข้างให้เท่ากัน ในกรณีที่ระดับสัญญาณขาทั้งสองไม่เท่ากันก็จะเกิดสัญญาณออกมาที่เอาต์พุทของออปแอมป์ ซึ่งเอาต์พุทนี้จะนำไปควบคุมอุปกรณ์ เพื่อควบคุมการไหลของกระแสผ่านตัวอุปกรณ์ โดยลักษณะการทำงานที่กล่าวมาจะเป็นแบบแรงดันควบคุมกระแส (Voltage Control Current)

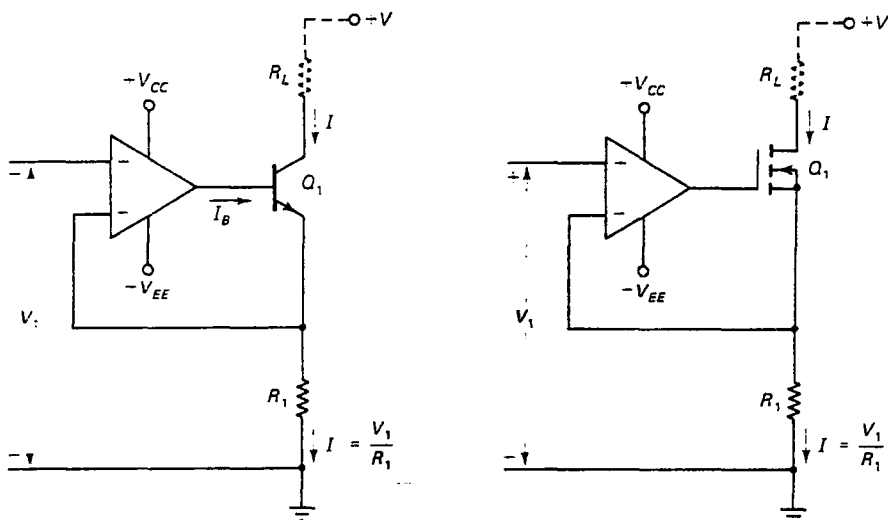
กระแสที่ได้จากการใช้ออปแอมป์จะเป็นดังนี้

$$I = \frac{V_1}{R_s}$$

วงจรควบคุมกระแสที่ใช้ออปแอมป์ จะเป็นรูปแบบของวงจรที่นำมาใช้ในการทำโครงการพิเศษ



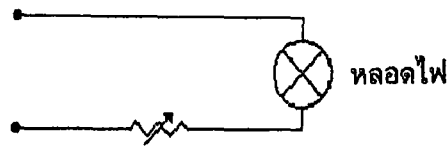
รูปที่ 2.5 วงจรกระแสฮอว์ล



รูปที่ 2.6 วงจรกระแสซิงค์

ถ้าสังเกตจากวงจรที่แสดงในรูปที่ 2.5 และ รูปที่ 2.6 จะพบว่าวงจรกระแสซอร์สจะใช้ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP และใช้โมสเฟตชนิด P-channel เป็นอุปกรณ์ในการควบคุมกระแส ส่วนวงจรกระแสซิงค์จะใช้ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และใช้โมสเฟตชนิด N-channel แทนค่าของกระแสที่ไหลผ่านโหลดของวงจรทั้งสองแบบสามารถคำนวณได้จาก $I = V_1/R_1$

3.1.3 การควบคุมแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 3.3 วงจรแสดงการควบคุมแบบต่อเนื่อง

ตัวควบคุม (สวิตช์) สามารถเลือกควบคุมการส่งถ่ายพลังงาน ให้กับโหลดในอัตราใดอัตราหนึ่ง ได้จากการปรับค่าความต้านทาน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งถ่ายพลังงานที่สามารถเปลี่ยนได้ ทุกอัตราจากค่าสูงสุดถึงค่าต่ำสุด

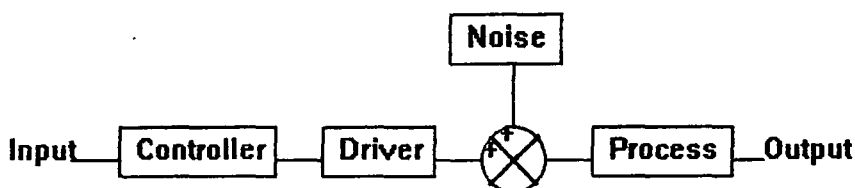
3.2 ระบบควบคุม

ระบบควบคุม คือระบบที่ต้องอาศัยการป้อนอินพุต เพื่อควบคุมเอาต์พุตให้ได้ผลตอบสนองของระบบให้เป็นไปตามที่ต้องการ พื้นฐานในการวิเคราะห์ระบบควบคุมกระทำได้โดยการอาศัยหลักทฤษฎีระบบเชิงเส้น โดยกำหนดถึงความสัมพันธ์ของอินพุต-เอาต์พุตของส่วนประกอบของระบบ

ระบบควบคุมสามารถแบ่งได้ 2 แบบคือ

3.2.1 ระบบควบคุมแบบรูปเปิด (Open Loop)

คือระบบที่มีตัวควบคุมที่จะให้ผลตอบสนองตามที่เราร้องการทางอินพุต โดยที่ไม่ต้องอาศัยการป้อนกลับจากเอาต์พุต

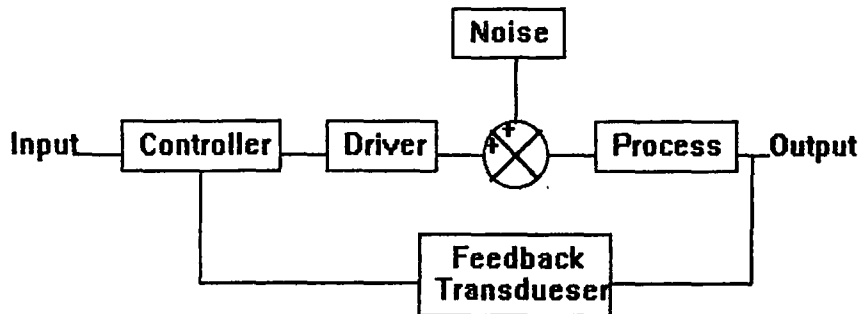


รูปที่ 3.4 ระบบควบคุมแบบรูปเปิด

3.2.2 ระบบควบคุมแบบรูปปิด (Close Loop)

คือระบบที่มีการป้อนเอาต์พุตของระบบกลับไปเปรียบเทียบกับอินพุตของระบบ แล้วจะนำค่าของความแตกต่างหรือความผิดพลาด (Error) ที่ได้จากการเปรียบเทียบป้อนให้ตัวควบคุม เพื่อทำการควบคุมระบบให้เอาต์พุตของกระบวนการได้ผลตามที่ต้องการ

แผนภาพของการควบคุมแบบลูปปิดจะมีรูปแบบดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.5 ระบบควบคุมป้อนกลับแบบลูปปิด

ในการทำงานระบบที่ใช้งานจริงจะมีความยุ่งยากซับซ้อนมากกว่าที่แสดงในรูปที่ 3.5 ดังนั้นค่าความสัมพัทธ์ของตัวแปรที่ถูกควบคุมต่างๆ จะต้องถูกพิจารณาในแบบแผนการควบคุมในลักษณะแผนภาพของระบบป้อนกลับที่มีตัวแปรหลายตัว

3.3 ระบบเซอร์โว (Servo)

ระบบเซอร์โว คือระบบควบคุมแบบติดตามเป็นระบบชนิดป้อนกลับ ซึ่งมักจะนำไปใช้การควบคุมเครื่องจักรกลในส่วนต่างๆ ที่มีการเคลื่อนที่ให้เป็นไปตามต้องการ โดยการควบคุมของตัวแปรอินพุต $r(t)$ จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ดังนั้นตามหลักการของระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับแบบลูปปิดแล้วการทำงานของระบบเซอร์โวตัวแปรเอาต์พุตของระบบจะติดตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอินพุตไปในเวลาเดียวกัน ซึ่งอาจเรียกระบบดังกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าเป็นระบบควบคุมแบบแทรกคั้ง (tracking control system) หรือระบบควบคุมแบบโฟลโลอิง (following control system)

สรุปได้ว่าระบบเซอร์โวคือ ระบบการควบคุมแบบติดตามชนิดป้อนกลับ และมักจะนำไปใช้กับเครื่องจักรกลที่ไปขับโหลดในแบบไดนามิก โดยทั่วไปจะมีการควบคุมการเคลื่อนไหวในลักษณะของตำแหน่งมุม ความเร็วรอบ อัตราเร่ง และแรงบิด ในตัวมอเตอร์ ซึ่งจำแนกได้เป็น 4 แบบดังนี้

1. ระบบการควบคุมตำแหน่งเพลามอเตอร์
2. ระบบการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์
3. ระบบการควบคุมอัตราเร่งของเพลามอเตอร์
- 4 ระบบการควบคุมแรงบิดของเพลามอเตอร์

ระบบเซอร์โวที่ใช้ในงานทั่วไปจะประกอบด้วย การควบคุมหลายๆ อย่าง ในระบบเดียวกัน

3.4 ระบบควบคุมดีซีมอเตอร์

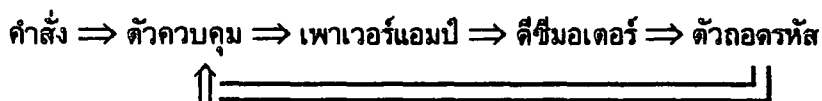
ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบควบคุมดีซีมอเตอร์ประกอบด้วย

1. ตัวควบคุม (Controller)
2. วงจรขับ (Driver) หรือวงจรมายกกำลัง (Power Amplify)

3. ตัวแปลงสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Transducer) หรือ ตัวถอดรหัส (Encoder)

4. ดีซีมอเตอร์ (D.C. Motor)

ในแต่ละส่วนจะมีความสัมพันธ์ในการทำงาน ดังนี้



3.4.1 ตัวควบคุม (Controller)

เป็นส่วนของระบบที่จะให้เกิดสัญญาณควบคุมไปยังดีซีมอเตอร์และโหลดการควบคุมที่ให้สัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณอนาลอกเรียกว่า อนาลอกคอนโทรล ส่วนตัวควบคุมที่มีสัญญาณควบคุมเป็นดิจิตอลเรียกว่า ดิจิตอลคอนโทรล

3.4.2 วงจรขับ (Driver)

เป็นส่วนประกอบของระบบที่อยู่ระหว่างตัวควบคุมกับดีซีมอเตอร์ และโหลด มีหน้าที่ปรับรูปและขยายสัญญาณให้เหมาะสม ก่อนที่จะป้อนเข้าไปขับดีซีมอเตอร์และโหลด วงจรขับส่วนใหญ่จะได้แก่เพาเวอร์แอมป์ลิไฟ ซึ่งจะแบ่งย่อยออกเป็น ลิเนียร์เพาเวอร์แอมป์ลิไฟ และพัลส์วิดท์โมดูเลชันแอมป์ลิไฟ

3.4.3 ตัวแปลงสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Transducer) หรือ ตัวถอดรหัส (Encoder)

จะใช้ตรวจสอบสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการ โดยแปลงผลของสัญญาณที่ตรวจสอบได้ป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง เพื่อหาความแตกต่างทางด้านอินพุต ตัวแปลงสัญญาณจะแบ่งออกได้เป็นสองแบบคือ "อนาลอกทรานสดิวเซอร์" ที่มีการเปลี่ยนพลังงานให้เป็นสัญญาณอนาลอก ซึ่งได้แก่พวก ทาโคเจนเนอเรเตอร์ โปรเพนทีโอมิเตอร์ และซิงโคร (Synchro) เป็นต้น ส่วนอีกแบบหนึ่งคือ "ดิจิตอลทรานสดิวเซอร์" ที่จะเปลี่ยนรูปพลังงานให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ได้แก่พวก อินคริเมนต์เอนโคเดอ์

3.4.4 ดีซีมอเตอร์ (D.C. Motor)

ในระบบการควบคุมดีซีมอเตอร์จะแบ่งออกเป็นระบบใหญ่ๆ ได้ 2 ระบบคือ

- ระบบอนาลอกคอนโทรล

ในระบบอนาลอกคอนโทรล สัญญาณป้อนกลับเป็นสัญญาณอนาลอก ที่มีความต่อเนื่องของสัญญาณ ซึ่งในโครงการพิเศษจะใช้ระบบอนาลอกคอนโทรล เป็นระบบในการควบคุมตำแหน่งไดนามิกวาริเอเบิล (Dynamic Variable) หรือการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งของโหลดแรงดันเอาต์พุต จะเป็นสัดส่วนกับตำแหน่งที่เปลี่ยน สัญญาณที่ได้จะเป็นอนาลอกที่มีลักษณะเป็นไดนามิกวาริเอเบิล

สรุปได้ว่าระบบอนาลอกควบคุม ก็คือควบคุมรูปที่มีตัวแปลงสัญญาณป้อนกลับเป็นอนาลอกวัดค่าไดนามิกวาริเอเบิลออกเป็นสัญญาณอนาลอก ป้อนกลับไปยังตัวอนาลอกคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุม

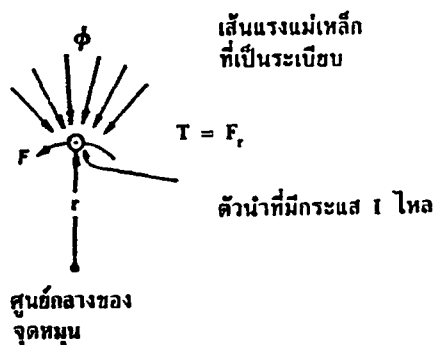
ให้ได้คุณสมบัติการทำงานเป็นไปตามที่ต้องการ

- ระบบดิจิทัลคอนโทรล

ระบบดิจิทัลคอนโทรล คือระบบควบคุมรูปที่ตัวแปลงสัญญาณป้อนกลับ เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งสามารถวัดค่าไดนามิกควาเรียเบิลออกเป็นสัญญาณดิจิทัลอยู่ในรูปของสัญญาณรหัสแบบไบนารี คือสัญญาณเอาท์พุทของตัวแปลงสัญญาณจะเป็นรหัสไบนารีป้อนกลับไปยังตัวดิจิทัลคอนโทรล เพื่อควบคุมให้คุณสมบัติการทำงานจากระบบเป็นไปตามที่ต้องการ

3.5 หลักการทำงานของคีมอเตอร์

คีมอเตอร์เป็นทรานส์ดิวเซอร์แรงบิด ซึ่งมีการออกแบบให้มีคุณลักษณะพิเศษ คือแรงบิดของเพลลาของคีมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาร์มาเจอร์ แรงบิดของเพลลาคีมอเตอร์จะได้อมาจากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ หลักการนี้แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.6 แสดงถึงการเกิดแรงบิดในตัวคีมอเตอร์

เมื่อ E คือ แรงดันย้อนกลับ cmf มีหน่วยเป็นโวลต์

Φ คือ เส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเวเบอร์

ω คือ ความเร็วของมอเตอร์มีหน่วยเป็นเรเดียน/วินาที

ในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างสนามที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก Φ และขดลวดตัวนำจะอยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ r ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาและกระแสจะมีค่าเท่ากับ

$$T = KI\Phi$$

เมื่อ T คือ แรงบิดของเพลลา มีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร

K คือ ตัวคงที่

I คือ กระแสเป็นแอมแปร์

Φ คือ เส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเวเบอร์

ดังนั้นแรงบิดของเพลาก็เป็นส่วนสำคัญโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็ก และกระแสเมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวมันเอง แรงดันนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วมอเตอร์และตำแหน่งการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันย้อนกลับและความเร็วเพลามอเตอร์คือ

$$E = K\phi\omega$$

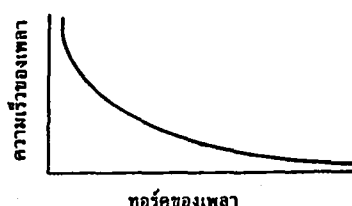
3.6 การแยกประเภทของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กของตัวมอเตอร์และการออกแบบโครงสร้างของอาร์มาเจอร์ การแบ่งประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กแยกออกได้เป็น

3.6.1 ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้

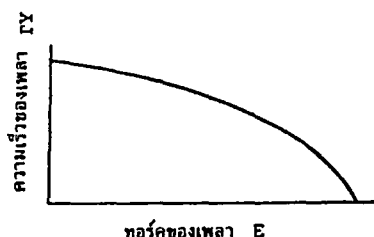
ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้ยังแบ่งแยกได้เป็น 2 แบบคือ

ก) แบบขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์มาเจอร์ มอเตอร์แบบนี้จะมีเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสัดส่วนกับกระแส ดังนั้นเส้นแรงของสนามแม่เหล็กจึงสามารถปรับค่าได้ ซึ่งจะใช้เวลาเมื่อต้องการแรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ และแรงบิดต่ำที่ความเร็วสูง



รูปที่ 3.7 คุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของดีซีมอเตอร์อนุกรม ภายใต้สภาวะแรงดันคงที่

ข) แบบขดลวดสนามแม่เหล็กแยกกระตุ้น มักนิยมเรียกกันว่ามอเตอร์ชานาน มอเตอร์แบบนี้สามารถปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้อย่างอิสระต่อกระแสของอาร์มาเจอร์ทำให้สามารถควบคุมพารามิเตอร์ของมอเตอร์ให้มีค่าคงที่ได้ตลอดช่วงพิสัยที่กว้าง มักใช้งานกรณีระบบบังคับกับการเคลื่อนที่ที่ต้องการแรงบิดสูง



รูปที่ 3.8 แสดงคุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ชานาน ภายใต้สภาวะอาร์มาเจอร์แรงดันคงที่และการกระตุ้นสนามแม่เหล็กคงที่

3.6.2 ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่

ระบบการกระตุ้นสนามของมอเตอร์โดยทั่วไปในปัจจุบันมักใช้แบบแม่เหล็กถาวร ระบบนี้เส้นแรงของสนามมีค่าคงที่ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างกระแสอาร์มาเจอร์และแรงบิดจะมีค่าคงที่ดังสมการ

$$T = KI\phi$$

เขียนให้ง่ายขึ้นได้ขึ้นเป็น

$$T = K\phi I$$

และได้สมการ

$$E = K_e\omega$$

ระบบนี้จะให้ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสอาร์มาเจอร์ แรงบิด และความเร็ว อยู่ในลักษณะเชิงเส้นสมการทางไฟฟ้าของดีซีมอเตอร์แบบนี้เขียนได้เป็น

$$V = K_e\omega + L\frac{di}{dt} + R_i$$

- เมื่อ V คือ โวลต์เตจที่ป้อนให้กับมอเตอร์
 K_e คือ ค่าคงที่ของโวลต์ย้อนกลับ
 L คือ อินдукแตนซ์ของอาร์มาเจอร์
 R_i คือ ความต้านทานที่ขั้วของมอเตอร์

สมการไดนามิกของมอเตอร์คือ

$$T_g = J\frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_f + T_l$$

- เมื่อ T_g คือ แรงบิดที่กำเนิดโดยมอเตอร์
 J คือ ผลรวมของโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์และโหลด
 B คือ สัมประสิทธิ์ของ วิสคอสแดมป์ฟิง
 T_f คือ แรงบิดเสียดทานภายใน
 T_l คือ แรงบิดโหลด

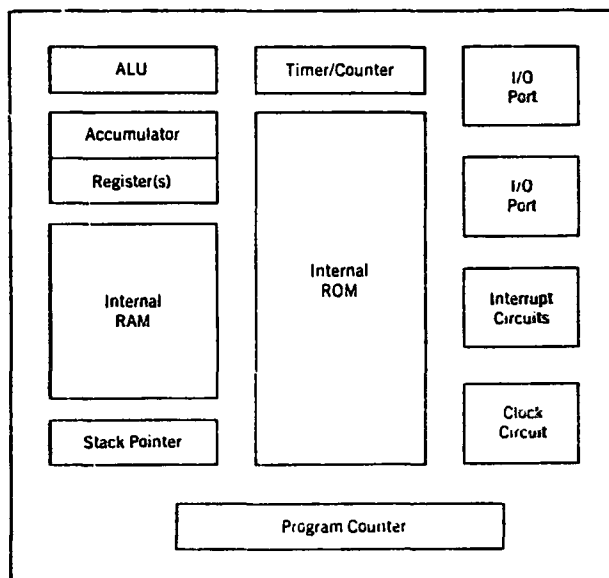
บทที่ 4

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS - 51)

4.1 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของ MCS-51

ลักษณะหลักทั่ว ๆ ไปของ MCS-51 จะประกอบด้วย

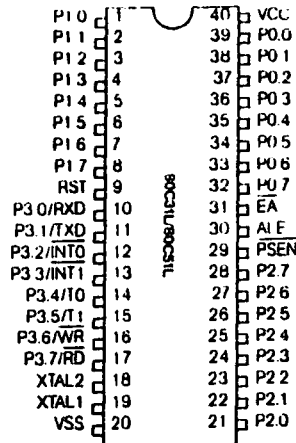
1. ใช้ HMOS และ CHMOS เทคโนโลยี ในการสร้างและทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟขนาด 5 โวลท์
2. ซีพียูมีขนาดคำ 8 บิต มีวงจรรอฮิลเลเตอร์ และวงจรรนาฬิกาบนชิป
3. ชุดแบงก์ (BANK) รีจิสเตอร์มี 4 ชุด แต่ละชุดมีรีจิสเตอร์ 8 ตัว
4. มีตัวจับเวลา/ตัวนับ ขนาด 16 บิต 2 ชุด และสำหรับเบอร์ 8032/8052 มี 3 ชุด
5. มีพอร์ต ไอโอ แบบขนานสองทิศทางจำนวน 4 พอร์ต
6. พอร์ตแบบอนุกรมสามารถที่จะโปรแกรมการรับส่งแบบ Full Duplex ที่ความเร็วสูง
7. หนึ่งวัฏจักรคำสั่งจะกินเวลา 1 ไมโครวินาที ด้วยการไคริสตอล 12 เมกกะเฮิร์ตซ์
8. แอดเดรสข้อมูลภายนอกได้ 64 กิโลไบต์ และ แอดเดรสโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
9. สามารถกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลขนาดไบต์หรือบิตได้โดยตรง
10. มีซอฟต์แวร์บิตแฟล็กสำหรับผู้ใช้ที่จะกำหนดเองได้ถึง 128 ตำแหน่งบิต
11. โครงสร้างอินเตอร์รัพต์จะติดตั้งได้ 5 แหล่ง และ 6 แหล่ง (สำหรับ 8032/8052) พร้อมด้วยการจัดไพริอิตี (Priority) ได้ 2 ระดับ
12. ตัวโปรเซสเซอร์สามารถใช้งานแบบบูลีน (Boolean) ได้ สำหรับการใช้กับงานควบคุม
13. มีคำสั่งคูณและหารทางฮาร์ดแวร์ที่ทำได้ภายใน 4 ไมโครวินาที
14. ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ใช้ได้ทั้งระบบไบนารีและเดซิมีอล



รูปที่ 4.1 แผนภาพของไมโครคอนโทรลเลอร์

8751H อยู่ในกลุ่มรุ่นเดียวกับ 8051AH สามารถโปรแกรมได้ด้วยระบบไฟฟ้าสามารถจะลบโปรแกรมออกด้วยแสงอัลตราไวโอเลต นอกเหนือจากที่แสดงในตารางข้างต้น ที่ใช้เทคโนโลยี HMOS แล้วยังมีตระกูลอื่นที่ใช้เทคโนโลยี CHMOS ที่ประหยัดพลังงานได้มากกว่า 4 เท่าของ CMOS ซึ่งก็คือ เบอร์ 80C51, 80C31 และ 87C51

4.2 การจัดขาตามลักษณะภายนอกของ MCS-51



รูปที่ 4.2 ไดอะแกรมขาของ 8051 แบบ DIP

การจัดขาตามลักษณะภายนอกของชิป MCS-51 มีการแบ่งกลุ่มการจัดขาตามสถาปัตยกรรมของ MCS-51 อยู่ 4 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มขารับแหล่งจ่ายไฟฟ้า และระบบสัญญาณนาฬิกา
2. กลุ่มขาแอดเดรสและข้อมูล
3. กลุ่มขาควคุม
4. กลุ่มขาพอร์ตแบบขนานและอนุกรม

ขาบางขาจะมีหน้าที่ได้สองหน้าที่ ขึ้นอยู่กับการติดตั้งด้วยซอฟต์แวร์หรือฮาร์ดแวร์เช่นขาที่ 32 ถึง 39 จะทำหน้าที่ได้เป็นกลุ่มขาแอดเดรสและข้อมูล หรือจะทำหน้าที่เป็นกลุ่มขาพอร์ตแบบขนาน

รายละเอียดหน้าที่ขาแต่ละขามีดังนี้

- Vss (ขา 20) เป็นขาสำหรับต่อลงกราวด์
- Vcc (ขา 40) เป็นขาที่ต่อแรงดันไฟกระแสตรงขนาด 5 V
- PORT 0 (ขา 32-39) ทำหน้าที่เป็นพอร์ต I/O 8 บิตแบบ Open Drain Bidirectional ซึ่งสามารถจะรับโหลดที่ที่แอลได้ 8 ตัว การเขียนค่า '1' ไปที่พอร์ตนี้จะเป็นการปล่อยลอย (Float) ขาของพอร์ตนี้ ทำให้ทำงานเป็นอินพุตมีสถานะอิมพีแดนซ์สูง และอีกหน้าที่หนึ่ง พอร์ต 0 จะทำงานเป็นมัลติเพลกซ์ ให้กับสัญญาณแอดเดรสไบต์ต่ำกับบัสข้อมูลสำหรับใช้งานด้านหน่วยความจำภายนอก ในการใช้งาน

ในหน้าที่นี้จะใช้ลักษณะภายในเป็นตัวพูล์อ์พนอกจากหน้าที่หลัก 2 หน้าที่ดังกล่าวแล้ว พอร์ต 0 ยังใช้งานพิเศษเป็นตัวส่งข้อมูลออกทางพอร์ต เมื่อต้องการตรวจสอบโปรแกรมใน ROM ภายใน และการโปรแกรมตัว EPROM ภายใน ซึ่งต้องมีการพูล์อ์พจากภายนอกด้วยค่า 10 กิโลโอม

PORT 1 (ขา1-8)

เป็นพอร์ต I/O 8 บิตแบบ Open Drain Bidirectional พร้อมด้วยการพูล์อ์พภายใน ถ้าเป็นพอร์ตเอาต์พุตบัฟเฟอร์สามารถขับโหลดที่ที่แอลตระกูลแอลเอสไอได้ 4 ตัว พอร์ต1 เมื่อถูกเขียนค่า '1' ด้วยโปรแกรมทำให้มีสถานะสูงด้วยการพูล์อ์พภายใน การให้สถานะเช่นนี้จะเป็นการใช้งานพอร์ตเป็นอินพุทขณะที่พอร์ตเป็นอินพุทการให้สัญญาณลงต่ำจะเป็นการจ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูล์อ์พภายใน ในชิปเบอร์ 8052 ขา P1.0 และ P1.7 จะใช้งานเป็น T2 และ T2EX โดยขา T2 จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากภายนอกให้กับตัวจับเวลา T2 ทำงาน ในส่วนขา T2EX จะเป็นอินพุทผ่านเข้าตัวจับเวลา 2 จะถูกกระตุ้นให้ทำงานแบบปกติตามโปรแกรมที่ติดตั้งไว้ หรือ เก็ปเจอร์ (Capture)

PORT 2 (ขา 21-28)

เป็นพอร์ต 8 บิตแบบ Open drain Bidirectional ด้วยการพูล์อ์พภายในพอร์ตที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เอาต์พุต สามารถจ่ายโหลดที่ที่แอล ตระกูลแอลเอสไอ 4ตัว อีกหน้าที่หนึ่งของพอร์ต จะถูกใช้งานเป็นตัวส่งแอดเดรสไบต์สูง เมื่อใช้งานร่วมกับหน่วยความจำภายนอกเพื่อให้แอดเดรสได้ถึง 16 บิต ในการทำงานนี้จะมีพูล์อ์พภายในที่ช่วยให้การส่งค่า '1' ได้ระดับที่แน่นอน นอกจากใช้งานสำหรับแอดเดรสอันดับสูง ยังใช้เป็นขาควบคุมในการใช้งานตรวจสอบและเขียนโปรแกรมเบอร์ 8751 และตรวจสอบโปรแกรมภายใน 8051

PORT 3 (ขา10-17)

เป็นพอร์ต I/O 8 บิตแบบมีพูล์อ์พภายใน นอกจากทำเป็นพอร์ตที่สามารถโหลดที่ที่แอลพวกตระกูลแอลเอสไอได้ 4 ตัวแล้ว ยังมีอีกหน้าที่หนึ่งในตระกูล MCS-51 ตามรายการข้างล่างนี้ด้วย

<u>ขาพอร์ต</u>	<u>ขา</u>	<u>การทำงานตามฟังก์ชันพิเศษ</u>
P3.0	10	RxD พอร์ตอนุกรมอินพุต
P3.1	11	TxD พอร์ตอนุกรมเอาต์พุต
P3.2	12	INT0 อินเตอร์รัพต์ภายนอกตัวที่1
P3.3	13	INT1 อินเตอร์รัพต์ภายนอกตัวที่2
P3.4	14	T0 สัญญาณกระตุ้นเข้าที่ตัวจับเวลา/ตัวนับ 0
P3.5	15	T1 สัญญาณกระตุ้นเข้าที่ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1
P3.6	16	WR สัญญาณควบคุมการเขียน
P3.7	17	RD สัญญาณควบคุมการอ่าน

การที่จะให้ทำงานตามฟังก์ชันข้างบนได้ จะต้องติดตั้งโปรแกรมด้วยการส่งค่า '1' ไปแลทซ์ไว้ก่อนที่ให้ทำงานตามฟังก์ชันข้างบน

RST (ขา9)

ต้องคงสถานะค่าสูง เป็นเวลาประมาณอย่างน้อยสองวัฏจักร ในระหว่างที่ตัว

ออสซิลเลเตอร์ทำงาน ขณะที่ต้องการรีเซตระบบงาน ทำโดยต่อตัวต้านทาน พูลดาวน์ที่มีค่า 8.2 กิโลโห์มจากขา RST ต่อลงกราวด์ และเพื่อให้ตัวชิป รีเซตได้โดยอัตโนมัติ ขณะเปิดไฟจะใช้คาปาซิเตอร์ (10 ไมโครฟารัด) ต่อ คร่อมระหว่างขา RST กับขา Vcc

ALE/PROG (ขา 30) เป็นขาแอดเดรสแลทซ์ฮีนาเบิล ทำงานโดยการส่งพัลส์ออกไป เพื่อใช้สำหรับ แลทซ์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำจากพอร์ต 0 ในระหว่างที่จะเข้าถึงข้อมูลจากหน่วย ความจำภายใน ALE จะถูกส่งสัญญาณนาฬิกาออกมาในอัตราความถี่ที่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ตลอดเวลาถึงแม้ว่าบางช่วงจังหวะจะไม่มี การเข้าถึง ข้อมูลจากภายใน ดังนั้นจึงสามารถจะใช้สัญญาณจากขา นี้ไปเป็นตัวจับเวลา ภายนอกหรือเป็นความถี่ที่ช้าลงไปเท่าหนึ่ง ระหว่างที่ทำงานแบบการเข้าถึง หน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะใช้เป็นสัญญาณพัลส์ขาเข้าสำหรับการ ควบคุมการโปรแกรม EPROM ภายใน

PSEN (ขา29) Program Storage Enable ใช้เป็นสโตรบเพื่ออ่านข้อมูลจากโปรแกรมหน่วย ความจำภายนอก เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมภายนอก ขา PSEN จะสร้าง สโตรบต่ำสองครั้งภายในแต่ละวัฏจักรเมกซิ้น สัญญาณจะมีสถานะสูงหรือต่ำ ทั้งสองลูกและจะหายไป เมื่อทำงานในช่วงการอ่านหรือเขียนข้อมูลจากหน่วย ความจำข้อมูลภายนอกและจะไม่มีพัลส์ส่งออกมาถ้าชิปทำงานด้วยโปรแกรม หน่วยความจำภายใน

EA (ขา31) มีสถานะสูง ตัวชิปยูในชิปจะทำงานตามโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายใน (โดยโปรแกรมจะต้องไม่ยาวกว่า 4 กิโลไบต์ สำหรับเบอร์ 8051AH และ 8 กิโลไบต์ สำหรับเบอร์ 8052AH) ซึ่งการทำให้ EA มีสถานะต่ำจะเป็นการ ควบคุมให้ชิปยูทำงานตามโปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอก ซึ่งจะขยาย โปรแกรมได้ยาวถึง 64 กิโลไบต์ในตัว 8031AH และ 8032AH ขา EA จะ ต้องต่อลงกราวด์เช่นกันแม้ว่าจะไม่มี ROM อยู่ภายในก็ตาม ในชิพ 8751H จะใช้ขานี้จ่ายแรงดันขนาด 21 V ขณะทำการเขียนโปรแกรมเข้า EPROM

XTAL1 (ขา19) ใช้เป็นตัวอินพุตเข้าสู่ตัวออสซิลเลเตอร์ขยายแบบ Invert

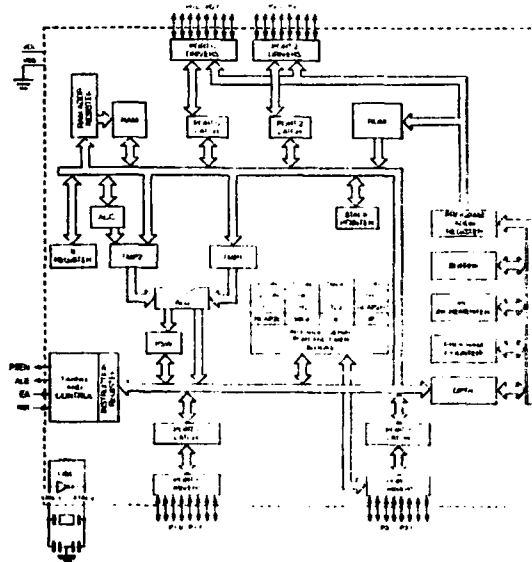
XTAL2 (ขา18) ใช้เป็นตัวเอาต์พุตจากตัวออสซิลเลเตอร์ขยายแบบ Invert

MCS-51 ทั้งสามกลุ่ม คือกลุ่มที่มี ROM ,ไม่มี ROM และพวก EPROM จะมีขาใช้งานเหมือน กันทั้งหมด ยกเว้นขา 1 จะใช้งานเป็น T2 และขา 2 เป็น T2EX ในเบอร์ 8032/8052 และคุณสมบัติ ทางไฟฟ้าทั้งสามจะแตกต่างกันเฉพาะการโปรแกรมบนชิป MCS-51 เท่านั้น ซึ่งแต่ละแบบจะเป็นไป ตามความต้องการของผู้ใช้ เช่น 8751 มี EPROM 4 กิโลไบต์ (Ultraviolet-Erasable Programmable Read Only Memory) เหมาะสำหรับการพัฒนาเครื่องต้นแบบและการผลิตอุปกรณ์ที่มีจำนวนจำกัด เมื่อ ต้องการจะเขียนโปรแกรมเข้า EPROM จะมีอุปกรณ์เขียนโปรแกรมพิเศษ สำหรับเขียนโปรแกรมที่ออก แบบขึ้นมาได้ ถ้าโปรแกรมมีส่วนผิดพลาดที่ต้องการจะแก้ไข ก็สามารถแก้ไขได้ โดยการนำชิป 8751 นี้ไปล้างโปรแกรมเดิมออกด้วยแสงอัลตราไวโอเลต และอัดข้อมูลโปรแกรมที่ได้แก้ไขแล้วเข้าไปใหม่ ทำ

เช่นนี้จนกระทั่งได้โปรแกรมที่สมบูรณ์ และเมื่อต้องการผลิตจำนวนมากก็สามารถจะใช้ MCS-51 เบอร์ 8051 ที่มี ROM 4 กิโลไบต์ ใช้จัดข้อมูลโปรแกรมตามความต้องการของผู้ออกแบบโดยโรงงานผู้ผลิต การผลิตลักษณะนี้จะถูกกว่าการใช้ 8751 แต่โปรแกรมภายในจะไม่สามารถลบ หรือโปรแกรมใหม่ได้ หลังการผลิตไปแล้ว ในส่วนเบอร์ 8031 จะไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมบนชิป แต่อาจต่อหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกด้วย ROM EPROM หรือ PROM ได้ถึง 64 กิโลไบต์ ดังนั้น 8031 จึงเหมาะสำหรับการใช้งานที่โปรแกรมขนาดใหญ่กว่า 4 กิโลไบต์ และสำหรับผู้ออกแบบที่ต้องการแยกส่วนของโปรแกรมออกจากชิป

4.3 การจัดการทางสถาปัตยกรรม

ชิปในตระกูลนี้จะประกอบด้วย หน่วยศูนย์กลางประมวลผล , หน่วยความจำสองชนิด คือ แบบ RAM กับ ROM หรือ EPROM, พอร์ตเอาต์พุต อินพุต, ไมโครจีตเตอร์สถานะและข้อมูล ในส่วนวงจรตรรกะในการ random ที่จำเป็นสำหรับตัวแปรของฟังก์ชัน การต่อพ่วงส่วนต่างๆ ที่กล่าวนี้ จะติดต่อกันด้วยบัสข้อมูลขนาด 8 บิต และจะมีบัฟเฟอร์สำหรับการติดต่อข้อมูลกับภายนอกผ่านพอร์ต เมื่อต้องการขยายหน่วยความจำหรือพอร์ต



รูปที่ 4.3 แสดงโครงสร้างสถาปัตยกรรมภายในของ MCS-51

หน่วยศูนย์กลางประมวลผลหรือซีพียู

ซีพียูเป็นมันสมองของระบบไมโครคอมพิวเตอร์ในการอ่านโปรแกรม และทำงานตามคำสั่งโปรแกรม และทำงานที่ส่วนนี้โดยใช้ในส่วนคณิตศาสตร์ และตรรกศาสตร์ทำงานร่วมกับรีจิสเตอร์ A, B, PSW (Program Status Word), SP (Stack Pointer), ตัวนับโปรแกรม (PC Program Counter) ขนาด 16 บิต และตัวชี้ตำแหน่งข้อมูล (DPTR : Data Pointer), ส่วนคณิตศาสตร์ และตรรกศาสตร์ด้วยตัวแปรต่างๆขนาด 8 บิต ที่มีลักษณะการทำงานทางคณิตศาสตร์เป็น บวก ลบ คูณ หาร และทางตรรกศาสตร์ เช่น AND OR XOR รวมทั้งการเลื่อนและวนรอบบิต การเคลียร์ค่าและกลับค่า (Complement)

เป็นต้น และ ALU ยังสามารถที่จะตัดสินใจในการให้กระโดดไปทำคำสั่งของโปรแกรมในส่วนอื่นๆ ตามเงื่อนไขที่ตั้งขึ้นและยังแบ่งรีจิสเตอร์ชั่วคราว สำหรับเป็นทางผ่านชั่วคราวของข้อมูลในการถ่ายเทภายในระบบคำสั่งอื่นที่มีการใช้ ALU นอกจากนี้ ALU ยังมีความสามารถที่จะเพิ่มค่าในรีจิสเตอร์ในลักษณะการบวกด้วยหนึ่ง (Increment) หรือคำนวณตำแหน่งของข้อมูลที่จะนำไปเก็บ หรือการลดค่าครั้งละหนึ่ง ในลักษณะการลบด้วยค่าหนึ่ง (Decrement) โดยอัตโนมัติ หรือใช้ในการเปรียบเทียบค่าของตัวแปรทั้งสอง

สิ่งสำคัญในการทำงานทางสถาปัตยกรรมของ MCS-51 คือ ความสามารถการทำงานสำหรับข้อมูลขนาด 8 บิต และ 1 บิต การใช้งานในระดับบิตในการเซต เคลียร์ กลับค่า การเคลื่อนย้ายและการทดสอบหรือใช้ในการคำนวณทางตรรกขนาด 1 บิต ความสามารถเช่นนี้เหมาะสำหรับใช้ในงานควบคุมของสัญญาณเข้าและออกที่มีการคิดและออกแบบทางตรรกด้วยพีชคณิต (Boolean) ซึ่งโดยปกติทำได้ลำบากสำหรับไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป งานในลักษณะเช่นนี้จึงได้ชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า ตัวประมวลผลพีชคณิต (Boolean Processor)

1. แอ็กคูมิวเลเตอร์ (Accumulator : ACC)

MCS-51 ก็เช่นเดียวกับ MCS-48 ที่ใช้ ACC ขนาด 8 บิตเป็นแอ็กคูมิวเลเตอร์ คำสั่งส่วนใหญ่จะอ้างถึงตัวรีจิสเตอร์นี้ โดยถือค่าภายในเป็นค่าตัวตั้ง และรับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากคำสั่งทางคณิตศาสตร์ เช่น บวก ลบ คูณ หาร เข้ามาเก็บไว้ ACC ยังสามารถใช้เป็นตัวกระทำหรือถูกกระทำในการทำงานทางตรรก หรือใช้เป็นตัวกลาง ในการถ่ายเทข้อมูลในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก และหน่วยความจำภายนอก รวมถึงการตรวจสอบตารางข้อมูล

2. รีจิสเตอร์ B

เป็นรีจิสเตอร์พิเศษที่ใช้งานสำหรับคำสั่งของการคูณและหาร โดยเป็นที่เก็บตัวคูณหรือตัวหาร และเป็นที่ยกผลลัพธ์ตัวที่สองหลังการคูณและเศษหลังการหาร

3. รีจิสเตอร์คำแสดงสถานะโปรแกรม (Program Status Word : PSW)

[MSB]	[LSB]						
CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	-	P

สัญลักษณ์ ตำแหน่ง

ข้อกำหนดการทำงาน

CY	PSW7	แฟลกตัวทอด จะเซต/เคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ระหว่างผลลัพธ์หลังการใช้คำสั่งทางคณิตศาสตร์ หรือ ตรรกศาสตร์ที่แน่นอน
AC	PSW6	แฟลกตัวทอดของ Auxiliary จะเซต/เคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ ระหว่างการบวกและลบ ที่แสดงผลจากการทอดหรือยืมจากบิตที่ 3 ของ ACC
F0	PSW5	แฟลก 0 จะเซต/เคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้กำหนดสถานะแฟล็กนี้
RS1	PSW4	รีจิสเตอร์ตัวควบคุมการเลือกแเบงค์ด้วยค่า RS1 และ RS0
RS0	PSW3	จะเซต/เคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ เพื่อเลือกกลุ่มรีจิสเตอร์ที่ทำงานในแต่ละแเบงค์

โดยปรับค่าใน RS1 และRS0 โดยมีลักษณะการเลือกแรมค์ต่อไปนี้

RS1	RS0	เลือกแรมค์	ค่าแอดเดรส
0	0	แรมค์ 0	00H - 07H
0	1	แรมค์ 1	08H - 0FH
1	0	แรมค์ 2	10H - 17H
1	1	แรมค์ 3	18H - 1FH

OV	PSW2	แฟล็ก Overflow จะเซต/เคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ ระหว่างการใช้คำสั่งที่แสดงผลถึงการเกิดลักษณะOverflow ทางคณิตศาสตร์
-	PSW1	บิตสำรอง จะไม่สามารถเซต/เคลียร์ด้วยผู้ใช้เพราะสำรองไว้สำหรับผู้สร้าง
P	PSW0	แฟล็กพาริตี จะเซต/เคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ในแต่ละวัฏจักรคำสั่งใช้แสดงถึงตัวเลขค่า '1' ในแต่ละบิตของแอกคูมิวเลเตอร์ เช่น '1' มี 6 บิต จะเป็นพาริตีคู่ บิต P จะมีค่าเป็น 0

หมายเหตุ ความหมายของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ในตารางต่างๆ ที่จะกล่าวต่อไปนี้ในแต่ละบิตของตัวรีจิสเตอร์ การที่บิตจะเซตหรือเคลียร์นั้น ถ้าเกิดขึ้นจากฮาร์ดแวร์จะหมายถึงว่า ค่าบิตในรีจิสเตอร์ จะเกิดเซตตัวเองเนื่องจากผลของความหมายจากการทำงานตามคำสั่งของบิตนั้นเช่น TI สามารถจะเซตตัวเองด้วยฮาร์ดแวร์ เมื่อการส่งข้อมูลได้สิ้นสุดถึง STOP บิตแล้วช่วยให้เราสามารถตรวจสอบได้ว่าการส่งข้อมูลครั้งละไบต์นั้นสิ้นสุดหรือยัง ถ้ายังจะได้รอต่อไปก่อน หรือมีการคำนวณแล้วผลลัพธ์เกิด Overflow ใน PSW ก็เซตตัวเองที่บิต OV ส่วนทางซอฟต์แวร์ หมายถึงว่าเราสามารถที่จะเซต หรือจะเคลียร์ได้ด้วยการใช้คำสั่งโปรแกรมต่างๆ ในการเซตหรือเคลียร์ในบิตแต่ละบิตของรีจิสเตอร์

4. ตัวชี้สแต็ก (Stack Pointer : SP)

MCS-51 จะใช้ RAM ภายในเป็นบริเวณสแต็กทางฮาร์ดแวร์ สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างตัวโปรแกรมหลัก สแต็กในการผ่านพารามิเตอร์ระหว่างงานในแต่ละส่วนโปรแกรม และสแต็กเก็บตัวแปรข้อมูลชั่วคราว หรือสแต็กการเก็บสถานะระหว่างการบริการงานอินเตอร์รัพต์ไว้ภายในชิป โดยที่ SP จะมีขนาด 8 บิต จะเพิ่มค่าขึ้นโดยอัตโนมัติ ก่อนที่ข้อมูลจะนำมาเก็บในหน่วยความจำระหว่างการใช้คำสั่ง PUSH และ CALL และจะลดค่าของ SP ลงหลังจากที่ได้ถ่ายข้อมูลออกไปแล้วในคำสั่ง POP หรือ คำสั่ง RETURN โดยทฤษฎีทางสถาปัตยกรรม MCS-51 สามารถใช้สแต็กให้มีเนื้อที่ถึง 128 ไบต์ แต่ในทางปฏิบัติสำหรับโปรแกรมทั่วไปจะใช้น้อยกว่านี้ SP จะเริ่มที่ตำแหน่ง 07H ดังนั้นสแต็กจะเริ่มบรรจุข้อมูลที่ตำแหน่ง 08H MCS-51 สามารถเปลี่ยนแปลงค่าใน SP ได้ ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งสแต็กไปยังที่ใด ๆ ของ RAM ภายในชิป

5. ตัวชี้ข้อมูล (Data Pointer : DPTR)

DPTR เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตที่ประกอบด้วยไบต์สูง (DPH) และ ไบต์ต่ำ (DPL) สามารถเลือกแบ่งออกเป็น รีจิสเตอร์ 8 บิตสองตัว ที่ใช้งานได้อย่างอิสระ หรือจะใช้รวมกันทั้ง 16 บิตก็ได้ในการ Increment หรือ Decrement เพื่อประโยชน์ในการใช้เป็นฐานของเลขที่อยู่ในรีจิสเตอร์ในการกระโดดโดยทางอ้อมในการใช้คำสั่งเกี่ยวกับตารางข้อมูลและชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอก

6. พอร์ต 0 ถึง 3

รีจิสเตอร์ P0, P1, P2 และ P3 ของกลุ่มรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register : SFR) จะเป็นตัวรีจิสเตอร์ที่แลทซ์ค่าของพอร์ต 0, 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ในขณะที่ใช้งาน

7. บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (Serial Data Buffer : SBUF)

บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรมแบ่งออกเป็นรีจิสเตอร์สองตัว ตัวหนึ่งเป็นบัฟเฟอร์การส่งและอีกตัวเป็นบัฟเฟอร์การรับ เมื่อข้อมูลถ่ายเทเข้า SBUF มันจะถ่ายเข้าบัฟเฟอร์ส่งซึ่งเป็นตัวจัดการส่งข้อมูลอนุกรม วิธีการเคลื่อนย้ายเข้า SBUFขึ้นอยู่กับ การติดตั้งโปรแกรม (Initial) การส่งเมื่อข้อมูลย้ายออกจาก SBUF จะเป็นการรับข้อมูลจากบัฟเฟอร์ตัวรับ

8. รีจิสเตอร์ (CAPTURE)

ไอซีเบอร์ 8032/8052 จะมีคู่ของรีจิสเตอร์ (RCAP2H , RCAP2L) เพิ่มเติม เป็นรีจิสเตอร์ เคปเจอร์ สำหรับตัวจับเวลา 2 โหมดการใช้งานของรีจิสเตอร์ตัวนี้จะรับการเปลี่ยนแปลงที่เข้ามา ในขา T2EX ตัว TH2 และ TL2 จะลอกข้อมูลเข้าไปในรีจิสเตอร์คู่ RCAP2H และ RCAP2L ด้วยการจับตัวจับเวลา และจะมีโหมดการบรรจุอัตโนมัติขนาด 16 บิต สำหรับการจับตัวจับเวลา/ตัวนับ 2

MCS-51 จะจัดแบ่งตำแหน่งสำหรับ SFR ให้ทำงานเป็นรีจิสเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

SPECIAL FUNCTION REGISTERS	ตำแหน่ง
* ACC Accumulator	0E0H
* B รีจิสเตอร์	0F0H
* PSW Program Status Word	0D0H
SP Stack Pointer	081H
- DPTR ตัวชี้ข้อมูลประกอบด้วย	
DPH	083H
DPL	082H
* P0 พอร์ต 0	080H
* P1 พอร์ต 1	090H
* P2 พอร์ต 2	0A0H
* P3 พอร์ต 3	0B0H
* IP ตัวควบคุมการอินเตอร์รัพต์ตามลำดับ	0B8H
* IE ตัวควบคุมการอินเตอร์รัพต์อื่นาเบิ้ล	0A8H
TMOD ตัวควบคุมการเลือกโหมดตัวตั้งเวลา/ตัวนับ	089H
* T2CON ตัวควบคุมตัวตั้งเวลา/ตัวนับ 2	088H
TCON ตัวควบคุมตัวตั้งเวลา/ตัวนับ	0C8H
TH0 รีจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ 0 (ไบต์สูง)	08CH
TL0 รีจิสเตอร์ตั้งเวลา/ตัวนับ 0 (ไบต์ต่ำ)	08AH
TH1 รีจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ 1 (ไบต์สูง)	08DH

TL1 รีจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ 1 (ไบต์ต่ำ)	08BH
+ TH2 รีจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ 2 (ไบต์สูง)	0CDH
+ TL2 รีจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ 2 (ไบต์ต่ำ)	0CCH
+ RLDH รีจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ 2 ประจุใหม่อัตโนมัติ (ไบต์สูง)	0CBH
+ RL DL รีจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ 2 ประจุใหม่อัตโนมัติ (ไบต์ต่ำ)	0CAH
* SCON ควบคุมการส่งข้อมูลอนุกรม	098H
SBUF บัฟเฟอร์ข้อมูลการส่งอนุกรม	099H
PCON ควบคุมการใช้พลังงาน (Power)	097H

เครื่องหมาย * หน้าตัวรีจิสเตอร์แสดงว่า รีจิสเตอร์นั้นสามารถที่จะแอดเดรสข้อมูลได้ทั้งข้อมูลขนาดไบต์และบิต

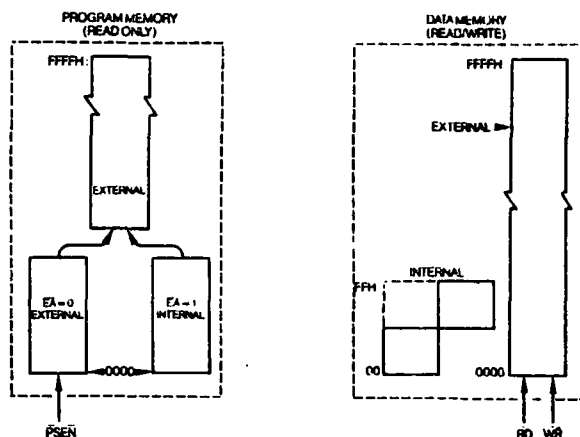
เครื่องหมาย + นั้นแสดงว่าจะมีเฉพาะในเบอร์ 8032/8052 เท่านั้น

9. รีจิสเตอร์ควบคุม (Control Register)

กลุ่ม SFR ที่เป็น IP, IE, TMOD, TCON, T2CON, SCON และ PCON จะประกอบด้วยบิตในการควบคุม และแสดงสถานะของการทำงานในระบบอินเทอร์พรีต ตัวจับเวลา/ตัวนับและพอร์ตอนุกรม

4.4 การจัดหน่วยความจำ

MCS-51 จะแยกแอดเดรสสำหรับหน่วยความจำของโปรแกรม และหน่วยความจำของข้อมูลออกจากกัน หน่วยความจำของโปรแกรมจะขยายได้ถึง 64 กิโลไบต์ และจำนวนไบต์ต่ำ 4 กิโลไบต์ ใน 8051 หน่วยความจำของข้อมูลภายในจะมี 128 ไบต์ (256 ไบต์สำหรับ 8032/8052) บนชิป และอีก 128 ไบต์สำหรับรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ และเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้อีก 64 กิโลไบต์



รูปที่ 4.4 แสดงแผนภูมิหน่วยความจำของ 8051

4.4 โครงสร้างพอร์ตและการทำงาน

ใน MCS-51 มีพอร์ตทั้งสี่พอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง แต่ละพอร์ตจะประกอบด้วยเลขที่ PO ถึง P3 เป็น SFR และมีตัวจับเอาต์พุตและบัฟเฟอร์อินพุต สำหรับตัวจับเอาต์พุตของพอร์ต 0 และ 2

และบัฟเฟอร์อินพุตของพอร์ต 0 จะใช้งานสำหรับการเข้าถึงหน่วยความจำภายนอก การใช้งานลักษณะนี้เอาต์พุตพอร์ต 0 จะทำหน้าที่กำหนดไบต์ต่ำของแอดเดรสหน่วยความจำภายนอก โดยที่ค่าแอดเดรสและค่าของข้อมูลจะถูกมัลติเพล็กซ์ ด้วยช่วงจังหวะการเฟลซ ในการอ่านหรือเขียนข้อมูล ส่วนเอาต์พุตของพอร์ต 2 จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดส่งไบต์สูงของแอดเดรส

ในส่วนของตัวขับเอาต์พุตและบัฟเฟอร์อินพุตของขา 1.0, 1.1 และ พอร์ต 3 ทั้งหมดสามารถนำไปใช้งานเป็นแบบหลายฟังก์ชัน (Multifunction) ได้ดังนี้

ขาพอร์ต	การใช้งานตามฟังก์ชัน
*P1.0	T2 (Timer/Counter2 สัญญาณอินพุตจากภายนอก)
*P1.1	T2RST (Timer/Counter2 สัญญาณอินพุตการรีเซ็ตภายนอก)
P3.0	RxD (พอร์ตรับข้อมูลอนุกรม)
P3.1	TxD (พอร์ตส่งข้อมูลอนุกรม)
P3.2	$\overline{INT0}$ (การใช้อินเทอร์รัพต์ภายนอกตัวที่ 1)
P3.3	$\overline{INT1}$ (การใช้อินเทอร์รัพต์ภายนอกตัวที่ 2)
P3.4	T0 (Timer/Counter0 สัญญาณอินพุตภายนอก)
P3.5	T1 (Timer/Counter1 สัญญาณอินพุตภายนอก)
P3.6	\overline{WR} (สโตรบการเขียนหน่วยความจำภายนอก)
P3.7	\overline{RD} (สโตรบการอ่านหน่วยความจำภายนอก)

ตัวขับเอาต์พุตแลทซ์ที่จะให้ทำงานตามตารางบน จะต้องเริ่มโปรแกรมด้วยการเซตค่า '1' เก็บในแลทซ์ก่อน

เครื่องหมาย * แสดงถึงการใช้ตัว Timer/Counter2 ซึ่งมีเฉพาะในเบอร์ 8032/8052 เท่านั้น ทั้งโหมดตัวจับเวลาหรือตัวนับ ในการโหลดใหม่แบบอัตโนมัติของ Timer/Counter2 ที่รีจิสเตอร์ RLDH และ RLDL จะเกิดขึ้น ถ้าการโหลดใหม่แบบอัตโนมัติถูกเลือกใช้งานด้วยการกำหนดบิต CP/RL2 = 0

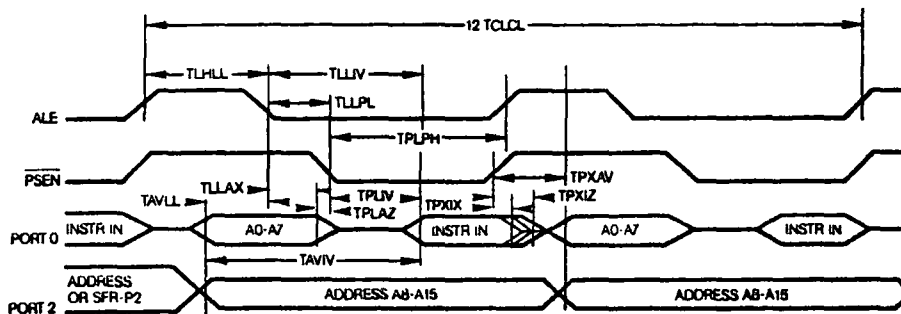
4.4.1 การกำหนดใช้งานอินพุตเอาต์พุต (I/O Configuration)

พอร์ต 1, 2 และ 3 จะมีพูลอัฟอยู่ภายใน พอร์ต 0 เอาต์พุตเป็น Open Drain ในแต่ละ I/O จะเป็นอิสระในการกำหนดเป็นอินพุตหรือเอาต์พุต พอร์ต 0 และ 2 อาจใช้เป็น I/O ทั่วไปไม่ได้ถ้าถูกกำหนดให้ใช้เป็นบัสแอดเดรสและข้อมูลแล้ว กรณีที่ใช้พอร์ตเป็นอินพุตนั้นจะสามารถรับการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากระดับสูงสู่ระดับต่ำเท่านั้น ดังนั้นการใช้ขาใดขาหนึ่งของพอร์ตเป็นอินพุตจะต้องทำการเซตขานั้นให้เป็นระดับสูงก่อน ซึ่งจะทำให้ตัวขับเฟลทราานซิสเตอร์หยุดทำงาน ขาของพอร์ต 1, 2 และ 3 ที่มีตัวต้านทานพูลอัฟต่ออยู่จะยกระดับแรงดัน และทนกระแสได้เพียงพอกับระดับลอจิกที่ที่แอลแต่จะสามารถลดระดับให้ต่ำด้วยแหล่งวงจรถอดจิกภายนอกด้วย คุณสมบัติของพอร์ต 1, 2 และ 3 นี้จะเรียกว่า Quasi-bidirectional สำหรับพอร์ต 0 ค่า '1' ในพอร์ตที่แลทซ์ไว้ จะเป็นเหตุให้ขาภายนอกถูกปลดออกหรือลอยตัว ปกติพอร์ตทั้งหมดของ MCS-51 จะมีค่าเป็น '1' หลังการรีเซ็ตแล้วถ้าค่า '0' ถูกแลทซ์ไว้ที่พอร์ต มันสามารถจะถูกกำหนดใหม่ให้เป็นอินพุตด้วยการเขียนค่า '1' เข้าไปใหม่

พอร์ต 0 มีความแตกต่างจากพอร์ตอื่นที่ไม่มีพูลอัพภายใน แต่มีเฟดตัวบนมาต่อแทนเป็นตัวขับเอาต์พุต โดยถ้าให้วงจรทำงานจะเป็นการทำงานแบบบัลแอตเตอเรส และข้อมูล ด้วยการเข้าถึงข้อมูลภายนอกด้วยสัญญาณควบคุมภายใน แต่งานลักษณะนี้ปกติเฟดจะไม่ทำงาน ในการใช้รีจิสเตอร์ PO แลทซ์ค่า '1' ไว้ตามวงจรถูกของเฟดตัวล่างจะต่อที่ Q ซึ่งเป็นลอจิกระดับต่ำ ทำให้เฟดทั้งสองไม่ทำงานทั้งคู่ เป็นการปล่อยขาของพอร์ต 0 ให้ลอยทำให้อินพุตมีค่าอิมพีแดนซ์สูงนั่นเอง ขณะที่พอร์ต P2 ใน SFR จะมีค่าแอดเดรสที่ไม่เปลี่ยนแปลง

4.4.2 สัญญาณ PSEN

ใช้เป็นตัวควบคุมแพทช์การอ่านโปรแกรมจากภายนอก \overline{PSEN} จะไม่ทำงาน ถ้าหากมีการแพทช์โปรแกรมภายใน เมื่อซีพียูเข้าถึงการใช้โปรแกรมภายนอก \overline{PSEN} จะทำงาน 2 ครั้งในแต่ละช่วงวัฏจักรการแพทช์ ยกเว้นคำสั่ง MOVX ช่วงเวลาของการที่ \overline{PSEN} ทำงานจะไม่เหมือนกับช่วงที่ \overline{RD} ทำงาน ช่วงวัฏจักรการอ่านที่สมบูรณ์จะรวมเอาช่วงที่ ALE ทำงาน และทำงานซ้ำในลูกที่สองกับสัญญาณการควบคุม \overline{RD} ที่เกิดพัลส์ต่ำประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งจะใช้เวลา 12 สถานะคาบเวลา ส่วนในช่วงเวลาของ \overline{PSEN} ที่สมบูรณ์จะรวมเอาช่วงที่ ALE ทำงาน และทำงานซ้ำลูกที่สองกับสัญญาณควบคุม \overline{PSEN} ประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งจะใช้เวลา 6 สถานะคาบเวลา



รูปที่ 4.5 Timing diagram ของการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก 8051

4.4.3 สัญญาณ ALE

ฟังก์ชันหลักของ ALE คือการใช้งานในการให้จังหวะที่แน่นอนในการแลทซ์เอาไบต์ค่าของแอดเดรสจาก PO ไปเก็บไว้ภายนอก เพื่อใช้ในการถอดรหัสแอดเดรสโปรแกรมภายนอก โดยจะให้ ALE ทำงานสองครั้งในทุกๆ วัฏจักรเมมซึนสัญญาณนี้จะเกิดขึ้นตลอดแม้ว่าจะไม่ได้แพทช์จากภายนอก มีเพียงช่วงเวลาเดียวเท่านั้นที่ ALE จะไม่เกิดพัลส์คือระหว่างการเข้าถึงหน่วยความจำภายนอก ซึ่งพัลส์แรกของ ALE ในวัฏจักรที่สองของคำสั่ง MOVX ขาดหายไป หรือมีเพียงพัลส์เดียวในหนึ่งคำสั่ง ลักษณะพัลส์ที่เกิดขึ้นคงที่ในอัตรา 1/6 ของสัญญาณความถี่ออสซิลเลเตอร์ และสามารถนำมาใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาภายนอก หรือกำหนดเวลาได้

4.5 การใช้เนื้อหาของโปรแกรมภายนอกซ้อนกับหน่วยความจำข้อมูล

ในการใช้งานบางครั้ง การทำงานตามโปรแกรมจากหน่วยความจำที่คู่ลักษณะตำแหน่งจะซ้อน

กันกับการใช้ข้อมูล ใน MCS-51 ตัวโปรแกรมภายนอกและหน่วยความจำข้อมูล สามารถที่จะทำงานร่วมกันได้ด้วยการให้สัญญาณ \overline{PSEN} และ \overline{RD} เข้า AND เกิดกันก่อน จะเห็นว่าที่แอกทีฟของ AND ที่เกิดจากสัญญาณทั้งสองจะให้สัญญาณลบโดยการอ่าน แอกทีฟต่ำในช่วงการอ่าน และแอกทีฟสูงในช่วงการแพช ซึ่งทำให้ใช้ตำแหน่งหน่วยความจำเลขที่เดียวกันได้ เนื่องจากวัฏจักร \overline{PSEN} เกิดขึ้นเร็วกว่าวัฏจักรการอ่าน \overline{RD} ดังนั้นความเร็วของหน่วยความจำโปรแกรมต้องเร็วพอที่จะให้วัฏจักร \overline{PSEN} นั้นทำงานได้สมบูรณ์

4.5.1 ตัวจับเวลา/ตัวนับ (Timer/Counter)

ใน MCS-51 มีตัวจับเวลา/ตัวนับ 16 บิต 2 ตัว คือ Timer/Counter 0 และ Timer/Counter 1 ส่วน 8032/8052 มีเพิ่มอีก 1 ชุดคือ Timer/Counter 2 ขณะที่แต่ละ ตัวจับเวลา/ตัวนับ (Timer/Counter) สามารถที่จะติดตั้งให้ทำงานได้เป็นตัวจับเวลาหรือตัวนับก็ได้

- ตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 และตัวจับเวลา/ตัวนับ 1

แต่ละตัวจะถูกติดตั้งให้ทำงานเป็นตัวจับเวลาหรือเป็นตัวนับได้ ด้วยการเซตหรือเคลียร์บิตที่ควบคุมในรีจิสเตอร์ TMOD ในกลุ่ม SFR ในฟังก์ชันตัวจับเวลา รีจิสเตอร์จะเพิ่มค่าทุกๆ วัฏจักรแมชชีน ดังนั้นตัวเลขในรีจิสเตอร์จะเป็นจำนวนของวัฏจักรแมชชีน เนื่องจากแต่ละวัฏจักรแมชชีน ประกอบด้วยคาบของออสซิลเลเตอร์ 12 คาบ ดังนั้นอัตราของการนับแต่ละครั้งก็จะกินเวลาเป็น 1/12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์

ในฟังก์ชันตัวนับรีจิสเตอร์จะเพิ่มค่าทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะจาก '1' เป็น '0' ที่เข้ามาที่ขา T0 หรือ T1 ในฟังก์ชันนี้สัญญาณภายนอกที่เข้ามาจะถูกสุ่ม (Sampling) ระหว่างช่วง S5P2 ของทุกวัฏจักรแมชชีน โดยถ้าการแซมปลิงสัญญาณเข้าเป็นระดับสูงในวัฏจักรหนึ่ง ดังนั้นถ้าในวัฏจักรต่อมาของสัญญาณเข้าเป็นระดับต่ำรีจิสเตอร์จะนับเพิ่มหนึ่งค่า โดยค่าใหม่ของตัวนับจะปรากฏที่รีจิสเตอร์ช่วง S3P1 ของวัฏจักร ซึ่งค่าหนึ่งที่รับเข้าไปจะใช้ช่วง 2 วัฏจักรแมชชีน (เท่ากับ 24 คาบ) ในการรับค่าช่วงการเปลี่ยน 1 เป็น 0 ดังนั้นค่าสูงสุดในการนับจะมีอัตรา 1/24 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์และสัญญาณอินพุตที่นับนั้นจะไม่มีช่วงระยะห่างที่แน่นอนของ Duty Cycle แต่จะถูกนับเมื่อระดับแรงดันที่ถูกแซมปลิงในแต่ละครั้งจะต้องมีช่วงคงที่อย่างน้อย 1 วัฏจักรแมชชีน ก่อนจะเปลี่ยนค่าระดับแรงดันใหม่ในการเลือกทำงานระหว่างตัวนับกับตัวจับเวลา จะเลือกได้ 4 โหมดคือโหมด 0, 1 และ 2 เลือกได้ทั้งสองแบบ ส่วนโหมด 3 จะทำงานแตกต่างออกไป

- โหมด 3

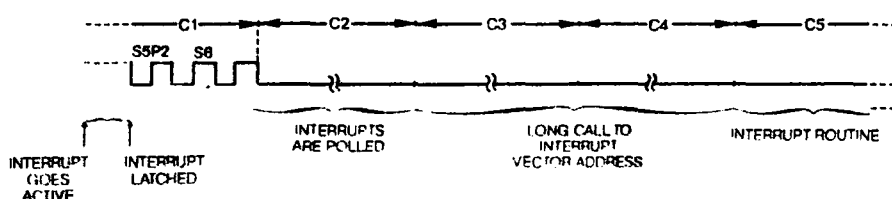
ถ้าจะใช้ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1 ในโหมด 3 มีการทำงานเป็นตัวนับ มีผลเช่นเดียวกับการตั้ง TR1 = 0 และใช้ตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 ในโหมด 3 จัดการให้ TLO และ TH0 เป็นตัวนับสองตัวแรกที่แยกออกจากกัน วงจรตรรกควบคุมสำหรับโหมด 3 ที่ใช้ตัวจับเวลา/ตัวนับเวลา 0 TLO ใช้ตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 ร่วมกับบิตควบคุมของ, GATE, TR0, และ TF0 TH0 จะถูกให้ทำงานในฟังก์ชันตัวจับเวลา และใช้บิตแฟล็ก TR1 และ TF1 เข้าร่วมทำงานในโหมด 3 ดังนั้นตัว TH0 ในโหมดนี้ จะควบคุมการอินเตอร์รัพต์ของตัวจับเวลา 1 เป็นกลุ่มจับเวลาและขนาด 8 บิตสองตัว

ตัวจับเวลา (เป็นตัวนับวัฏจักรแมชชีนได้) และจะใช้บิตที่ TR1 และ TF1 ของตัวจับเวลา 1 เป็นตัวควบคุม ดังนั้นจึงใช้ TH0 เป็นตัวจับเวลาเป็นการควบคุมอินเตอร์รัพต์ ด้วยตัวจับเวลา 1 ในโหมด 3 ถ้าต้องการจะใช้ในงานตัวจับเวลา/ตัวนับขนาด 8 บิต จะเพิ่มขึ้นด้วยการใช้ตัวจับเวลา 0 ในโหมด 3 ดังนั้น 8051 สามารถที่จะทำงานใช้ตัวจับเวลา/ตัวนับได้เป็น 3 ชุด ขณะที่ 8052 จะใช้งานได้ 4 ชุด เมื่อใช้ตัวจับเวลา 0 อยู่ในโหมด 3 ตัวจับเวลา 1 ยังสามารถจะใช้เป็นตัวสร้างอัตรา bouat ของการส่งข้อมูลอนุกรมหรือการใช้งานใด ๆ ที่ไม่ต้องการการอินเตอร์รัพต์

4.6 การอินเตอร์รัพต์

โดยทั่วไปความสามารถในการควบคุมการอินเตอร์รัพต์ เป็นการทำงานในหน้าที่หนึ่งของซีพียู ที่จำเป็นจะต้องศึกษาถึงความสามารถและเทคนิคการทำงาน การอินเตอร์รัพต์ของซิงเกิ้ลชิปจะมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดระหว่างอุปกรณ์ต่อพ่วงกับระบบ การทำงานของอุปกรณ์ต่อพ่วงเหล่านี้ มีระบบฮาร์ดแวร์ ที่ช่วยให้การส่งสัญญาณ Real Time กับมอนิเตอร์ได้อย่างต่อเนื่อง โดยปราศจากการรบกวนสัญญาณการทำงานของซีพียู ตัวอย่างเช่น ขณะที่รับสัญญาณอนุกรมจากซีอาร์ทีตัวหนึ่ง ก็จะมีการส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ตัวอื่น และตัวจับเวลา/ตัวนับ ก็จะนับพัลส์การเปลี่ยนแปลงที่เข้ามาอย่างรวดเร็วไปพร้อมกันได้ด้วย ในขณะที่ตัวจับเวลา/ตัวนับอีกตัวก็กำลังวัดความกว้างของพัลส์ที่เข้ามา

ซีพียูจะรู้ว่าเมื่อไรถึงจะมีการรับและส่งสัญญาณอนุกรมซีอาร์ทีหรือให้ตัวจับเวลา/ตัวนับ มีการนับจำนวนและวัดความกว้างของพัลส์ว่าจะสิ้นสุดลงเมื่อไรโดยตัวโปรแกรม MCS-51 สามารถที่จะเลือกการโปรแกรมได้ 3 วิธี คือพิจารณาการโปรแกรมตัวรีจิสเตอร์ TCON และ SCON ที่ประกอบด้วยสถานะบิตที่ถูกเซตทางฮาร์ดแวร์ เมื่อตัวจับเวลาตัวหนึ่งเกิด Overflow หรือเมื่อการรับส่งข้อมูลที่พอร์ตอนุกรมสิ้นสุดลง



รูปที่ 4.6 แสดงไคอะแกรมเวลาของการตอบสนองของการขัดจังหวะ

เทคนิคการโปรแกรมวิธีแรก ทำโดยการอ่านสถานะของรีจิสเตอร์ควบคุมเข้ายังแอกคูมิวเลเตอร์ แล้วทดสอบสถานะบิตตามลักษณะการทำงานนั้นๆ แล้วกระโดดไปยังโปรแกรมย่อยตามผลที่เกิดขึ้นนั้น ลักษณะการทดสอบร่วมกันครั้งละหลายลักษณะงานเช่นนี้เปรียบเสมือนตัวโปรแกรมใช้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์หลายตัวควบคุมชิปอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ ซึ่งผู้โปรแกรมต้องทำความเข้าใจอย่างลึกซึ้งถึงระบบและจังหวะที่จะเกิดในแต่ละงาน และการทดสอบแต่ละครั้งจะใช้คำสั่งไม่น้อยกว่า 3 คำสั่ง

วิธีที่สอง MCS-51 สามารถทำงานด้วยการกระโดดไปตามสถานะของการควบคุม หรือสถานะบิตของรีจิสเตอร์ควบคุมงาน หรือการรับสัญญาณที่เข้ามา ตามขาอินพุตแต่ละบิต ด้วยการใช้คำสั่งเพียง

คำสั่งเดียว ดังนั้นลักษณะงานสี่อย่างก็ใช้คำสั่งตรวจสอบได้ภายในสี่คำสั่ง ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 8 μ s

แต่วิธีทั้งสองที่กล่าวมา จะต้องใช้ตัวซีพียูมาทำการตรวจสอบบิตสถานะต่างๆ อยู่ตลอดเวลาถ้าเปรียบตัวซีพียูเหมือนกับผู้จัดการของบริษัท ซึ่งจะบริหารงานในบริษัทให้ก้าวหน้าได้อย่างดีนั้นจะต้องมีเวลาทำงานให้กับหน้าที่หลักของตัวเอง เช่นในการวางแผนต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่อง และใช้เวลาเพียงบางส่วนสำหรับพนักงานที่จะเข้ามาขัดจังหวะ เพื่อขอปรึกษาแก้ไขปัญหาเพียงบางเวลาที่เป็นที่จำเป็น เช่นเดียวกับซีพียูที่ทำงานในลักษณะที่ออกไปตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ต่อพ่วงรอบข้างต่างๆ ที่ต้องการจะใช้บริการ ก็จะต้องให้อุปกรณ์ต่อพ่วงเป็นฝ่ายร้องขอการบริการเข้ามาที่ซีพียูแทน ซึ่งเมื่อซีพียูถูกร้องขอเข้ามา ก็จะปล่อยงานเดิม และเข้าสู่การบริการที่อุปกรณ์ต่อพ่วงชนิดนั้นๆ ได้ร้องขอเข้ามา ชั่วระยะหนึ่งแล้วจึงกลับเข้าทำงานหลักต่อไป เมื่อสิ้นสุดงานบริการนั้นแล้ว ดังนั้นซีพียูจะไม่เสียเวลา เนื่องจากการทำงานที่ไม่ต้องไปตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์รอบข้าง ทำให้มีเวลามากขึ้นและพร้อมจะทำงานอื่นได้ตลอดเวลา ทำให้รู้สึกตัวไมโครโปรเซสเซอร์ทำงานพร้อมกันได้หลายงานในเวลาเดียวกันการใช้การใช้อินเตอร์รัพท์จึงเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการใช้งานลักษณะนี้ด้วยการเกิดอินเตอร์รัพท์จากทางฮาร์ดแวร์

แผนภูมิทางฮาร์ดแวร์ของการอินเตอร์รัพท์ชนิดต่างๆ ของ MCS-51 จะมีรายละเอียดดังนี้แบบการอินเตอร์รัพท์จากภายนอก $\overline{INT0}$ และ $\overline{INT1}$ สามารถที่จะใช้สัญญาณทั้งแบบขอบขาลง หรือระดับแรงดันต่ำขึ้นกับการติดตั้งบิต $IT0$ และ $IT1$ ของรีจิสเตอร์ $TCON$ แฟล็กที่เกี่ยวข้องกับการอินเตอร์รัพท์ภายนอกคือ $IE0$ และ $IE1$ ในรีจิสเตอร์ $TCON$ เมื่อเกิดสัญญาณอินเตอร์รัพท์มาจากภายนอก แฟล็กดังกล่าว ก็จะถูกทำให้เป็น 0 ด้วยฮาร์ดแวร์เป็นการดีสเอเบิลการอินเตอร์รัพท์ที่ซ้อนกันและเป็นการบอกว่าเป็นการอินเตอร์รัพท์ที่เกิดจากสัญญาณอินเตอร์รัพท์แบบขอบขาลง ถ้าเป็นแบบการอินเตอร์รัพท์ด้วยสัญญาณระดับต่ำก็เป็นารร้องขอแฟล็กให้เป็น 0 ตลอดเวลาที่สัญญาณเข้าที่ขาอินเตอร์รัพท์ยังเป็น 0

การอินเตอร์รัพท์ตัวจับเวลา 0 และตัวจับเวลา 1 จะทำงานได้ด้วยค่าๆหนึ่งของแฟล็กที่เซตเป็น 1 เมื่อค่าในรีจิสเตอร์ของตัวจับเวลา/ตัวนับถูกเพิ่มจากหนึ่งหมดทุกบิต ด้วยสัญญาณจากแฟล็กของ RI กับ TI แฟล็กทั้งสองจะไม่ถูกเคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ เมื่อฮาร์ดแวร์บนชิปเข้าทำงานตาม โปรแกรมบริการของการอินเตอร์รัพท์การรับส่งข้อมูลอนุกรม ค่าบิตในแฟล็กของ RI กับ TI จะกลายเป็นศูนย์หมดทุกบิต (การติดตั้งอินเตอร์รัพท์ของตัวจับเวลา 0 จะติดตั้งให้ทำงานอินเตอร์รัพท์ไม่ได้ ถ้าให้ทำงานในโหมด 3) หลังจากการเกิดอินเตอร์รัพท์ ตัวจับเวลาแฟล็กดังกล่าวจะถูกเคลียร์ให้เป็น 0 เมื่อฮาร์ดแวร์เข้าทำงานในโปรแกรมบริการของการอินเตอร์รัพท์ตัวจับเวลาแล้ว

การอินเตอร์รัพท์ของการส่งข้อมูลอนุกรมจะเกิดขึ้นเมื่อ OR กันจะต้องถูกเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์เท่านั้น เมื่อเข้าสู่การบริการอินเตอร์รัพท์โปรแกรม เฉพาะตัว 8052 จะมีการอินเตอร์รัพท์ด้วยตัวจับเวลา 2 โดยการ OR กันทางตรรกด้วยสัญญาณจากแฟล็กของ $TF2$ กับ $EXF2$ เช่นกัน แฟล็กทั้งสองจะไม่ถูกเคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ เมื่อฮาร์ดแวร์บนชิปเข้าทำงานตามโปรแกรมบริการของตัวจับเวลา 2 โดยที่โปรแกรมบริการนี้จะต้องแยกให้ถูกว่าเป็นการบริการของ $TF2$ หรือ $EXF2$ ส่วนบิตในแฟล็กของ $TF2$ และ $EXF2$ จะต้องถูกเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ บิตทุกบิตที่จะทำให้การอินเตอร์รัพท์ทำงานได้สามารที่จะเซตหรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการเซตหรือเคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ การอินเตอร์รัพท์สามารที่จะถูกกำหนดให้ทำงาน หรือยกเลิกได้ ในขณะใดขณะหนึ่งของการทำงานด้วยซอฟต์แวร์

แหล่งกำเนิดการอินเตอร์รัพท์แต่ละชนิด สามารที่จะฮีนาเบิ้ลหรือดีสเอเบิล ด้วยการเซตหรือ

เคลียร์ค่าบิตภายในตัวรีจิสเตอร์ IE บิต EA ภายในรีจิสเตอร์ IE จะเป็นตัวควบคุมการอินเตอร์รัพท์ทุกชนิดให้เริ่มทำงาน ดังในตารางซึ่งแสดงรายละเอียดของรีจิสเตอร์ IE ในการเซตค่าบิตต่าง ๆ เพื่อควบคุมการอินเตอร์รัพท์แต่ละแบบ ส่วนบิต IE.6 เป็นบิตสำรองผู้ใช้ไม่สามารถที่จะเซตหรือเคลียร์บิตนี้ได้เช่นเดียวกันในตัว 8051 บิต IE.5 ก็จะเป็นบิตสำรองที่จะเซตไม่ได้

4.6.1 โครงสร้างลำดับความสำคัญการอินเตอร์รัพท์

แต่ละแหล่งอินเตอร์รัพท์สามารถจะโปรแกรมให้มีระดับไฟโอริตีสูงหรือต่ำได้ด้วยการเซตหรือเคลียร์ค่าบิตต่าง ๆ ใน IP ของ SFR โดยที่ตัวแฟลกอินเตอร์รัพท์ทุกตัวสามารถเซตหรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ ซึ่งมีผลเช่นเดียวกับผลที่เกิดขึ้นจากฮาร์ดแวร์ การอินเตอร์รัพท์ความสำคัญต่ำ สามารถถูกอินเตอร์รัพท์ด้วยตัวอินเตอร์รัพท์จากความสำคัญสูงกว่า แต่ไม่สามารถที่จะถูกอินเตอร์รัพท์จากตัวอื่นที่มีความสำคัญต่ำ ก่อนการอินเตอร์รัพท์ตัวที่มีความสำคัญสูงสุด ไม่สามารถที่จะถูกอินเตอร์รัพท์ได้ด้วยการทำงานตามกฎเหล่านี้ ระบบการอินเตอร์รัพท์จะประกอบด้วยตัวที่ไม่สามารถกำหนดแอดเดรสสองตัวคือ "Priority Level Active" กับ "Flip-Flop" ตัวหนึ่ง เป็นตัวแสดงถึงการอินเตอร์รัพท์ความสำคัญสูงกำลังได้รับการบริการและการอินเตอร์รัพท์ตัวอื่นจะถูกกั้นไว้ อีกตัวเป็นการแสดงถึงการอินเตอร์รัพท์ความสำคัญต่ำกำลังได้รับการบริการและกั้นตัวอื่นแต่การอินเตอร์รัพท์ที่มีความสำคัญสูงยังเข้าทำงานต่อได้

ในเหตุการณ์ที่มีการร้องขอที่มีระดับความสำคัญเดียวกันถูกรับเข้ามาพร้อมกัน การหาลำดับในการใช้ร่วมกันก่อนหลังภายในเมื่อการร้องขอได้รับการบริการ ดังนั้นระดับความสำคัญภายในแต่ละอัน จะมีการติดตั้งระดับตามโครงสร้างความสำคัญการอินเตอร์รัพท์ที่มีลำดับการใช้ร่วมกันก่อนหลังดังนี้

แหล่งที่มาการอินเตอร์รัพท์	ลำดับการอินเตอร์รัพท์
การอินเตอร์รัพท์ 0 จากภายนอก (IE0)	(สูงสุด) 1
การเกิด Overflow ของตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 (TF0)	2
การอินเตอร์รัพท์ 1 จากภายนอก (IE1)	3
การเกิด Overflow ของตัวจับเวลา/ตัวนับ 1 (TF1)	4
พอร์ตอนุกรม (RI+TI)	5
การเกิด Overflow ของตัวจับเวลา/ตัวนับ 2, การเกิด Overflow ของตัวจับเวลา 2 / ขอบขาลงบน T2EX (ใช้ใน 8032/8052 เท่านั้น) (TF2+EXF2)	(ต่ำสุด) 6

อินเตอร์รัพท์แฟลกจะถูกแชมป์ลิ่งทุกช่วงวัฏจักรแมชชีนในช่วง S5P2 ตัวที่ถูกแชมป์ลิ่งจะเข้ามาได้ในช่วงวัฏจักรแมชชีนตัวต่อมา ถ้าแฟลกตัวหนึ่งถูกเซตในช่วง S5P2 ของช่วงวัฏจักรตัวต่อมาในช่วงวัฏจักรการตรวจพบนี้ ระบบการอินเตอร์รัพท์จะเริ่มทำงานด้วยการทำคำสั่ง LCALL เพื่อที่จะเข้าสู่การบริการอินเตอร์รัพท์ โดยทางฮาร์ดแวร์ คำสั่ง LCALL จะไม่ถูกกั้นออกเมื่อเกิดเหตุการณ์ต่อไปนี้

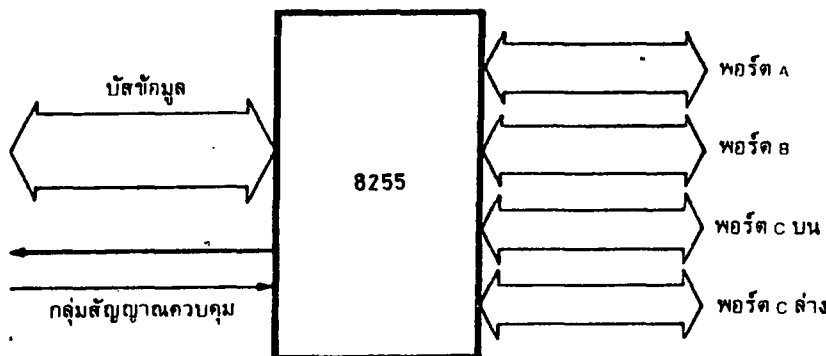
1. การอินเตอร์รัพท์ของระดับความสำคัญที่เท่ากันหรือสูงกว่าได้ดำเนินการไปแล้ว
2. วัฏจักรที่กำลังดำเนินการอยู่ซึ่งไม่ใช่เป็นวัฏจักรสุดท้ายในการทำงานตามคำสั่งที่กำลังทำอยู่

หรือการทำคำสั่งขณะนั้นจะต้องสิ้นสุดลงสมบูรณ์ การอินเทอร์รัพต์ที่ร้องขอมาจึงจะได้รับการตอบสนอง

3. คำสั่งในขณะนั้นเป็น RETI หรือการเขียนโปรแกรมเข้ารีจิสเตอร์ IE หรือ IP ของ SFR หรือการร้องขอการอินเทอร์รัพต์จะยังไม่ได้รับการตอบรับหลังคำสั่ง RETI หรือหลังการอ่านและเขียนข้อมูลเข้ารีจิสเตอร์ IE หรือ IP และรับการตอบรับ จนกว่าจะทำคำสั่งอย่างน้อยหนึ่งคำสั่งต่อมา ของโปรแกรมหลักไปแล้วถ้าไม่เกิดกรณีใดจากข้างบนนี้ การใช้อินเทอร์รัพต์จะทำงานช่วงวัฏจักรแมชชีนลูกต่อมา

4.7 พอร์ต 8255

คุณสมบัติของ 8255 คือเป็น อินพุต/เอาต์พุตพอร์ท โดยมีพอร์ทขนาด 8 บิต ที่สามารถสั่งให้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุต ก็ได้จำนวน 3 พอร์ท



รูปที่ 4.7 แสดงแผนผังวงจรภายในของ 8255

จากรูปบล็อกกลุ่มซ้ายสุดได้แก่ บัฟเฟอร์ของบัสดำข้อมูล (Data bus buffer) และส่วนควบคุมการอ่าน/เขียน (Read/Write control) ซึ่งบล็อกเหล่านี้จะเป็นส่วนที่ติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับบัสดำข้อมูลของไมโครโปรเซสเซอร์และเป็นส่วนที่ควบคุมให้ข้อมูลเข้าหรือออกจากรีจิสเตอร์ภายในตัวให้ถูกต้องสอดคล้องกับการทำงานของระบบ

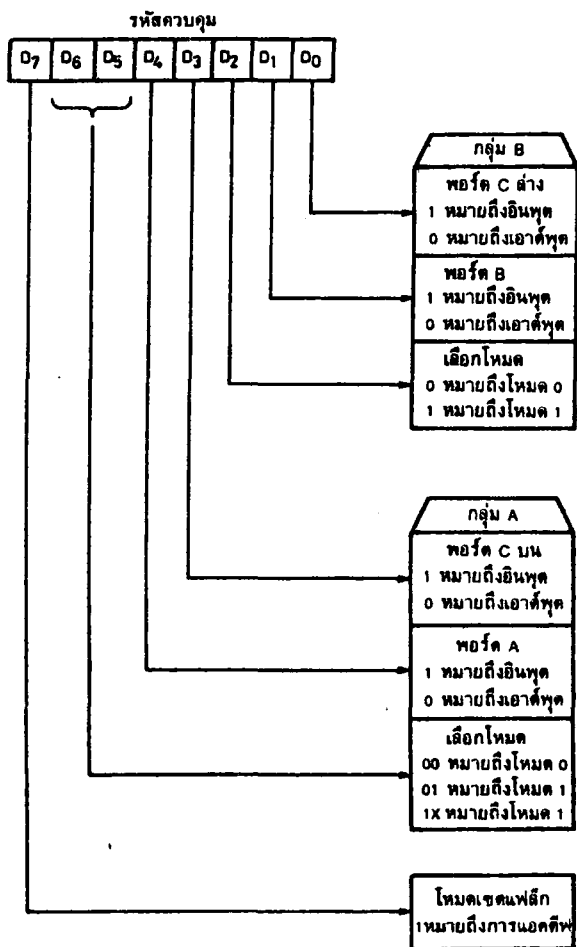
บล็อกถัดมาได้แก่ Group A control และ Group B Control ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดลักษณะการทำงานของพอร์ท อินพุต/เอาต์พุตทั้ง 3 พอร์ท (8255 มีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันอยู่ 3 โหมด สามารถกำหนดได้จากการโปรแกรม โดยส่งคำสั่งควบคุม (Control word) ให้กับ 8255) จะเห็นได้ว่าพอร์ทจะประกอบพอร์ทขนาด 4 บิตจำนวน 2 พอร์ทได้แก่ Group A Control กับ Group B Control โดย Group A Control จะควบคุม พอร์ท A กับพอร์ท C 4 บิตนัยสำคัญสูง ส่วน Group B Control จะควบคุมพอร์ท B กับ พอร์ท C 4 บิตนัยสำคัญต่ำ

บล็อกกลุ่มขวาสุด ได้แก่บล็อก 4 บล็อกที่อยู่ทางด้านขวาของรูป ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ภายนอกอื่น ๆ โดยขา PA0-PA7, PB0-PB7 และ PC0-PC7 มีหน้าที่เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ 8255 ขาสัญญาณเหล่านี้จะถูกแบ่งออกเป็น อินพุต เอาต์พุต 3 พอร์ท ได้แก่พอร์ท A (PA), พอร์ท B (PB) และพอร์ท C (PC) พอร์ทเหล่านี้แต่ละพอร์ทสามารถที่จะเป็นได้ทั้งพอร์ทอินพุตและเอาต์พุตตามที่กำหนด แต่ละบล็อกจะมีสายสัญญาณที่เชื่อมเข้ากับบัสดำข้อมูลภายในของ 8255

- PBO-PB7 ขาอินพุต/เอาต์พุตของพอร์ท B ขาสัญญาณเหล่านี้จะถูกใช้เป็นพอร์ทขนาด 8 บิตใช้ต่อไปยังอุปกรณ์ภายนอกอื่นๆ
- PC0-PC7 ขาอินพุต/เอาต์พุตของพอร์ท C ขาสัญญาณนี้ใช้เป็นพอร์ทขนาด 8 บิต เช่นเดียวกับ PA0-PA7 และ PBO-PB7 แต่ขาสัญญาณของพอร์ท C สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มมีขนาด 4 บิตคือ พอร์ท C 4 บิตด้านบน (PC7-PC4) และพอร์ท C 4 บิตด้านล่าง (PC3-PC0)
- Vcc แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลท์
- GND กราวด์

4.7.2 โหมด 0 หรืออินพุตเอาต์พุตแบบพื้นฐาน

การให้ 8255 ทำงานในโหมด 0 นั้น จะต้องส่งคำสั่งควบคุมมาให้แก่วิธีสแตนด์บายก่อน คำสั่งควบคุมนี้จะกำหนดลักษณะการทำงานแต่ละพอร์ทของ 8255 ดังนี้

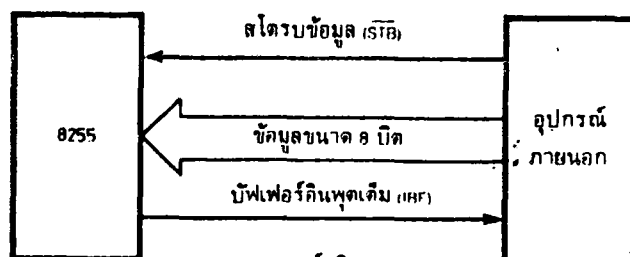


รูปที่ 4.9 แสดง ความหมายของบิตต่างๆ ในรหัสควบคุม

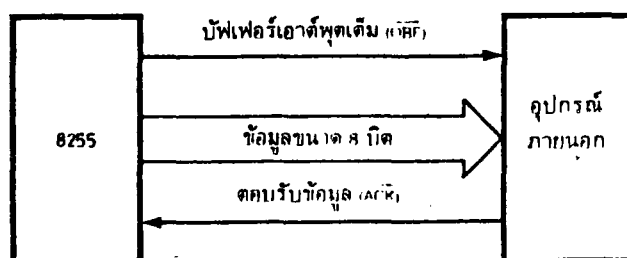
4.7.3 การใช้งาน 8255 ในโหมด 1

การทำงานของ 8255 ในโหมด 1 เป็นการทำงานในลักษณะที่มีการตรวจสอบสถานะการรับส่งข้อมูล (Handshaking) เนื่องจากเมื่อนำ 8255 ไปต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่ทำงานช้ากว่าการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์เมื่อมีการส่งข้อมูลหลายๆ ไบต์ อุปกรณ์ภายนอกจะรับข้อมูลไม่ทัน ความผิดพลาดจึงเกิดขึ้นได้ ดังนั้นเมื่อใช้งาน 8255 ในโหมดนี้ เป็นการกำหนดให้พอร์ต A และพอร์ต B เป็นพอร์ตสำหรับใช้รับส่งข้อมูล ส่วนพอร์ต C ใช้เป็นสัญญาณตอบโต้กับอุปกรณ์ภายนอก โดย 4 บิตบนจะเป็นสัญญาณตอบโต้สำหรับพอร์ต A ส่วน 4 บิตล่างใช้เป็นสัญญาณตอบโต้สำหรับพอร์ต B

หลักการรับส่งข้อมูลที่ใช้วิธีการตรวจสอบสัญญาณที่ตอบโต้ซึ่งกันและกันนี้ คือการให้อุปกรณ์ภายนอกส่งสัญญาณแสดงสถานะความพร้อมให้กับ 8255 ดังแสดงในรูป

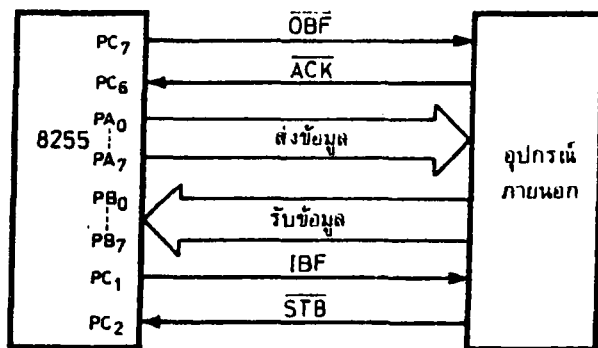


(ก) พอร์ตอินพุท



(ข) พอร์ตเอาต์พุท

รูปที่ 4.10 แสดงโครงสร้างตัวตรวจสอบสัญญาณของพอร์ตอินพุทและพอร์ตเอาต์พุท



รูปที่ 4.11 แสดงวงจรการต่อ 8255 ในโหมด 1

เมื่อโปรแกรม 8255 เป็นโหมด 1 แล้ว ตัว 8255 จะใช้พอร์ต C เป็นสัญญาณควบคุม โดยแต่

ละบิตของพอร์ต C เป็นไปตามที่กำหนดไว้ดังในตาราง

ขา	กรณีอินพุต	กรณีเอาต์พุต
PC ₀	INTR _B	INTR _B
PC ₁	IBF _B	$\overline{\text{OBF}}_B$
PC ₂	$\overline{\text{STB}}_B$	$\overline{\text{ACK}}_B$
PC ₃	INTR _A	INTR _A
PC ₄	$\overline{\text{STB}}_A$	I/O
PC ₅	IBF _A	I/O
PC ₆	I/O	$\overline{\text{ACK}}_A$
PC ₇	I/O	$\overline{\text{OBF}}_A$

ตารางที่ 4.1 แสดงหน้าที่ของขาสัญญาณต่างๆของพอร์ต C เมื่อทำงานในโหมด 1

สัญญาณที่ใช้ในการตอบโต้ระหว่าง 8255 กับ อุปกรณ์ภายนอก มีดังนี้

- เมื่อใช้เป็นอินพุต

1. STB (Strobe input)

เมื่อสัญญาณนี้มีลอจิกเป็น 0 ข้อมูลที่ส่งเข้ามาที่พอร์ต A จะถูกนำเข้าไปเก็บไว้ที่ส่วนแลตช์ของข้อมูล ซึ่งอยู่ภายในของพอร์ต A การกระทำขั้นตอนนี้โดยอัตโนมัติไม่ขึ้นกับ ซีพียู เมื่อใดก็ตามที่ ซีพียู ส่งสัญญาณ RD มายัง 8255 ข้อมูลที่แลตช์ค้างไว้จะถูกวางลงในบัลข้อมูล IBF (Input buffer full flag output)

สัญญาณนี้ใช้เป็นสัญญาณตอบรับสัญญาณ STB จะให้ลอจิก 1 เพื่อแสดงว่าข้อมูลได้ถูกนำเข้าไปยังส่วนแลตช์ข้อมูลเรียบร้อยแล้วสัญญาณนี้จะเป็น 1 ที่ขอบลบของ STB และกลับเป็นลอจิก 0 ที่ขอบบวกของสัญญาณ RD

2. INTR (Interrupt request output)

เป็นสัญญาณร้องขอการอินเทอร์รัพท์ไปยัง ซีพียู เพื่อให้ ซีพียู อ่านข้อมูลจากส่วนแลตช์ข้อมูลสัญญาณนี้จะเป็นลอจิก 1 ที่ขอบขาขึ้นของ STB (ขณะนี้ IBF=1) เมื่อฟลิปฟล็อป INTE ซึ่งอยู่ภายในเซตเป็น 1 และเป็นลอจิก 0 ที่ขอบขาลงของสัญญาณ RD เมื่อ INTE เซต INTEA ของกลุ่ม A จะเซตเมื่อเปิด PC4 เซต ส่วน INTEB ของกลุ่ม B จะเซตเมื่อเปิด PC2 เซต เมื่อใช้เป็นเอาต์พุต

3. OBF (Output buffer full flag output)

เมื่อสัญญาณนี้เป็นลอจิก 0 แสดงว่าข้อมูลได้ถูกเขียนไปพอร์ตที่กำหนดเรียบร้อยแล้วสัญญาณนี้จะเป็น ลอจิก 0 ที่ขอบบวกของสัญญาณ WR และกลับเป็นลอจิก 1 ที่ขอบลบของสัญญาณ ACK

4. ACK (Acknowledge input)

เมื่อสัญญาณนี้เป็นลอจิก 0 แสดงว่า อุปกรณ์ภายนอกรับข้อมูลไปเรียบร้อยแล้ว

5. INTR (Interrupt request input)

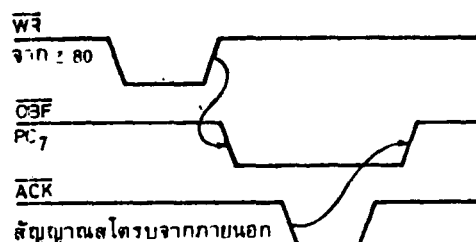
เป็นสัญญาณร้องขอการอินเทอร์รัพท์ไปยังซีพียู เพื่อให้ซีพียูนั้นทราบว่าข้อมูลถูกอุปกรณ์ภายนอกรับไป สัญญาณนี้จะเป็นลอจิก 1 ที่ขอบขาขึ้นของ ACK (ขณะนี้ OBF=1) เมื่อฟลิปฟล็อป INTE

ซึ่งอยู่ภายใน เซตเป็น 1 และเป็นลอจิก 0 ที่ขอบขาลงของสัญญาณ WR เมื่อ INTE เซต

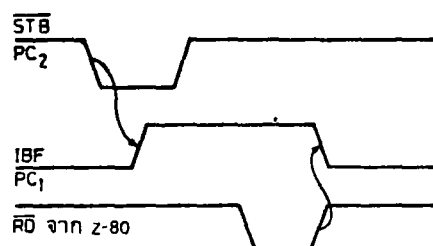
INTEA ของกลุ่ม A จะเซตเมื่อบิต PC6 เซต

INTEB ของกลุ่ม B จะเซตเมื่อบิต PC2 เซต

โครงสร้างการตรวจสอบสัญญาณของ 8255 แสดงด้วยสัญญาณทางไฟฟ้าได้ดังรูป



(ก) เมื่อเป็นพอร์ตเอาต์พุต



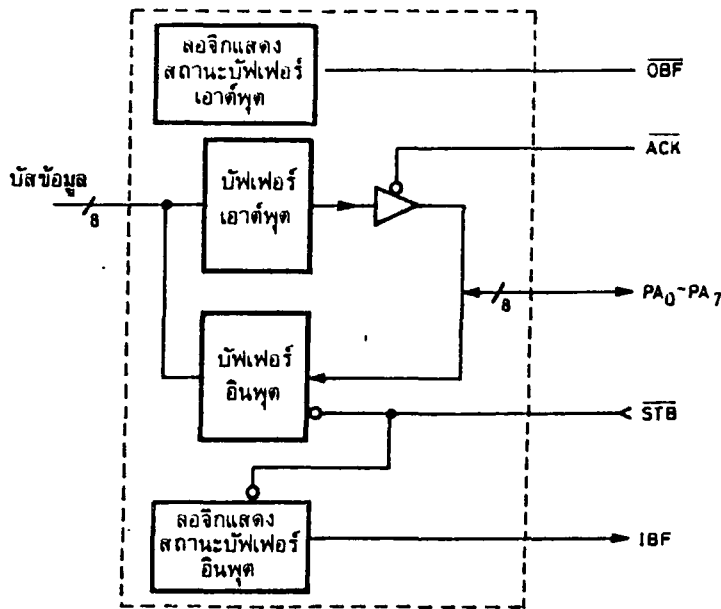
(ข) เมื่อเป็นพอร์ตอินพุต

รูปที่ 4.12 แผนผังเวลาการรับและส่งข้อมูลโดยใช้ตัวตรวจสอบสัญญาณ

การทำงานของ 8255 จะเกี่ยวข้องกับสัญญาณ RD และ WR ซึ่งทำให้สัญญาณควบคุมเปลี่ยนแปลงไป การตรวจสอบสัญญาณซึ่งกันและกันนี้ เป็นวิธีการรับส่งที่มีประสิทธิภาพ เช่น ในกรณีอินพุต เมื่ออุปกรณ์ภายนอกต้องการส่งข้อมูลให้ซีพียู ซีพียูก็จะส่งข้อมูลแบบขนานออกมาพร้อมกับจะ สโตรบ (STB) บอกร 8255 ซึ่ง 8255 จะนำข้อมูลนั้นไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ภายในก่อน แล้วส่งสัญญาณตอบ มาว่า บัฟเฟอร์ยังเต็มอยู่ (IBF) ครั้นเมื่อซีพียูอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ไปแล้วส่วนของสัญญาณบัฟเฟอร์ อินพุต (IBF) ก็จะบอกอุปกรณ์ภายนอกให้ส่งข้อมูลเข้ามา สำหรับพอร์ตเอาต์พุตเมื่อซีพียูส่งข้อมูลออก ทางพอร์ตเอาต์พุตให้กับ 8255 ตัว 8255 ก็จะรับไว้ในรีจิสเตอร์ภายใน พร้อมทั้งส่งสัญญาณออกไป บอกรอุปกรณ์ภายนอกว่า เอาต์พุตบัฟเฟอร์ (OBF) มีข้อมูลอยู่ อุปกรณ์ภายนอกเมื่อทราบและพร้อมจะ อ่านก็จะส่งสัญญาณตอบรับ (ACK) พร้อมกับอ่านข้อมูลไป

4.7.4 การใช้งาน 8255 ในโหมด 2

การทำงานของ 8255 ในโหมด 2 นี้จะเป็นการใช้งานในลักษณะที่พอร์ต A เป็นพอร์ต ข้อมูลแบบสองทิศทาง เมื่อ 8255 ถูกโปรแกรมให้พอร์ต A อยู่ในโหมด 2 นี้ แล้วพอร์ต A จะมีลักษณะ การทำงานตามบล็อกไดอะแกรมดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.13 แสดงโครงสร้างของพอร์ต A ที่ทำงานแบบพอร์ต 2 ทิศทาง

การทำงานในโหมดนี้คือการใช้พอร์ต A เป็นอินพุตและเอาต์พุตแลทช์ (Output latch) หมายถึง การเก็บเอาข้อมูลไว้เพื่อรออุปกรณ์ภายนอกกับข้อมูลออกไป ส่วนอินพุตแลทช์ (Input latch) หมายถึง การเก็บข้อมูลที่อุปกรณ์ภายนอกส่งเข้ามาเพื่อรอให้ไมโครโปรเซสเซอร์อ่านเข้าไปใช้งาน พิจารณาการทำงานของได้ดังนี้

ในการส่งข้อมูลให้อุปกรณ์ภายนอกนั้น ขั้นตอนแรกก็คือ ไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องส่งข้อมูลไปแลทช์ไว้ในพอร์ต A ซึ่งจะทำให้ Output buffer full (OBF) ถูกเซตให้เป็นจริง สัญญาณนี้จะบอกให้อุปกรณ์ภายนอกรู้ว่า ขณะนี้พอร์ต A มีข้อมูลอยู่ และบอกให้ไมโครโปรเซสเซอร์รู้ว่าข้อมูลของพอร์ต A ที่ส่งไป ยังไม่ถูกอุปกรณ์ภายนอกอ่านไป อุปกรณ์ภายนอกจะต้องส่งสัญญาณ ACK (Acknowledge) ให้กับ 8255 สัญญาณนี้จะเป็นการอินทาบิลให้ข้อมูลที่อยู่ในพอร์ต A ส่งออกไปยัง PA₀-PA₇ และเป็น การรีเซต OBF เพื่อเป็นการบอกให้ไมโครโปรเซสเซอร์รู้ว่าข้อมูลที่อยู่ในพอร์ต A ถูกอุปกรณ์ภายนอกอ่านออกไปแล้วและสามารถส่งข้อมูลใหม่ไปให้พอร์ต A ได้อีก

ในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก อุปกรณ์ภายนอกต้องตรวจสอบสถานะของ Input buffer full (IBF) เสียก่อน ถ้า IBF มีลอจิกเป็น 1 แสดงว่าขณะนี้พอร์ต A มีข้อมูลอยู่ ไมโครโปรเซสเซอร์ ยังไม่ได้อ่านข้อมูลเข้าไป แต่ลอจิกเป็น 0 แสดงว่าไม่มีข้อมูลอยู่ในพอร์ต A อุปกรณ์ภายนอกจะส่งข้อมูล และสัญญาณ Strobe (STB) ให้ 8255 สัญญาณนี้จะทำให้ มีการนำข้อมูลไปแลทช์ไว้ในพอร์ต A และเซตให้ IBF มีสถานะเป็นจริง และไมโครโปรเซสเซอร์จะตรวจสอบสถานะของ IBF ได้โดยการอ่านข้อมูลจากพอร์ต C เมื่อ IBF มีสถานะเป็นจริง แสดงว่าข้อมูลที่พร้อมที่จะให้ไมโครโปรเซสเซอร์อ่านออกไป เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์อ่านข้อมูลออกไปแล้ว IBF จะมีสถานะลอจิกเป็น 0 และอุปกรณ์ภายนอกสามารถส่งข้อมูลใหม่เข้ามาได้

ในการใช้งานในโหมด 2 พอร์ต C จะเป็นตัวแสดงสถานะของสัญญาณดังกล่าวและรายละเอียด

ของแต่ละบิตจะแสดงดังในตาราง

พอร์ต c	ความหมาย
PC ₀	I/O
PC ₁	I/O
PC ₂	I/O
PC ₃	INT _{FA}
PC ₄	$\overline{\text{STB}}_A$
PC ₅	IB _{FA}
PC ₆	$\overline{\text{ACK}}_A$
PC ₇	$\overline{\text{OBF}}_A$

ตารางที่ 4.2 แสดงหน้าที่ของพอร์ต C ในโหมด 2

4.8 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลและแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

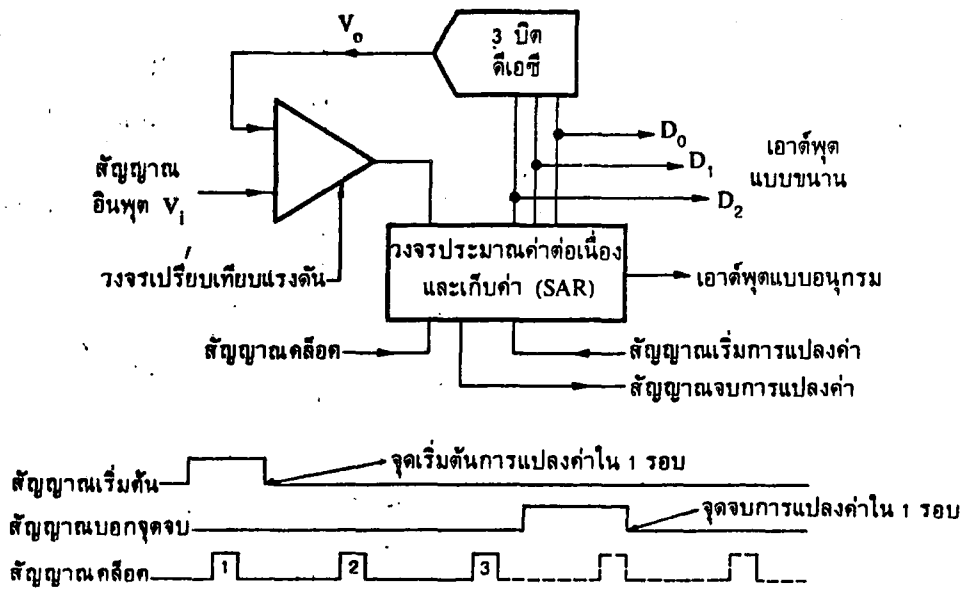
การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล จะเป็นการแปลงสัญญาณอินพุท โดยทั่วไปที่เป็นสัญญาณอนาลอก ให้เป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง ก็คือสัญญาณดิจิทัล เพื่อส่งผ่านให้แก่ คอมพิวเตอร์ซึ่งใช้สัญญาณดิจิทัล และอุปกรณ์ที่ใช้แปลงสัญญาณเราจะเรียกกันทั่วไปว่า ADC ซึ่งจะแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

4.8.1. เอดีซี แบบประมาณค่าต่อเนื่อง (Successive approximation)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้จะประกอบไปด้วย เอดีซี, วงจรเปรียบเทียบแรงดัน และวงจรรีจิสเตอร์ เพื่อเก็บค่าที่ได้ หลังจากการประมาณค่าสัญญาณอินพุทที่รับเข้ามา ซึ่งจะเรียกว่า SAR (Successive Approximation Register) โดยวงจรรีจิสเตอร์มีขาอินพุท 1 ขา และขาควบคุมอีก 3 ขา โดยขาแรกเป็น ขาสัญญาณบอกจุดเริ่มกระบวนการแปลงค่า ขาที่สอง เป็นขาเอาต์พุทบอกจุดจบกระบวนการแปลงค่า ขาที่สาม เป็นอินพุทรับสัญญาณนาฬิกาสำหรับควบคุมกระบวนการแปลงค่าในแต่ละรอบ ขาเอาต์พุทจะให้สัญญาณดิจิทัลมีทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน

- การทำงานของวงจร

การแปลงค่าในแต่ละรอบจะเริ่มขึ้นเมื่อวงจรได้รับสัญญาณเริ่มต้น วงจรรีจิสเตอร์ส่งค่าดิจิทัล ที่ได้ประมาณค่าแล้วออกไปยังวงจร เอดีซี เพื่อทำการแปลงค่าเป็นสัญญาณอนาลอก (V_O) และส่งกลับมาเปรียบเทียบกับค่า V_i จากอินพุทว่าค่าใดมากกว่ากัน เพื่อนำไปรับค่าสัญญาณดิจิทัลแต่ละบิตให้กับ รีจิสเตอร์ให้ถูกต้อง ตรงกับค่าที่ป้อนเข้ามาทางอินพุท การเปรียบเทียบเริ่มจากบิตสูงมายังบิตต่ำเสมอ เมื่อครบทุกบิตวงจร SAR จะส่งสัญญาณสิ้นสุดกระบวนการออกไปที่ขาควบคุม และให้สัญญาณดิจิทัล เอาต์พุทที่สัมพันธ์กับค่า V_i ทางด้านอินพุท



รูปที่ 4.14 แสดงแผนผังและรูปคลื่นของวงจรเอดีซี แบบประมาณค่าต่อเนื่อง

4.8.2. เอดีซี แบบรวบรวมค่า (Integrating)

คอนเวอร์เตอร์ตระกูลนี้เป็นการแปลงสัญญาณแบบทางอ้อมโดยอันดับแรกจะแปลงเป็นฟังก์ชันของเวลา แล้วแปลงจากฟังก์ชันของเวลาให้อยู่ในรูปของดิจิตอล ด้วยการใช้วงจรรนับหรือเป็นการอินทิเกรตสัญญาณนั่นเอง ซึ่งจะมีวิธีการแปลงแบบต่างๆ ดังนี้

1. แบบสโลปเดี่ยว (Single Slope or Single Ramp)

วงจร เอดีซี ชนิดนี้ประกอบด้วย วงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์, วงจรเปรียบเทียบ, วงจรรับเลขฐานสอง เมื่อเริ่มทำการแปลงสัญญาณ สัญญาณแรมป์และวงจรรับ จะถูกรีเซ็ตให้เป็น 0 สัญญาณของอนุโลคก็จะถูกป้อนเข้าไปยังวงจรเปรียบเทียบ ทางขานอนอินเวอร์ตถึงอินพุต เมื่อสัญญาณอินพุตที่ขาเป็นบวก มากกว่าอินพุตที่ขาอินเวอร์ตถึง วงจรเปรียบเทียบก็จะให้เอาต์พุตเป็นระดับ high ทำให้ AND เกิดปล่อยสัญญาณนาฬิกาผ่านไปยังวงจรรับได้ และทำให้เริ่มเกิดสัญญาณแรมป์

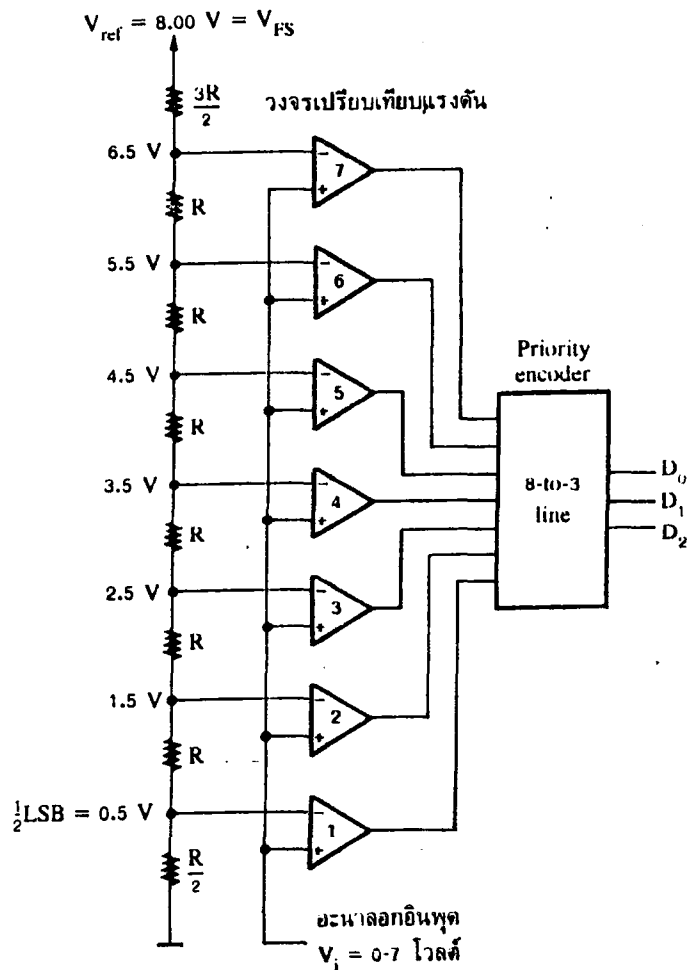
สัญญาณแรมป์มีแรงดันเป็นบวกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมากกว่าระดับแรงดันอินพุต เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ ก็จะตกลงมาเป็นระดับ low ทำให้ AND เกิดไม่มีสัญญาณผ่านไปยังวงจรรับ วงจรรับจะหยุด และเก็บค่าไว้ที่วงจรแลทซ์ จากนั้นจึงทำการรีเซ็ตวงจรรับและวงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์

2. แบบสโลปคู่ (Dual Slope)

เทคนิคการแปลงแบบสโลปคู่เป็นเทคนิคที่มีข้อดีทางเสถียรภาพของการแปลงสัญญาณ เมื่อสัญญาณอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว วงจรผลิตสัญญาณแรมป์อ้างอิงได้ปรับปรุงขึ้น โดยตัดเอาผลกระทบของการเลื่อนไหล วงจรเอดีซี แบบสโลปคู่ส่วนใหญ่จะคล้ายกับแบบสโลปเดี่ยวแต่มีสิวิทซ์ที่อินพุตเพิ่มขึ้นเพื่อทำการเลือกระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันอ้างอิง

4.8.3 เอดีซี แบบขนานหรือแฟลช (Parallel or Flash)

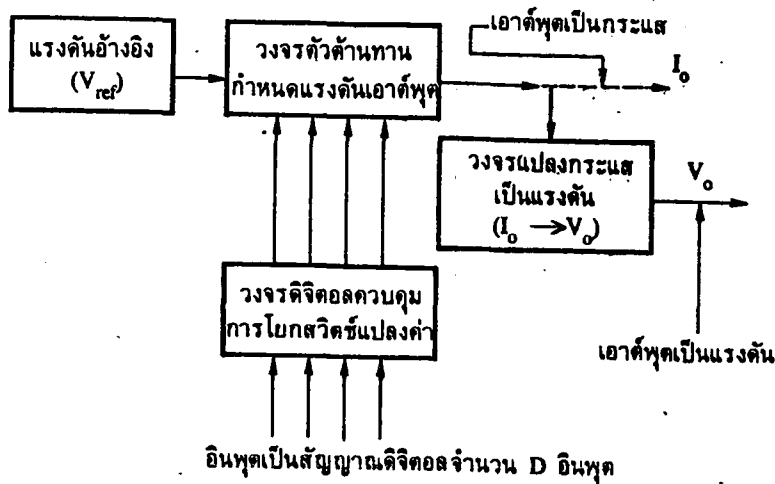
เอดีซี ชนิดนี้จะเป็นแบบที่มีความเร็วในการแปลงค่าสูงมาก แรงดันอ้างอิงของวงจรเปรียบเทียบจะถูกแบ่งค่าแรงดันด้วยตัวต้านทานเป็นขั้น ขั้นละ 1 โวลต์ เอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน จะถูกต่อเป็นวงจรเอ็นโคเดอ์แบบจัดลำดับ 8 ออก 3 ซึ่งลอจิกที่แปลงได้ด้านเอาท์พุทจะแปรค่าตามค่าอนาลอกทางด้านอินพุท ถ้าป้อนอินพุทเป็น 6 โวลต์จะทำให้วงจรเปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 1 ถึง 6 ให้ออก 1 ทั้งหมด เป็นผลให้เอาท์พุท $D_2 - D_0$ เป็นลอจิก 110



รูปที่ 4.15 แสดงวงจรเอดีซี แบบแฟลช

การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก

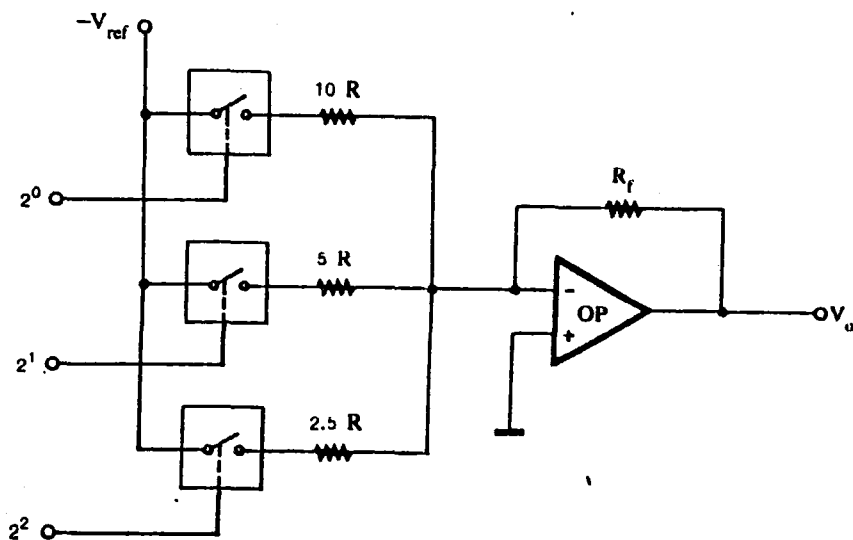
ตัวแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอก เป็นตัวแปลงรหัสเลขฐานสอง จากคอมพิวเตอร์หรือวงจรดิจิทัลใดๆ ให้กลายเป็นระดับแรงดันอนาลอกที่มีความสัมพันธ์กับระบบเลขฐานสอง



รูปที่ 4.16 แสดงแผนผังของวงจร ดีเอซี

4.8.4. ดีเอซี แบบใช้ตัวต้านทานหลายค่า (Binary - weighed resistor D/A)

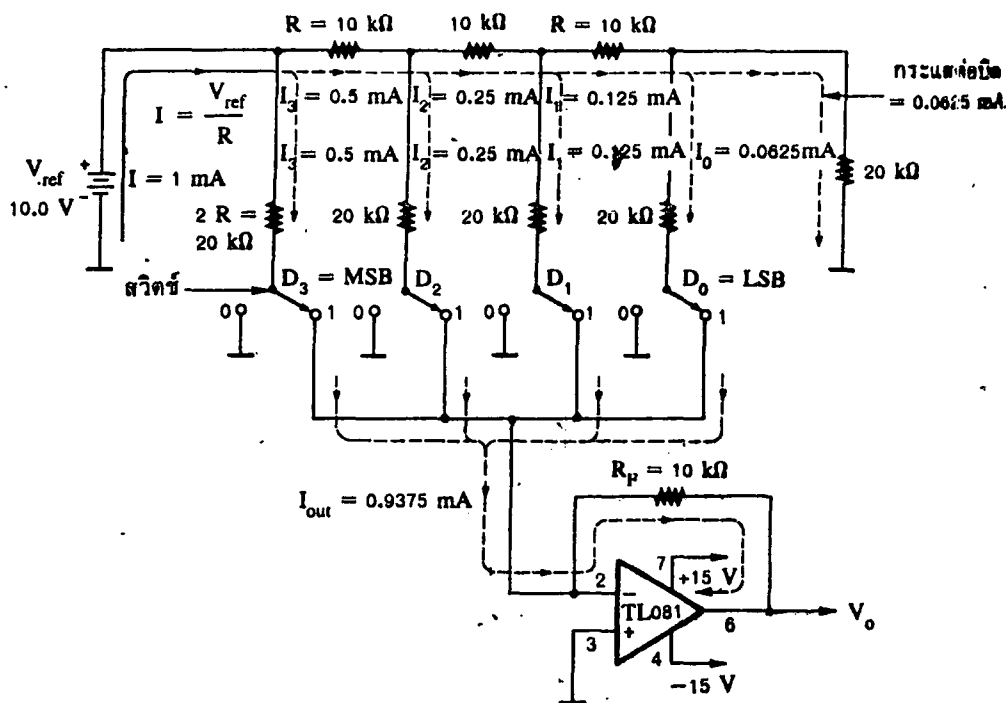
เป็นเทคนิคจัดนำหน้าของรหัสไบนารี โดยใช้ตัวต้านทานค่าต่างๆ และออปแอมป์ เพื่อจัดระดับสัญญาณลอจิก 2 ระดับให้เป็นแรงดันที่ได้สัดส่วนกัน จากรูปจะแสดงวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลขนาด 3 บิต ออปแอมป์ที่ใช้มีอัตราขยายสูงมาก (มากกว่า 1000 เท่า) มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำมาก และสิ่งที่ควรพิจารณาก็คือ สัญญาณที่เอาท์พุทป้อนกลับมายังอินพุท แบบกลับเฟสเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่อินพุทอีกข้าง เอาท์พุทออปแอมป์ จะเป็นตัวจ่าย หรือรับกระแส เพื่อให้แรงดันที่เปรียบเทียบกับนั้นมีค่าเดียวกัน ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะมีลักษณะวงจรที่ง่ายตรงไปตรงมา แต่ก็ไม่สะดวกในการนำไปใช้งานถ้าต้องการความละเอียดของ ดีเอซี มากกว่า 3 บิต เพราะค่าของตัวต้านทานที่ใช้มีหลายค่าเกินไป



รูปที่ 4.17 แสดงวงจรดีเอซี แบบตัวต้านทานหลายค่า

4.8.5. ดีเอซี แบบใช้ตัวต้านทาน 2 ค่า (R/2R Ladder Network D/A)

เทคนิคนี้สามารถสร้างแรงดันตามน้ำหนักของรหัสไบนารี โดยอาศัยความต้านทานเพียง 2 ค่า ในลักษณะวงจรแบ่งแรงดัน ที่เรียกว่า binary ladder ซึ่งกระแสจะถูกเปลี่ยนเป็นค่าแรงดันด้วยออปแอมป์ และตัวต้านทานป้อนกลับแบบกลับเฟสลบ แม้ว่าดีเอซีชนิดนี้จะวิเคราะห์ยากกว่าแบบตัวต้านทานหลายค่า แต่สามารถออกแบบได้ง่ายเนื่องจากใช้ตัวต้านทานเพียง 2 ค่า จึงทำให้สามารถเพิ่มจำนวนบิตได้โดยเพิ่มส่วนของ R / 2R ลงไป



รูป 4.18 แสดงวงจรดีเอซี แบบตัวต้านทาน 2 ค่า

4.9 การทำงานด้วยคอนโทรลเลอร์

4.9.1 บอร์ด PC-SB31

โครงสร้างของบอร์ดประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

- ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 8031, 8032, 8052 หรือ 8751
- หน่วยความจำ มี socket ขนาด 28 pin 2 ตัว สามารถใส่หน่วยความจำได้สูงสุด 96 KB
- พอร์ต
 1. 8*3 บิต อินพุต/เอาต์พุต (8255)
 2. 8*1 บิต อินพุต/เอาต์พุต (พอร์ต1)
 3. 1 พอร์ตอนุกรม (RS 232)

- คุณสมบัติ

- หน่วยความจำ สามารถเลือกได้ทั้ง ขนาด, ตำแหน่ง และลักษณะการทำงาน (data memory,

code memory, code & data memory)

- สามารถพัฒนาโปรแกรมได้ทั้งภาษาแอสเซมบลี และภาษาเบสิก
- ต่อกับ จอผลึกเหลว ได้ทันที โดยไม่ต้องใช้ I/O พอร์ต
- มี I/O พอร์ตขนาด 8 บิต ถึง 4 พอร์ต
- ต่อร่วมกับอุปกรณ์สนับสนุนได้ทันที เช่น SSRAC, RTC, 72IO, ET-AD

- รายละเอียดเกี่ยวกับ CONNECTER

1. EXP1

เป็น connector ขนาด 40 ขา ซึ่งมีสัญญาณที่ขาต่างๆ คล้ายกับสัญญาณที่ต่อจาก ซีพียู Z80 ทั้งนี้เพื่อสนับสนุนบอร์ดต่างๆ เช่น 72IO, RTC เป็นต้น

2. EXP2

เป็น อินพุท/เอาต์พุท พอร์ตอิสระขนาด 8 บิต

3. EXP3

เป็นขา interrupt และ timer/counter ของตัว ซีพียู

4. EXP4

เป็น connector ขนาด 34 ขา ซึ่งมีการวางตำแหน่งของขาตรงกับบอร์ด 72IO ซึ่งสามารถต่อกับอุปกรณ์ ไอโอ ต่างๆ เช่น SSRAC , ET-AD

EXP5

เป็น connector ขนาด 14 ขา ที่ใช้ต่อกับจอผลึกเหลวได้โดยตรง ซึ่งถูกถอดรหัส (decode) ไว้ที่ พอร์ต หมายเลขต่างๆดังนี้

F0C0H พอร์ตเกี่ยวกับการเขียนคำสั่งไปยัง จอผลึกเหลว (RS, R/W = 00)

F0C1H พอร์ตอ่าน busy flag และแอสแตร์ของ เคอร์เซอร์ (RS , R/W = 01)

F0C2H พอร์ตเขียนข้อมูลไปยัง DDRAM หรือ CGRAM (RS , R/W = 10)

F0C3H พอร์ตอ่านข้อมูลจาก DDRAM หรือ CGRAM (RS , R/W = 11)

4.9.2 ส่วนแสดงผล จอผลึกเหลว(LCD)

ในชุดของ LCD module จะมีส่วนประกอบใหญ่ๆ แบ่งได้เป็น

1. จอผลึกเหลว แบบดอตแมตริกซ์

มีการทำงาน ในลักษณะการปิดและเปิดตัวเองกับแสงก็คือ ส่วนของที่เป็นตัวกระจกบรรจุผลึก

2. ไดรเวอร์

เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับผลึกจอผลึกเหลวอีกชั้นหนึ่ง โดยจะเป็นไอซี เช่นเบอร์ HD4410H, MSM5259

3. คอนโทรลเลอร์ (controller)

เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมา และจัดการควบคุมจอผลึกเหลวโมดูลให้ทำงานแสดงผลต่างๆ เช่น การลบจอภาพ การเกิดตัวอักษร เป็นต้น โดยมีเบอร์ไอซีที่นิยมใช้กันคือ HD44780 ซึ่งใช้ในแบบ character LCD module คือการแสดงผลเป็นตัวอักษรโคด ๆ เป็นส่วนใหญ่

การต่อจอผลึกเหลวเข้ากับไมโครโปรเซสเซอร์ มี 2 ลักษณะคือ แบบหน่วยความจำ (memory map) โดยผ่าน LCD บัส ขนาด 20 ขา และ แบบ I/O พอร์ตโดยผ่าน 8255 บัสขนาด 26 ขา ซึ่งทั้งสองแบบนี้จะมีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกันออกไป โดยแต่ละแบบจะมีหลักการดังนี้

การต่อแบบหน่วยความจำ (memory map)

จะมีคุณสมบัติดังนี้

1. สามารถจะต่อเข้ากับชิปเบอร์ทั่วไปๆ ได้ เช่น 8051 หรือ Z80 โดยจะทำให้ระบบไมโครมองเห็นจอผลึกเหลวในลักษณะของ หน่วยความจำ ได้ทันที
2. สามารถเขียนและอ่านข้อมูลจากจอผลึกเหลวได้ ทำให้มองเห็นเหมือนเป็น หน่วยความจำ และบัฟเฟอร์
3. เนื่องจากสามารถอ่านข้อมูลกลับได้ จึงทำให้สามารถตรวจสอบ flag ความพร้อม ในขณะที่จอผลึกเหลว กำลังทำงานได้
4. ใช้ได้กับบอร์ดที่มี LCD บัส มาให้พร้อมเท่านั้น
5. ทำให้กินพื้นที่ของหน่วยความจำไปส่วนหนึ่ง และต้องมีการถอดรหัส (decode) ละเอียดพอสมควร
6. การจัดหาสัญญาณจะต้องเป็นไปตามแบบชิปแต่ละเบอร์ด้วย

การต่อแบบ I/O พอร์ต

1. สามารถต่อเข้ากับพอร์ตใดๆ ก็ได้ โดยใช้สายสัญญาณจำนวน 11 เส้น และใช้โปรแกรมเป็นตัวสร้างสัญญาณขึ้นมาให้ตรงกับข้อกำหนดของ จอผลึกเหลว
2. เขียนข้อมูลให้จอผลึกเหลวได้อย่างเดียว ซึ่งผู้ใช้ควรที่จะกำหนดหน่วยความจำส่วนหนึ่ง ให้เป็นเสมือนบัฟเฟอร์ ให้กับจอผลึกเหลวอีกที
3. เนื่องจากไม่สามารถอ่านข้อมูลกลับได้ จึงต้องใช้การหน่วงเวลาของระบบ เพื่อรอให้จอผลึกเหลวทำขบวนการต่างๆ ในตัวเอง
4. ใช้ได้กับบอร์ดทั่วไปที่มี พอร์ต
5. ไม่เปลืองส่วนของ หน่วยความจำ ในการใช้งาน
6. การจัดหาสัญญาณกระทำได้อย่างอิสระ

คำสั่งในการใช้งาน

1. CLEAR DISPLAY

RS	R/W	DB7	DB0
0	0	0	0

คำสั่งนี้เป็นการเขียนช่องว่างหรือ space (ASCII 20H) ให้เข้าไปใน DDRAM (display data RAM) ทั้งหมด และทำการเซต DDRAM แอดเดรสให้เป็นศูนย์ เคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ตำแหน่งมุมบนซ้ายมือของจอภาพ

2. CURSOR AT HOME

RS	R/W	DB7				DB0			
0	0	0	0	0	0	0	0	1	*

คำสั่งนี้จะทำการเซต DDRAM แอดเดรสให้เป็นศูนย์ ตัวเคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ที่ตำแหน่งบนสุดซ้ายมือของจอภาพ โดยที่ข้อมูลใน DDRAM ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3. ENTRY MODE SET

RS	R/W	DB7				DB0			
0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S

BIT I/D : จะเป็นตัวกำหนดให้ว่าเมื่อเขียน หรืออ่านข้อมูลแล้วจะทำให้ DDRAM แอดเดรสเพิ่มขึ้นหนึ่งหรือลดลงหนึ่งโดย 1=เพิ่ม, 0= ลด

BIT S : เป็นตัวกำหนดการแสดงผล ถ้า S=1 จะเป็นการใส่ข้อมูลแล้วตัวเคอร์เซอร์อยู่กับที่ส่วนข้อมูลถูกดันไปทางซ้าย ถ้า S=0 ข้อมูลจะอยู่กับที่ตัวเคอร์เซอร์จะถูกดันไปทางขวามือ

4. DISPLAY ON/OFF

RS	R/W	DB7				DB0			
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

BIT D : เป็นบิตที่ใช้ควบคุมการเปิดปิดหน้าจอ โดยถ้า D=1 จะ ON และ D=0 จะ OFF

BIT C : ใช้แสดงเคอร์เซอร์เมื่อให้บิต C=1 และถ้าไม่ต้องการแสดงเคอร์เซอร์ก็ให้บิต C=0

BIT B : เป็นบิตที่ใช้เขตการกะพริบของเคอร์เซอร์ โดย B=1 มีการกะพริบ B=0 จะไม่มี

5. DISPLAY SHIFT

RS	R/W	DB7				DB0			
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

S/C R/L

0	0	ทำการย้ายเคอร์เซอร์ไปจากตำแหน่งเดิมไปซ้ายมือ 1 ตำแหน่ง
0	1	ทำการย้ายเคอร์เซอร์ไปจากตำแหน่งเดิมไปขวามือ 1 ตำแหน่ง
1	0	เป็นการดันตัวอักษรที่ปรากฏไปทางซ้าย
1	1	เป็นการดันตัวอักษรที่ปรากฏไปทางขวามือ

6. FUNCTION SET

RS	R/W	DB7								DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	

BIT DL : เป็นการเซตการติดตั้งว่าจะเป็นแบบ 8 บิตหรือ 4 บิต ถ้าต้องการติดตั้ง 4 บิต จะให้ DL=0 และ 8 บิต DL=1

N : เป็นการเซตบรรทัดการแสดงผล N=0 แสดง 1 บรรทัด N=1 แสดง 2 บรรทัด ในกรณีมากกว่า 2 บรรทัดก็ให้เซต N=1

F : เป็นการเซตขนาดจุดของการแสดงผลเป็นแบบ 5*7 หรือ 5*10 โดย F=0 เป็นแบบ 5*7 และ F=1 เป็นแบบ 5*10

7. SET CGRAM ADDRESS

RS	R/W	DB7								DB0
0	0	0	1	CGRAM ADDRESS						

ใน HD44780 จะมีหน่วยความจำอยู่ 2 ชุด คือ display data RAM (DDRAM) จำนวน 80*8 บิต และ character generator RAM (CGRAM) จำนวน 512 บิตและ 7200 บิต คำสั่งนี้จะเป็นการเซตแอดเดรสใน CGRAM โดยต้องทำการเซตแอดเดรสก่อนเขียนหรืออ่านข้อมูลจาก CGRAM ด้วย

8. SET DDRAM ADDRESS

RS	R/W	DB7								DB0
0	0	1	DDRAM ADDRESS							

เป็นคำสั่งเซตค่าแอดเดรสใน DDRAM ในการเขียน หรืออ่านค่าจาก DDRAM (DDRAM คือ ส่วนที่จะแสดงผลหน้าจอ LCD) โดยจำนวนแอดเดรสที่จะเกิดขึ้นบนจอ LCD ขึ้นอยู่กับการเซตค่า N

ถ้า N=0 (1 บรรทัด) แอดเดรสจะอยู่ 00H-4FH

ถ้า N=1 (2 บรรทัด) แอดเดรสจะอยู่ 00H-27H สำหรับบรรทัดที่ 1 และ 40H-67H สำหรับบรรทัดที่ 2

9. READ BUSY FLAG AND ADDRESS

RS	R/W	DB7								DB0
0	1	BF	ADDRESS							

เป็นคำสั่งอ่านค่า busy flag ซึ่งจะเป็นตัวบอกว่าตัว HD44780 นี้อยู่ในขบวนการทำงานภายในอยู่หรืออยู่ในสภาพพร้อมจะรับข้อมูล โดยจะได้

BF=1 อยู่ในขบวนการทำงานภายในไม่พร้อมจะรับข้อมูลหรือคำสั่ง

BF=0 พร้อมจะรับข้อมูลหรือคำสั่งได้

และนอกจากนี้ยังเป็นคำสั่งอ่านค่าข้อมูลแอดเดรสของ CGRAM หรือ DDRAM ด้วย

10. WRITE DATA TO CGRAM หรือ DDRAM

RS	R/W	DB7	DB0
1	0	DATA	

เป็นคำสั่งเขียนข้อมูลเข้าไปใน CGRAM หรือ DDRAM ซึ่งเมื่อเขียนข้อมูลแล้วแอดเดรสจะเพิ่มหรือลดโดยอัตโนมัติตามคำสั่งที่เซตใน entry mode (ข้อกำหนดที่จะรู้ว่าเป็นการเขียนข้อมูลของ CGRAM หรือ DDRAM ทำได้โดยการเซตแอดเดรสของ CGRAM หรือ DDRAM

11. READ DATA FROM CGRAM OR DDRAM

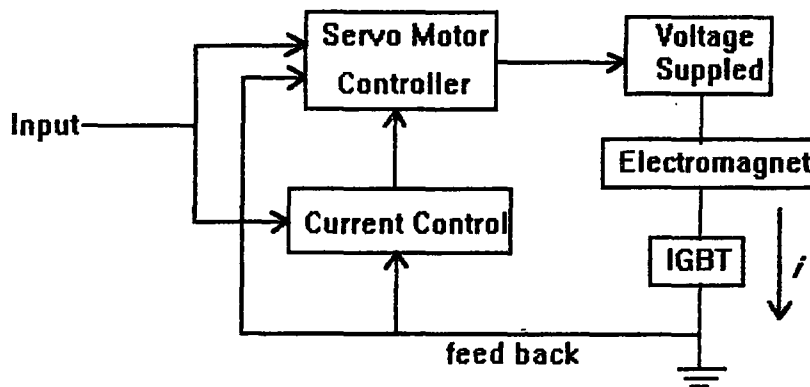
RS	R/W	DB7	DB0
1	1	DATA	

เป็นคำสั่งอ่านค่าข้อมูลจาก CGRAM หรือ DDRAM โดยก่อนจะอ่านค่าจาก DDRAM หรือ CGRAM ควรจะใช้คำสั่งเซตแอดเดรสก่อน เพื่อให้รู้ว่าข้อมูลที่อ่านได้นั้นเป็น DDRAM หรือ CGRAM

บทที่ 5

การทำงานของชุดจ่ายกระแสคงที่

ชุดจ่ายกระแสที่ใช้ในโครงการวิจัย ได้ออกแบบในลักษณะการควบคุมแบบผสม มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

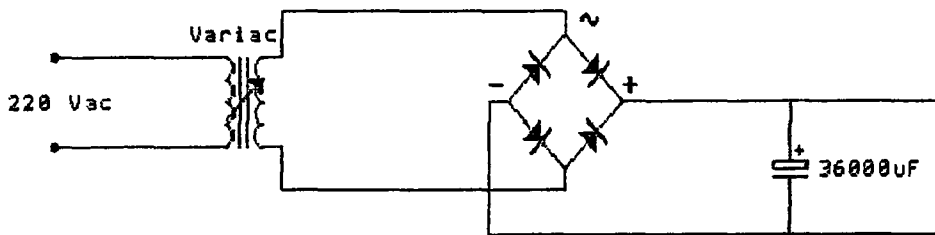


รูปที่ 5.1 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของชุดจ่ายกระแสตรงแบบผสม

รายละเอียดและหลักการทำงานของวงจรในส่วนต่างๆ จะมีเป็นดังนี้

5.1 การทำงานของวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า

ในชุดจ่ายแรงดันไฟฟ้ากำลังสูง ที่ใช้ในการป้อนกระแสเข้าสู่เครื่องสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีการต่ออุปกรณ์ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.2 วงจรป้อนแรงดันไฟตรงให้กับโหลด

จากวงจรจะต่อสายกระแสสลับ 220 V เข้าโดยตรงกับ Variac ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเหมือนหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถจะปรับแรงดันทางด้านขาออกได้ จากนั้นก็จะผ่านเข้าสู่วงจรบริดจ์ เพื่อเปลี่ยนแรงดันให้เป็นแรงดันไฟฟ้าและกระแสตรง แล้วผ่านตัวเก็บประจุเพื่อกรองกระแสก่อนที่จะนำไปใช้งาน

กระแส และแรงดันไฟตรงที่ได้หลังจากผ่านวงจรมืดจะคำนวณได้จาก

$$I_{DC} = \frac{1}{1.2 I_{AC}}$$

$$V_{DC} = \sqrt{2} V_{AC}$$

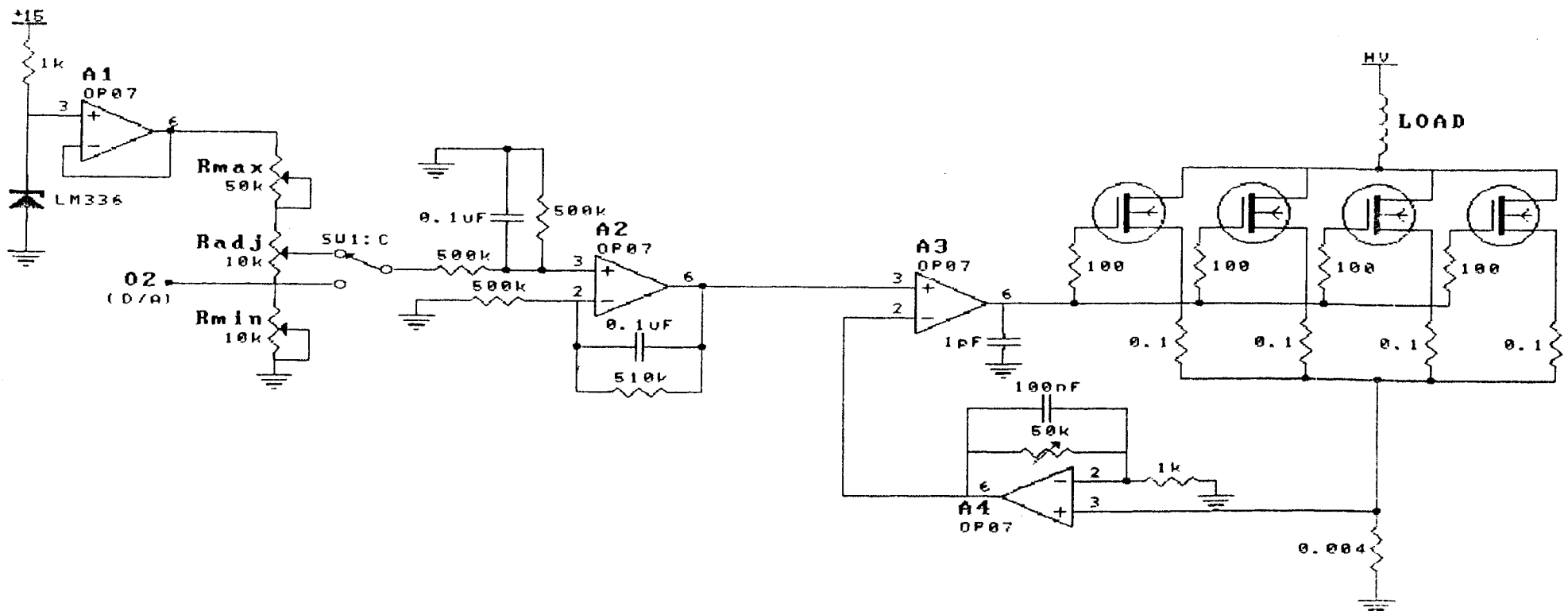
เนื่องด้วยคุณสมบัติของเครื่องจ่ายกระแส ที่สามารถจ่ายกระแสได้ 20 แอมป์ และมีแรงดันสูงสุดประมาณ 200 โวลท์ ดังนั้นจะมีอัตราแรงดันกระแสเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{อัตราแรงดันกระแส} &= V * I \\ &= (200)(20) \\ &= 4 \text{ KVA} \end{aligned}$$

ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้จะต้องสามารถทนแรงดันกระแสได้ ในส่วนของวารีแอกที่ใช้ในโครงการนี้จะทนอัตราแรงดันกระแสได้ 5 KVA

5.2 ส่วนควบคุมการจ่ายกระแสตรง (Current Control)

ส่วนประกอบของชุดจ่ายกระแสตรงจะมีวงจรดังนี้



รูปที่ 5.3 วงจรควบคุมกระแส

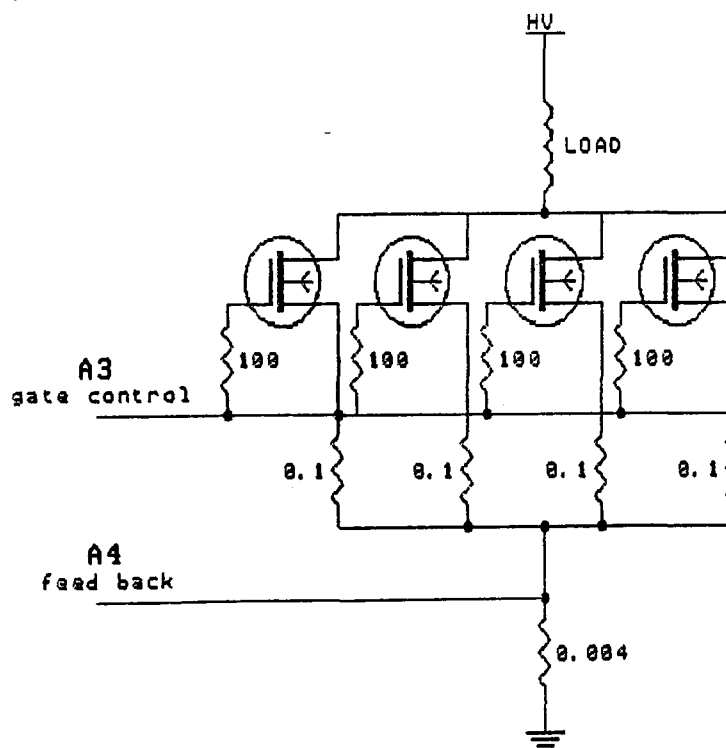
การทำงานในโหมด manual จะนำสัญญาณที่ได้มาจาก LM336 ซึ่งเป็นแรงดัน 5V ผ่านวงจรมัลติเพล็กซ์ A1 มาต่อคร่อมตัวต้านทาน R_{max} , R_{adj} และ R_{min} ตัวต้านทาน R_{max} และ R_{min} จะทำหน้าที่เป็นตัวตั้งค่าแรงดันอ้างอิงสูงสุด และต่ำสุด ที่ต้องการตามลำดับ เมื่อปรับตัวต้านทาน R_{adj} ก็จะได้แรงดันอ้างอิงค่าๆ หนึ่ง ซึ่งใช้ในการปรับกระแส

ส่วนการทำงานในโหมดอัตโนมัติ Auto จะสามารถควบคุมการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ด้วย ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยป้อนข้อมูลเพื่อตั้งค่ากระแสที่ต้องการให้แก่ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นจะนำค่าไปประมวลผลแล้วส่งสัญญาณดิจิตอลมายังวงจรมัลติเพล็กซ์ D/A เพื่อแปลงเป็นสัญญาณอ้างอิงให้แก่วงจรมัลติเพล็กซ์

สัญญาณอ้างอิงที่ได้ จะผ่านวงจรมัลติเพล็กซ์ A2 ก่อน แล้วจึงส่งสัญญาณให้แก่วงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณ A3 ซึ่งจะได้นำสัญญาณอ้างอิงที่มาจากวงจรมัลติเพล็กซ์ A2 และสัญญาณป้อนกลับที่ได้จากแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_s ผ่านการขยายด้วยวงจรมัลติเพล็กซ์ขยาย A4 (ทั้งนี้เพื่อลดค่าความต้านทานของ R_s ช่วยให้การสูญเสียกำลังไฟฟ้าน้อยลงที่ตัวต้านทาน R_s) โดยนำสัญญาณทั้งสองมาหาเปรียบเทียบหาความต่าง แล้วส่งสัญญาณเอาต์พุตไปควบคุมการทำงานของ IGBT ที่ขาเกต

5.3 ไอจีบีที

ด้วยเหตุที่ไอจีบีที เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมการทำงาน โดยป้อนสัญญาณเป็นแรงดันไปที่ขาเกต (ซึ่งจะเหมือนกับมอสเฟต) ทำให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในวงจรมัลติเพล็กซ์ ทั้งนี้เนื่องจากเอาต์พุตที่ได้จากวงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณ A3 เป็นสัญญาณของแรงดัน ในการใช้งานเมื่อกระแสผ่านเข้าสู่ตัวไอจีบีที ไอจีบีทีจะมีคุณสมบัติที่เหนือกว่ามอสเฟต ตรงที่มีการสูญเสียที่ต่ำกว่า และมีการทำงานในการสวิตช์เพื่อควบคุมกระแสได้เร็วกว่ามอสเฟต สำหรับคุณลักษณะของไอจีบีทีจะกล่าวอยู่ในภาคผนวก ก

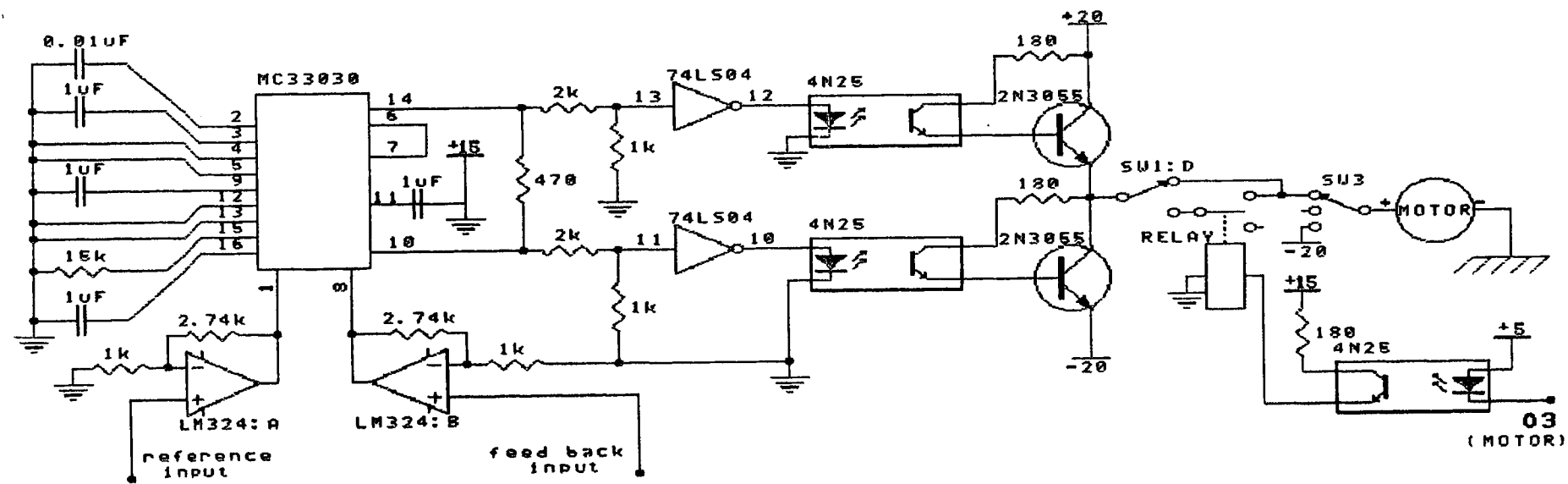


รูปที่ 5.4 แสดงการต่อไอจีบีที

จากรูปเราจะควบคุมกระแสที่ไหลผ่านโหลด ด้วยไอจีบีทีที่ต่อขนานกันอยู่ เพื่อจะแยกกระแสที่ไหลผ่านไอจีบีทีแต่ละตัวให้น้อยลง อันเป็นการป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ในที่นี่คือไอจีบีที เนื่องจากจะเกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า (power dissipate) ขึ้นที่ตัวไอจีบีที เป็นเหตุให้เกิดความร้อนที่ทำให้ไอจีบีทีเสียหายได้ การแยกกระแสที่ไหลผ่าน IGBT แต่ละตัว จะช่วยเป็นการลดกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้

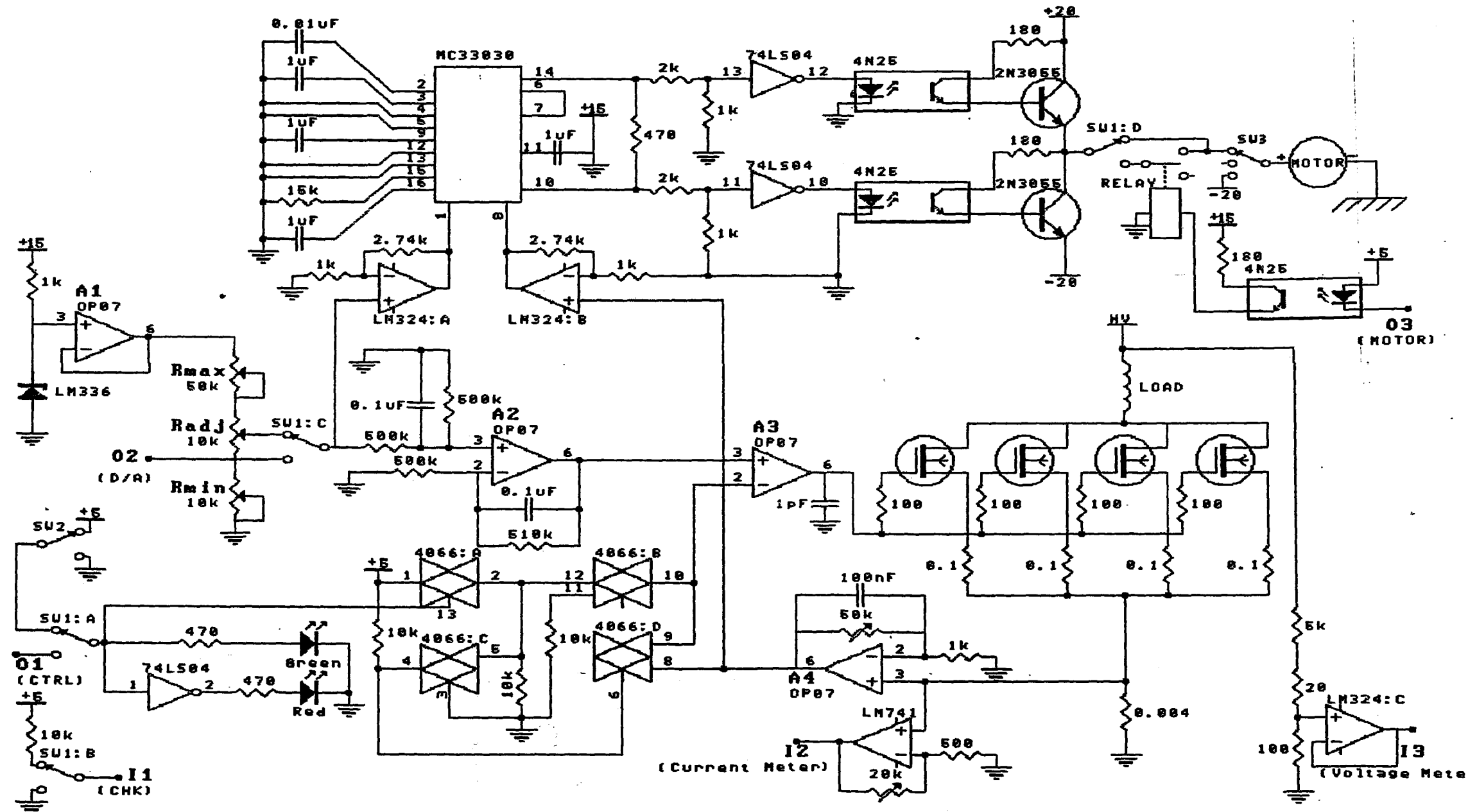
5.4 การทำงานของวงจรควบคุมและระบบเซอร์โวลิตีซีมอเตอร์

วงจรควบคุมที่ใช้ จะเป็นวงจรควบคุมแบบลูปปิดที่ใช้สัญญาณป้อนกลับแบบอนาลอกคอนโทรล ซึ่งก็คือแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน Rs ที่ป้อนกลับมา และใช้ดีซีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ในการเซอร์โวลิตีซีมอเตอร์นี้จะเป็นการเซอร์โวลิตีซีมอเตอร์เพื่อควบคุมตำแหน่งของแกนวาริแอค หรือแบบไดนามิกวาริเอเบิล



รูปที่ 5.5 วงจรของระบบควบคุมดีซีซีมอเตอร์

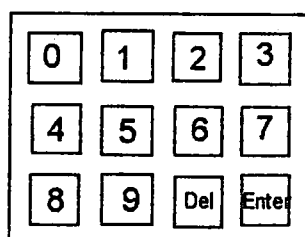
การทำงานทั้งหมดนี้จะใช้ไอซีเบอร์ MC33030 ซึ่งจะเป็นแบบ D.C. Servo Motor Controller /Driver มาช่วยในการทำงานควบคุมมอเตอร์ที่จะไปหมุนวาริแอค เพื่อปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่วงจรให้เหมาะสมกับการใช้งาน เป็นการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้น ในการเซอร์โวลิตีซีมอเตอร์นั้นจะใช้สัญญาณอ้างอิง และสัญญาณป้อนกลับชุดเดียวกันกับสัญญาณที่ให้แก่วงจรควบคุมกระแส แต่จะนำมาขยายสัญญาณผ่านวงจขยาย A5 เนื่องจากความสามารถในการแยกความแตกต่างของสัญญาณ ของไอซี MC33030 จะน้อยกว่าของออปแอมป์ A3 ที่ใช้เป็นวงจรเปรียบเทียบ



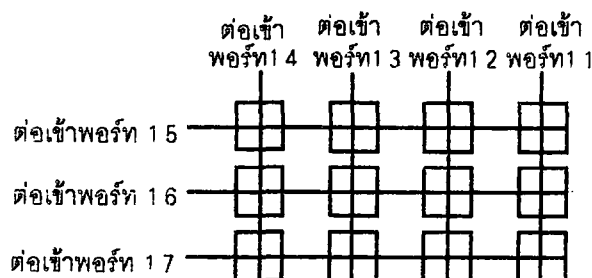
รูปที่ 5.6 วงจรรวมทั้งระบบ ของเครื่องจ่ายกระแส

5.5 การทำงานในโหมด อัตโนมัติ (AUTO)

การทำงานในโหมด อัตโนมัติ สามารถป้อนค่ากระแสที่ต้องการ โดยผ่านทางแป้นรับข้อมูล ซึ่งจะใช้สวิตช์กดติดปล่อยดับจำนวน 12 ตัว ต่อเป็นเมตริกซ์ขนาด 4*3 ซึ่งประกอบด้วย ปุ่มตัวเลข 0-9, ปุ่มลบตัวเลข (delete), ปุ่มงาน (enter) โดยแป้นรับข้อมูลนี้จะต่อเข้ากับ พอร์ต 1.1 - พอร์ต 1.7



(ก) ลักษณะภายนอกด้านหน้า



(ข) การต่อวงจรภายใน

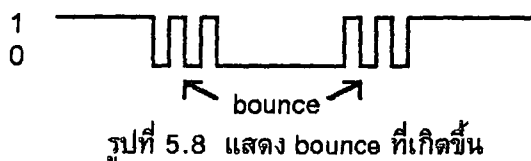
รูปที่ 5.7 ลักษณะของแป้นรับข้อมูล

5.5.1 การตรวจสอบการกดปุ่มของแป้นรับข้อมูล

การตรวจสอบปุ่มที่ถูกกดจะทำได้โดยสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งค่าลอจิก 0 ออกมาที่พอร์ท 1.7 ส่วนบิตที่เหลือจะส่งลอจิก 1 จากนั้นจะสั่งให้ทำการรับข้อมูลเข้าทางพอร์ทเดิมแล้วทำการเช็คบิต ถ้าบิตใดทางด้านคอลัมน์เป็น 0 แสดงว่าปุ่มของคอลัมน์ และแถวนั้นๆ ถูกกด แต่ถ้าหากพบว่ามีปุ่มใดถูกกดก็จะทำการสั่งให้เปลี่ยนการส่งลอจิก 0 จากพอร์ท 1.7 เป็นพอร์ท 1.6 และ พอร์ท 1.5 ตามลำดับ แล้วเช็คปุ่มในลักษณะเดียวกับพอร์ท 1.7 เช่นนี้วนไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพบปุ่มที่ถูกกด เมื่อพบปุ่มที่ถูกกดแล้วก็จะทำการเก็บค่าตัวเลขที่ถูกกดไว้ที่หน่วยความจำ เพื่อจะได้นำไปประมวลผลต่อไป

5.5.2 การ Debounce

ในระหว่างที่ทำการตรวจสอบการถูกกดของแป้นรับข้อมูล อาจจะมีเกิดข้อผิดพลาดเนื่องมาจากเกิด bounce ขึ้น ซึ่งจะแก้ปัญหาโดยเมื่อตรวจสอบพบปุ่มที่ถูกกดแล้วก็จะทำการหน่วงเวลาไว้ชั่วครู่หนึ่ง แล้วทำการเช็คปุ่มที่ถูกกดอีกครั้งหนึ่ง ถ้าหากยังเป็นปุ่มเดิมก็แสดงว่าการตรวจสอบการถูกกดของแป้นรับข้อมูลนั้นถูกต้อง แต่ถ้าไม่ใช่ปุ่มเดิมแสดงว่าเป็นความผิดพลาดเนื่องจาก bounce ขึ้นก็จะให้ทำการตรวจสอบการถูกกดของแป้นรับข้อมูลใหม่

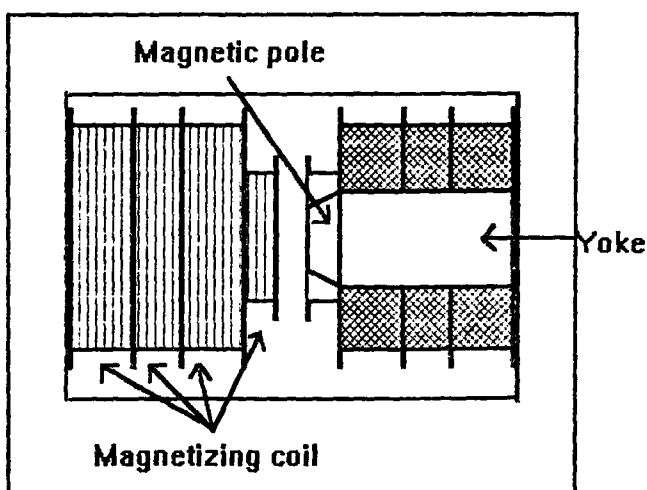


5.5.3 การประมวลผล

เมื่อทราบค่ากระแสที่ต้องการจากการป้อนค่าที่เป็นรับข้อมูลแล้ว ก็จะนำค่านั้นไปเปิดตารางโดยใช้คำสั่ง `movc` แล้วนำค่าจากตารางส่งไปทางพอร์ท A ของไอซี 8255 ซึ่งต่อกับวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก (D/A) ในที่นี่จะใช้ไอซีขนาดบิตเบอร์ 0808 วงจรภายในของไอซีตัวนี้เป็นชนิด R-2R ladder และส่งสัญญาณออกมาในรูปของกระแสโดยส่งออกมาทางขา `!out1` และ `!out2` ผลรวมของ `!out1` และ `!out2` จะต้องมีค่าคงที่ค่าหนึ่งเสมอ ค่ากระแสที่ได้จะผ่านวงจรแปลงค่ากระแสเป็นแรงดัน โดยใช้โอปแอมป์เบอร์ 741 ทำให้เกิดการแปลงค่าแรงดันจากดิจิทัลเป็นอนาลอกโดยมีค่าความละเอียด = 0.0078 โวลท์ จากนั้นจะทำการส่งแรงดันที่ได้ไปยังไอซีเบอร์ 33030 ซึ่งทำหน้าที่ขับมอเตอร์ โดยแรงดันที่ส่งออกมาจะทำการส่งออกมา 2 ชุด ชุดแรกส่งออกมาเพื่อให้มอเตอร์ทำงาน และปรับแรงดันจากนั้นจะทำการหน่วงเวลาไว้เพื่อรอให้มอเตอร์หยุดหมุนเรียบร้อย จากนั้นจึงจะทำการส่งสัญญาณไปที่ `relay` เพื่อทำการตัดการทำงานของมอเตอร์ และส่งสัญญาณให้ IGBT เริ่มทำงาน แล้วจึงส่งแรงดันชุดที่สองออกมา IGBT ก็จะใช้ค่าแรงดันชุดที่สองนี้ในการปรับกระแสให้ได้ตามที่ต้องการ

5.6 เครื่องสร้างสนามแม่เหล็ก (Electromagnet)

โครงสร้างของเครื่องสร้างแม่เหล็กจะเป็นวงจรแบบปิดและมีส่วนประกอบดังที่แสดงในรูป

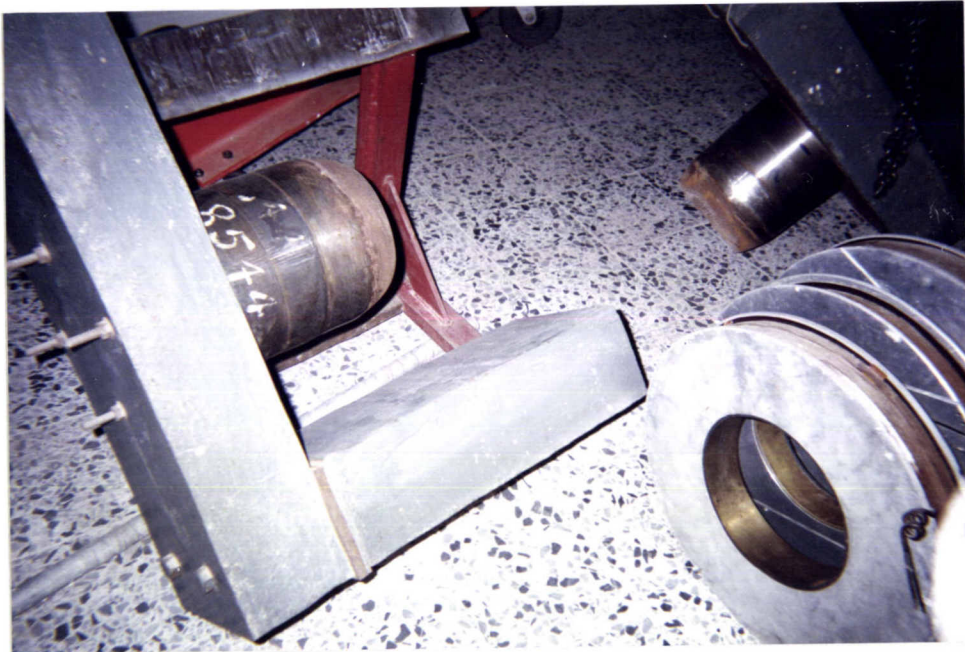


รูปที่ 5.9 โครงสร้างของเครื่องสร้างสนามแม่เหล็ก

5.6.1 ท่อนำระบายความร้อน

จะต่อระหว่างขดลวดแต่ละชุด เพื่อระบายความร้อนที่จะเกิดขึ้นกับขดลวด ในระหว่างการทำงาน และในท่อนำจะต่อ Pressure Switch เพื่อช่วยในการควบคุมความร้อน

5.6.2 ขั้วแม่เหล็ก (Magnetic pole) และ Yokes

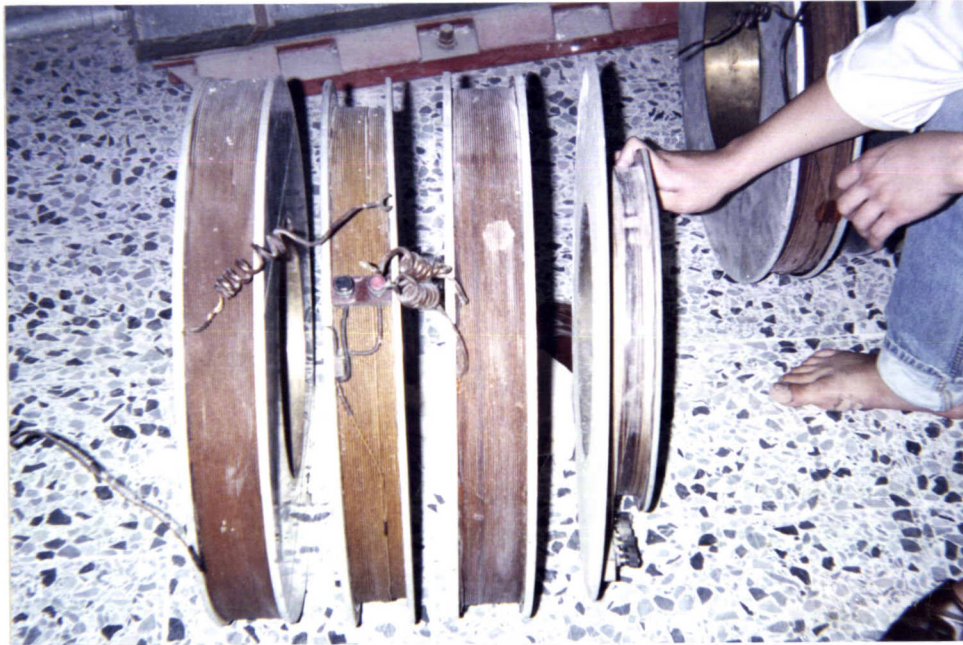


รูปที่ 5.10 แสดงลักษณะของ Yoke

แกนของ Yoke จะมีความยาว 30 ซม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 27 ซม. ส่วนของ Magnetic pole จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 22 ซม.

5.6.3 ขดลวดแม่เหล็ก (Magneticizing Coil)

จะมีอยู่ข้างละ 4 ชุด รวมจำนวนเป็น 8 ชุด โดยจะมีขดลวดอยู่ 3 ชุดต่อขานานกันแล้ว ต่ออนุกรมกับอีก 3 ชุดที่ต่อขานานกันอีกข้าง ซึ่งจะมีความต้านทานโดยรวมประมาณ 9Ω และจะมีชุดขดลวดขนาดเล็กอีก 2 ชุด ทำหน้าที่เป็นขดลวดเอ็กไซท์



รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะของขดลวดแม่เหล็ก

5.7 ส่วนแสดงผล

5.7.1 การแสดงผลของจอผลึกเหลว (LCD)

จอผลึกเหลวที่ใช้ในโครงงานนี้จะเป็นชนิด dot matrix ขนาด 16 ตัวอักษร มี 4 บรรทัด และต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในแบบหน่วยความจำ (memory map) โดยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มองจอผลึกเหลวเสมือนเป็นหน่วยความจำส่วนหนึ่ง ในการใช้งานได้นำจอผลึกเหลว ต่อลงบนบอร์ด SB-31 ที่บอร์ดนี้ได้มีการถอดรหัสคำสั่งต่างๆ ไว้ที่ตำแหน่งหน่วยความจำต่างๆ กัน ดังนี้

- Write instruction ใช้สำหรับการเขียนคำสั่งต่างๆ เช่น ลบหน้าจอ, เซตเคอร์เซอร์ จะมีตำแหน่งหน่วยความจำที่ 0E0C0H ซึ่งค่านี้จะทำให้ขาสัญญาณ RS และ R/W เป็น 0 ทั้งคู่
- Read busy flag ใช้สำหรับการเช็คว่าได้ทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะมีตำแหน่งหน่วยความจำที่ 0E0C1H ที่ค่านี้จะทำให้ขาสัญญาณ RS เป็น 0 R/W เป็น 1
- Write data ใช้สำหรับการเขียนข้อมูล มีตำแหน่งหน่วยความจำที่ 0E0C2H ซึ่งค่านี้จะทำให้ขาสัญญาณ RS เป็น 1 R/W เป็น 0
- Read data ใช้สำหรับการอ่านข้อมูล ที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์อยู่ มีตำแหน่งหน่วยความจำที่ 0E0C3H ซึ่งค่านี้จะทำให้ขาสัญญาณ RS และ R/W เป็น 1 ทั้งคู่

การส่งตัวอักษรออกทางจอผลึกเหลวนั้นเราจะต้องการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นเสียก่อน สำหรับข้อความที่จะส่งจะต้องทำการแยกตัวอักษร และส่งออกมาทีละตัว ซึ่งก็จะส่งออกมาที่ตำแหน่งถัดกันไปตามลำดับ โดยไม่จำเป็นต้องระบุตำแหน่งใหม่

5.7.2 การแสดงผลแรงดันและกระแส

จะแบ่งการทำงานเป็นดังนี้

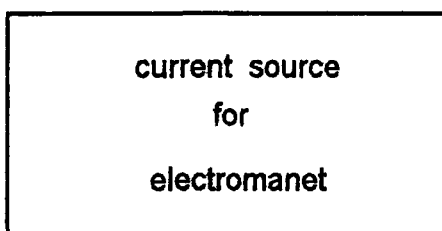
1. ส่วนแสดงผลของแรงดัน จะนำค่าแรงดันเพียง 1 โวลต์ แล้วแบ่งแรงดันเข้ามา ที่ไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D) เพียง 0.0195 โวลต์ ไอซีที่ใช้คือเบอร์ 0808 เป็นไอซีขนาด 8 บิต โดยมี multiplexer สามารถเลือกช่องสัญญาณอินพุตได้ 8 ช่อง ใช้ $V_{ref(+)} = 5$ โวลต์ และ $V_{ref(-)} = 0$ โวลต์ ทำหน้าที่แปลงค่าแรงดันจากอนาลอกให้เป็นดิจิตอล ส่งเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการเปลี่ยนค่าแรงดันที่ได้จากเลขฐาน 16 ให้เป็นเลขฐาน 10 แล้วส่งค่าตัวเลขออกทางจอผลึกเหลว เพื่อแสดงค่าแรงดัน โดยแสดงค่าได้ตั้งแต่ 1-255 โวลต์
2. ส่วนแสดงผลของกระแส จะนำค่าโวลต์แรง feedback มาขยายสัญญาณ จากนั้นก็ส่งเข้าไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลตัวเดิม ซึ่งจะได้ค่าดิจิตอลส่งไปยังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแสดงค่าออกทางจอผลึกเหลว โดยจะสามารถแสดงค่าได้ตั้งแต่ 0.0 - 20.0 แอมป์แปร์

5.7.3 เกาส์มิเตอร์

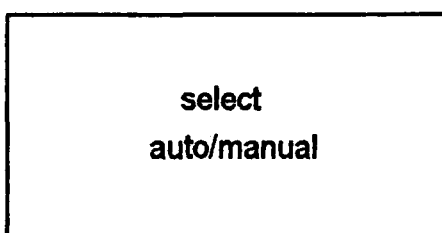
จะเป็นเครื่องมือวัดของ Yokogawa

5.8 การทำงานเมื่อเปิดเครื่อง

เมื่อเริ่มเปิดเครื่องหน้าจจะเป็นดังรูป



หลังจากนั้น 4 วินาที ข้อความบนจอจะบอกให้เลือกโหมดการทำงาน ซึ่งมี 2 โหมด คือ โหมดอัตโนมัติ (auto) และ โหมด manual



หลังจากนั้น 5 วินาที โปรแกรมจะทำการเช็คปั๊ม auto/manual ซึ่งถ้าเลือกการทำงานในโหมด manual หน้าจอก็จะแสดงค่าแรงดัน และกระแสที่วัดได้จากเครื่อง

<p>voltage = V.</p> <p>current = A.</p>

แต่ถ้าเลือกการทำงานในโหมด อัตโนมัติ (auto) ซึ่งจะสามารถเลือกได้ตลอดเวลา แม้ในขณะที่เครื่องทำงานในโหมด manual อยู่ก็จะเข้าสู่การทำงานในโหมด อัตโนมัติ (auto) ได้ทันที ซึ่งหน้าจอก็จะแสดงข้อความดังนี้

<p>input current</p> <p>= ampere</p>

การป้อนค่ากระแส ผู้ใช้งานสามารถป้อนได้ตั้งแต่ 1 - 20 แอมป์แปร์ ถ้ามีการป้อนค่ากระแสที่มากกว่านี้ เครื่องจะไม่ทำงานคือถือเสมือนว่า ปั๊มนั้นไม่ถูกกด เมื่อป้อนค่ากระแสเสร็จแล้ว ก็ให้กดปุ่มทำงาน (enter) แต่ถ้าต้องการเปลี่ยนค่ากระแสใหม่สามารถกดปุ่มลบตัวเลข ซึ่งจะลบตัวเลขได้ที่ละตัว เมื่อกดปุ่มทำงาน (enter) เครื่องจะทำการจ่ายกระแสให้ตามค่าที่ป้อนและหน้าจอผลึกเหลวจะแสดงค่าแรงดันและกระแสที่เครื่องจ่ายให้ดังรูป

<p>input current</p> <p>= ampere</p> <p>voltage = V.</p> <p>current = A.</p>

ขณะที่เครื่องทำงานในโหมด อัตโนมัติ ผู้ใช้งานก็สามารถเปลี่ยนการทำงานเข้าสู่โหมด manual ได้ทันทีเช่นเดียวกัน

บทที่ 6

การทดสอบการทำงานของเครื่องจ่ายกระแส และชุดอิเล็กทรอนิกส์แมกเน็ต

6.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องจ่ายกระแส

เนื่องจากจุดประสงค์ของโครงการพิเศษนี้ ต้องการเครื่องจ่ายกระแสที่มีความเสถียรประมาณ 1% ซึ่งผลของการทดสอบโดยทำการจ่ายกระแสให้กับโหลด ผลที่ได้ทั้งหมดจะเป็นดังต่อไปนี้

ผลที่ต้องการ

- 1 ความเสถียรของกระแสที่จ่ายออกมา
- 2 การทำงานของเครื่องโดยรวมของเครื่องจ่ายกระแส

แผนงานในการทดสอบ

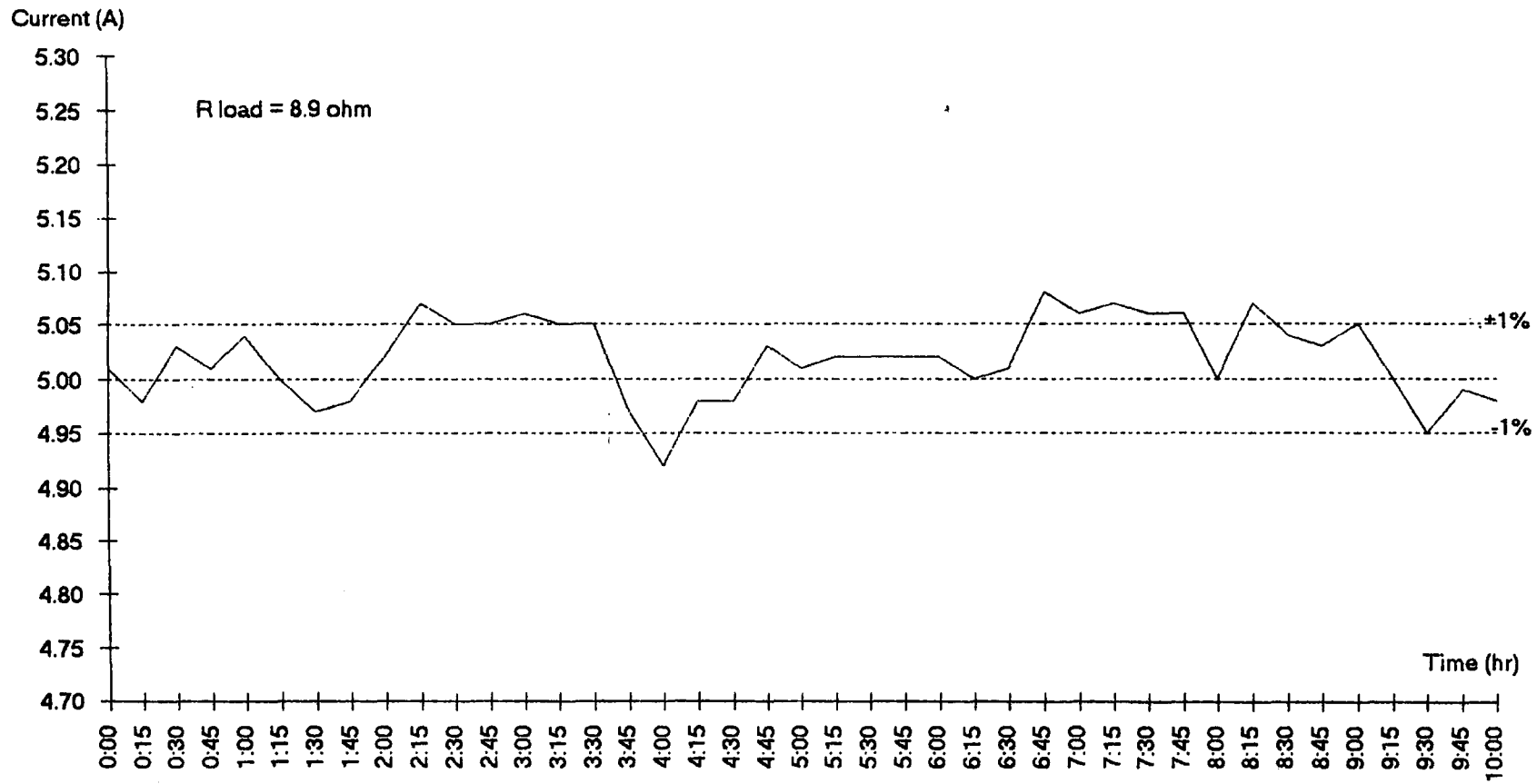
- 1 ทดสอบการจ่ายกระแสที่ 5, 10, 15 และ 20 A
- 2 วัดค่าแรงดันไฟฟ้าของเครื่อง
- 3 การทดลองทั้งหมดจะใช้เวลาในการเก็บผลต่อเนื่อง 10 ชั่วโมง

ในระยะเวลา 10 ชม. เป็นระยะเวลาที่นานพอที่จะสังเกตความเสถียรของการจ่ายกระแสได้ ในส่วนของการใช้งาน เวลา 10 ชม. ถือว่าเพียงพอในการใช้งาน

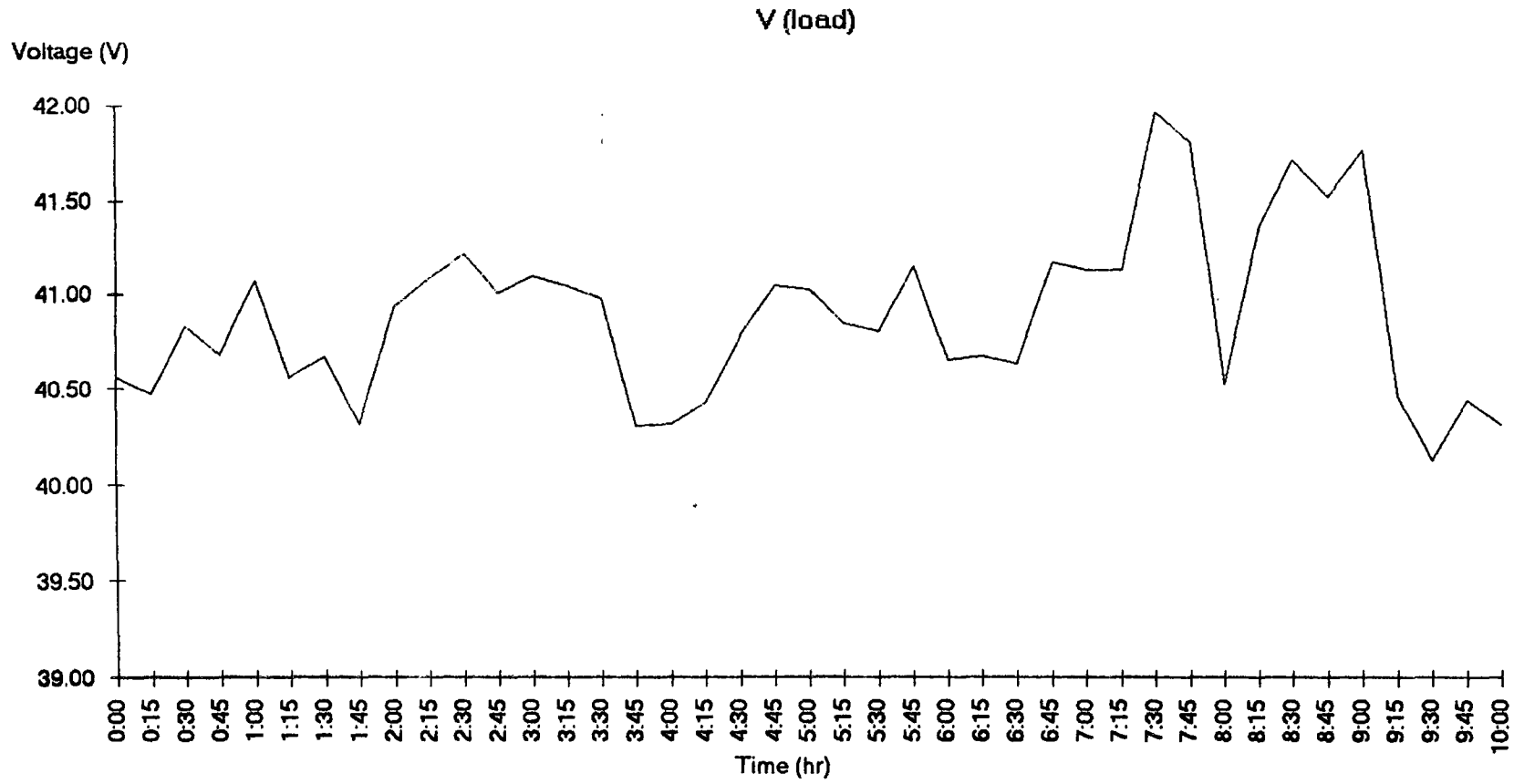
- 4 นำค่าที่ได้มาพลอตกราฟ เพื่อสรุปผล

สรุปผลการทดสอบ

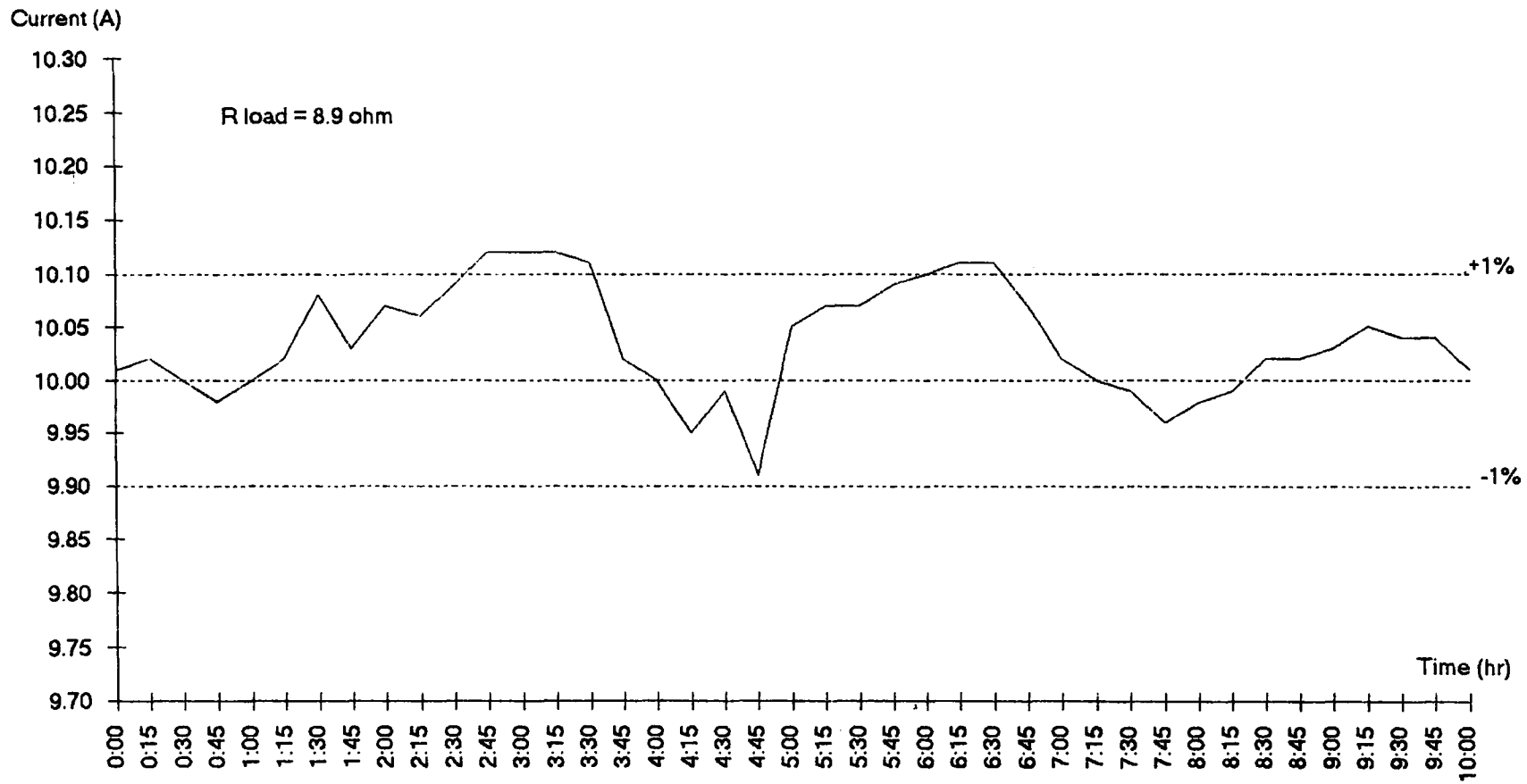
ผลที่ได้จากการทดลองที่ค่ากระแสต่างๆ พบว่ายังมีความไม่เสถียร คือมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสเกิน 1% จากที่ตั้งเป้าหมายไว้ในบางช่วงของเวลาที่ทำการทดสอบ และในการทดลองกระแสที่ 20 แอมป์ ไม่สามารถทดลองจนครบ 10 ชม. เนื่องจากเกิดความร้อนขึ้นมากในตัวไอจีบีที



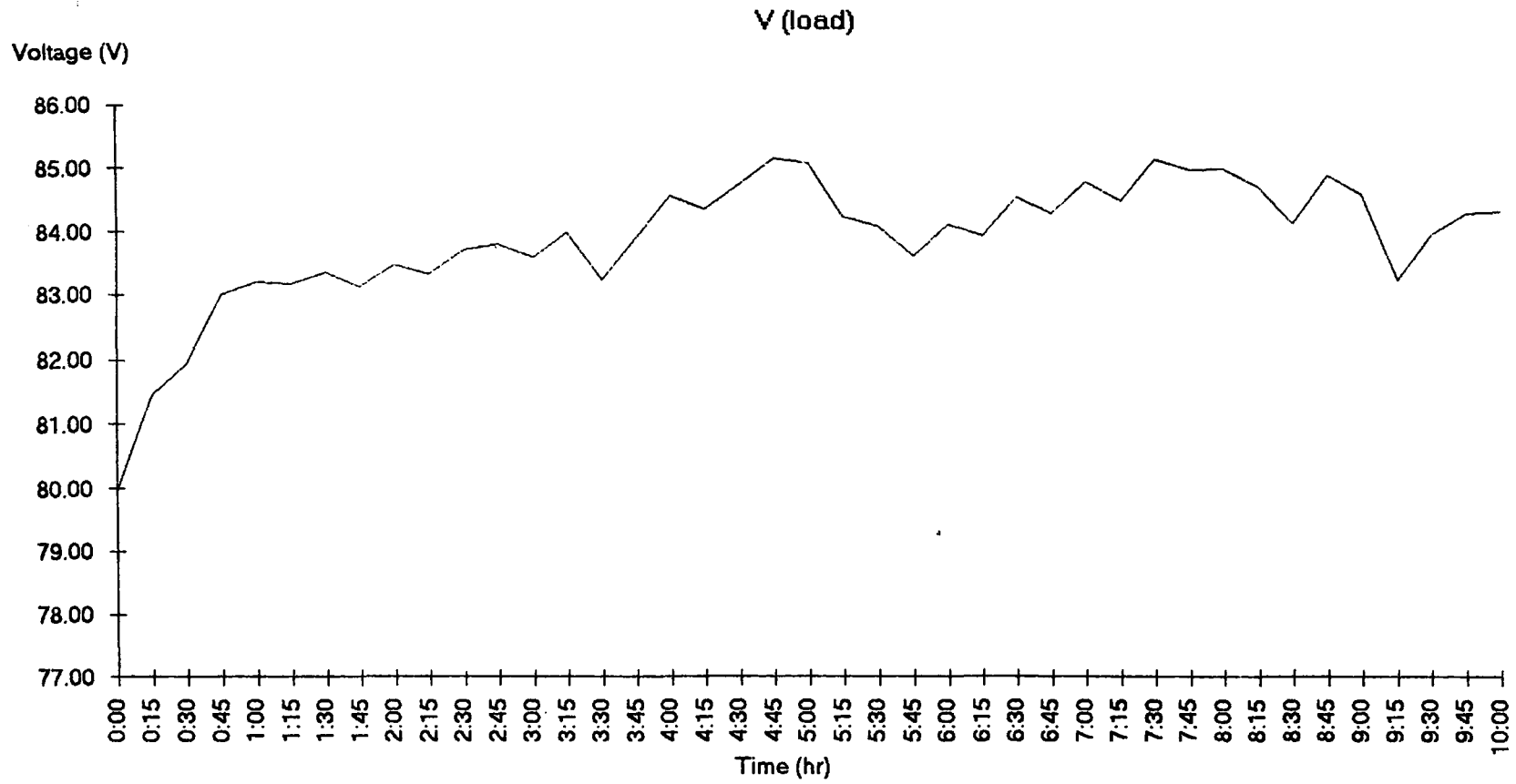
ผลการทดสอบการจ่ายกระแส 5 A เป็นเวลา 10 ชม.



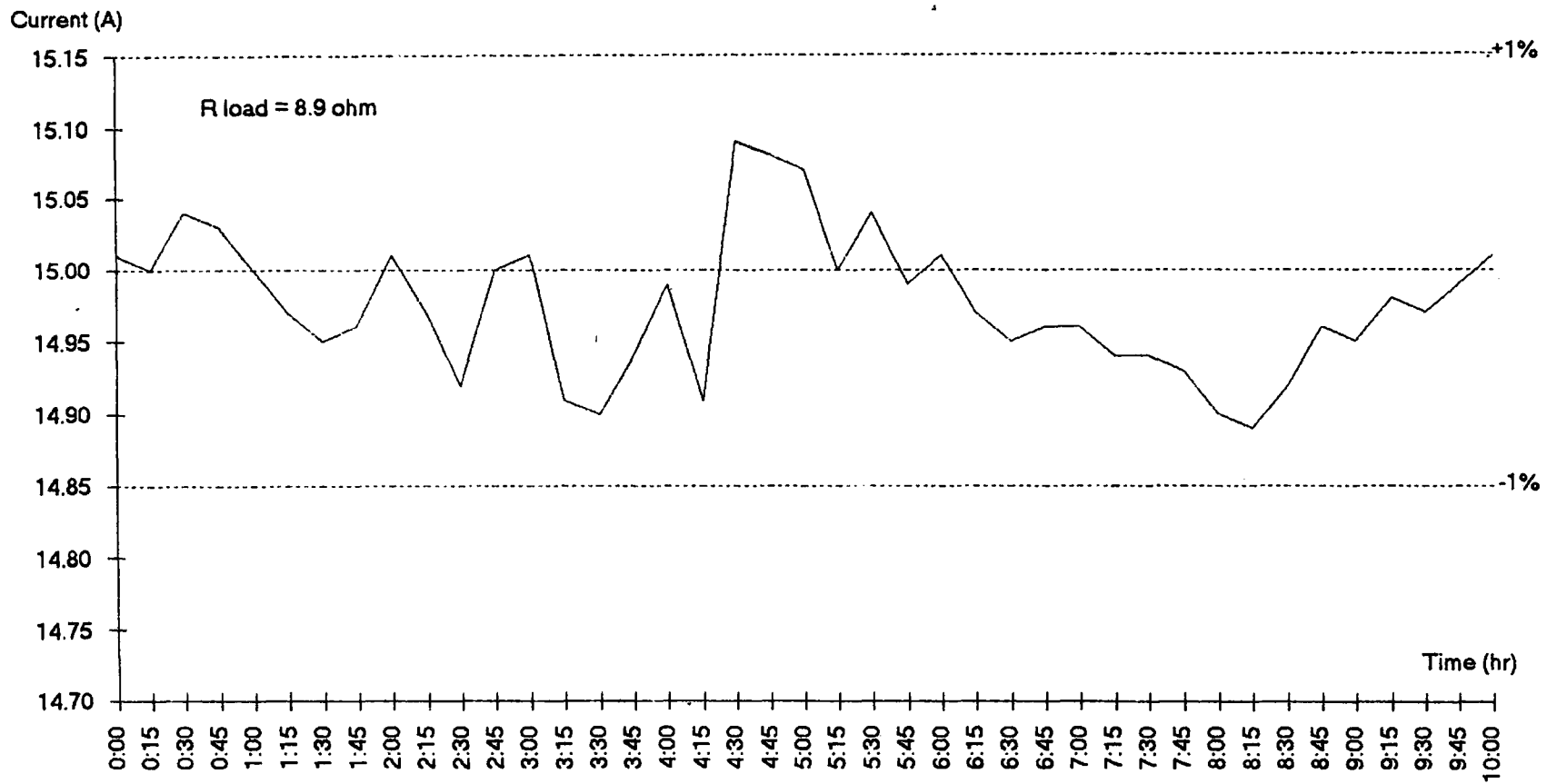
ค่าของแรงดันเมื่อจ่ายกระแส 5A



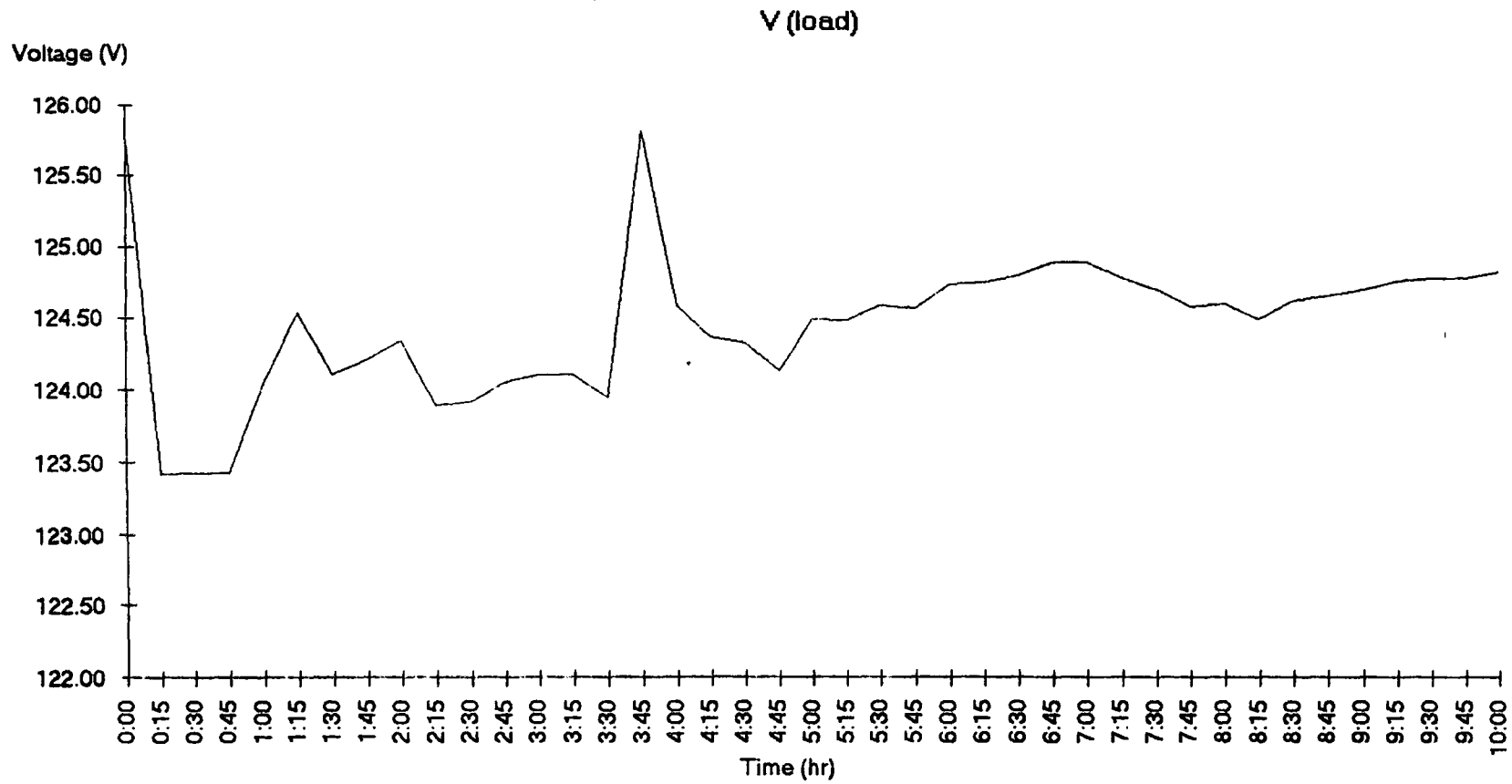
ผลการทดสอบการจ่ายกระแส 10 A เป็นเวลา 10 ชม.



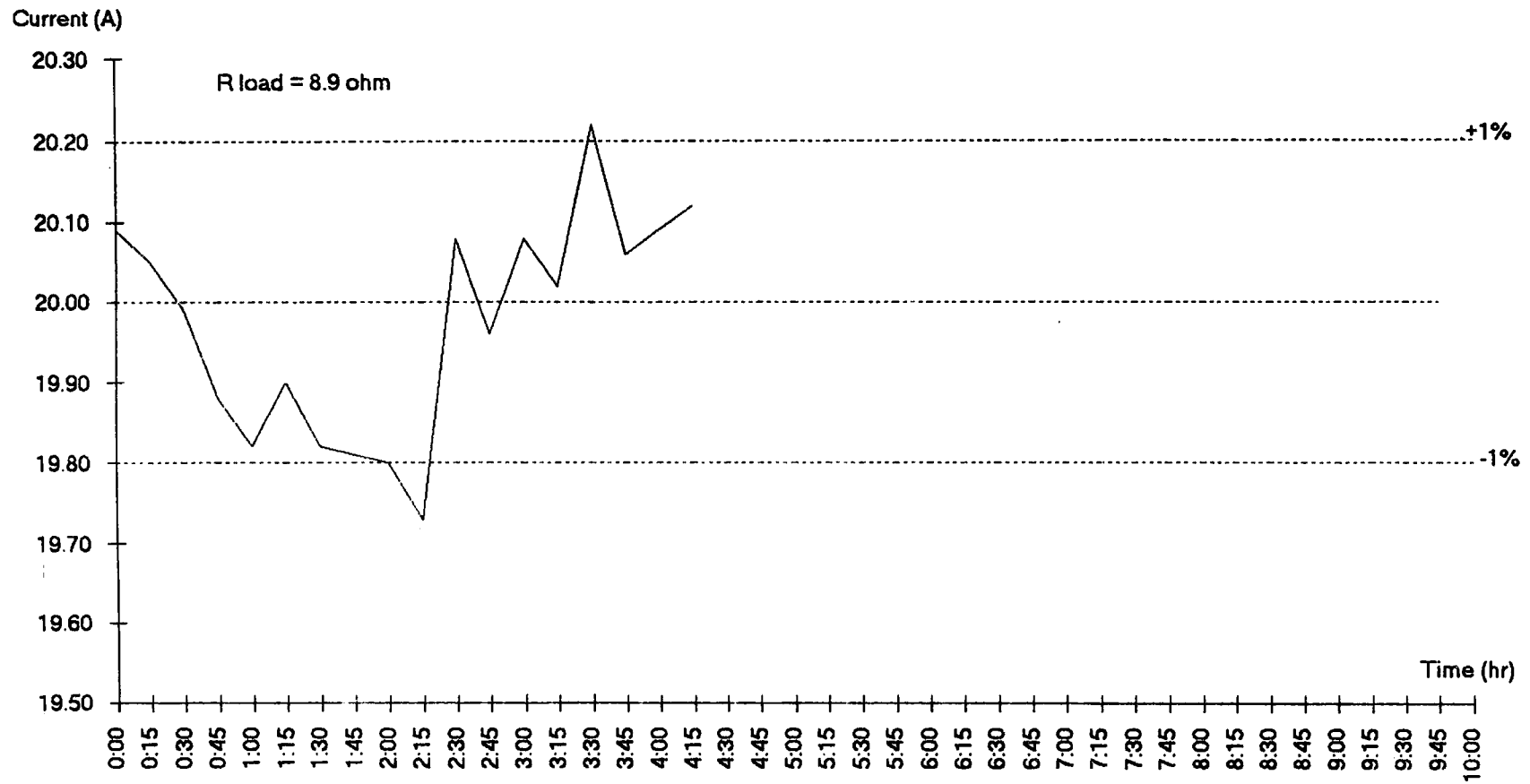
ค่าของแรงดันเมื่อจ่ายกระแส 10A



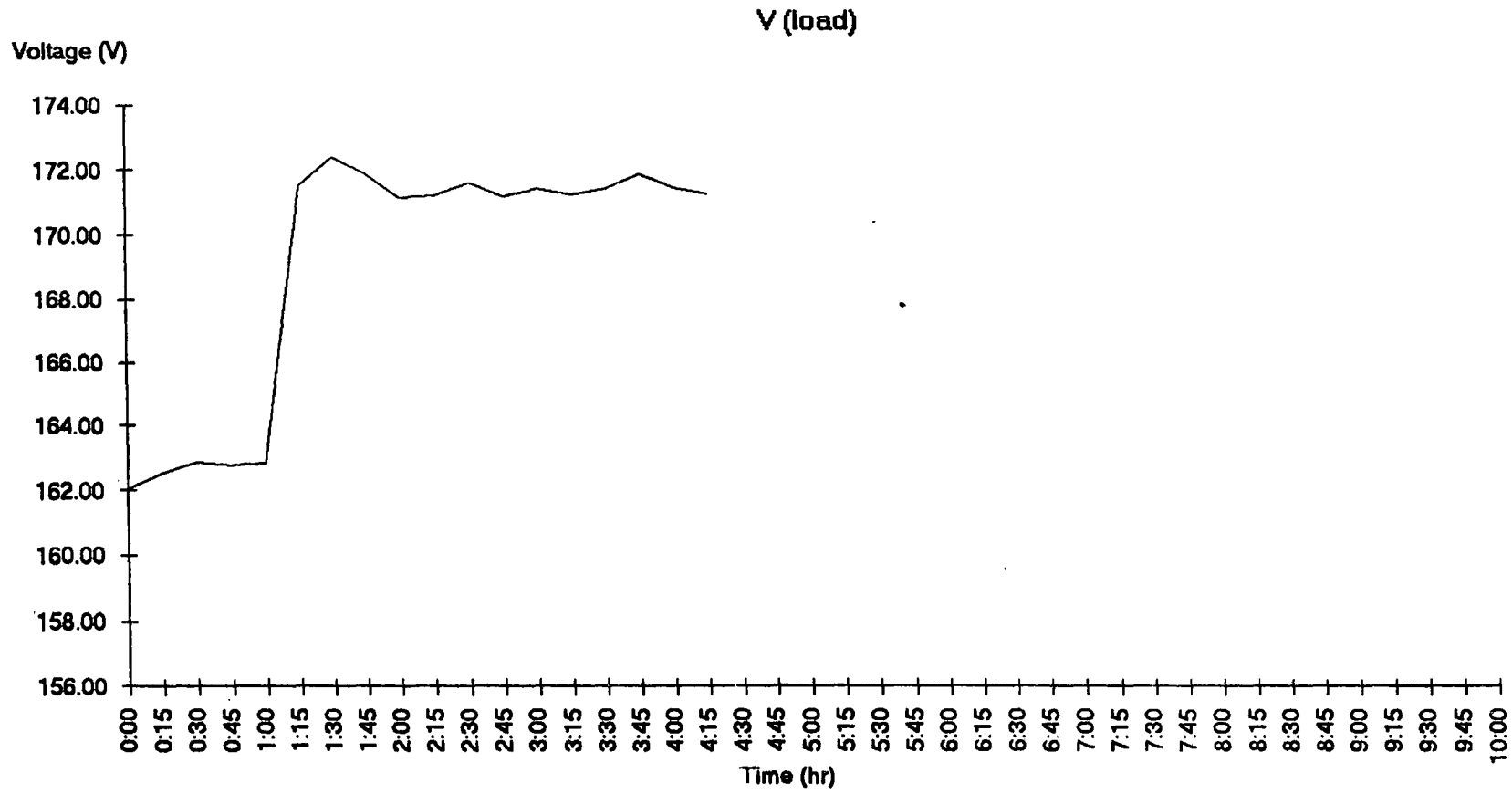
ผลการทดสอบการจ่ายกระแส 15 A เป็นเวลา 10 ชม.



ค่าของแรงดันเมื่อจ่ายกระแส 15 A



ผลการทดสอบการจ่ายกระแส 20 A เป็นเวลา 10 ชม.



ค่าของแรงดันเมื่อจ่ายกระแส 20 A

6.2 การทดสอบไอจีบีที (ครั้งที่ 1)

จากการทดสอบการจ่ายกระแสของเครื่องจ่ายกระแสในช่วงแรกโดยใช้ไอจีบีทีต่อขนานกัน พบว่าเมื่อทำการทดลองไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง กระแสจะไหลผ่านไอจีบีทีเพียงตัวเดียว ทำให้ไอจีบีทีตัวนั้นเสียหายจนใช้งานไม่ได้

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้ตั้งสมมุติฐานว่าเกิดจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนไอจีบีทีหรือเกิดจากความต้านทานของไอจีบีทีที่ต่างกัน ทำให้มีผลต่อการไหลของกระแส

ผลที่ต้องการ

1. หาค่าของกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียที่เกิดขึ้นในไอจีบีทีแต่ละตัว
2. ค่าของอุณหภูมิ
3. ค่าความต้านทานของไอจีบีทีแต่ละตัวขณะนำกระแส
4. ผลของความต้านทานที่มีต่อการไหลของกระแส

แผนงานในการทดสอบ

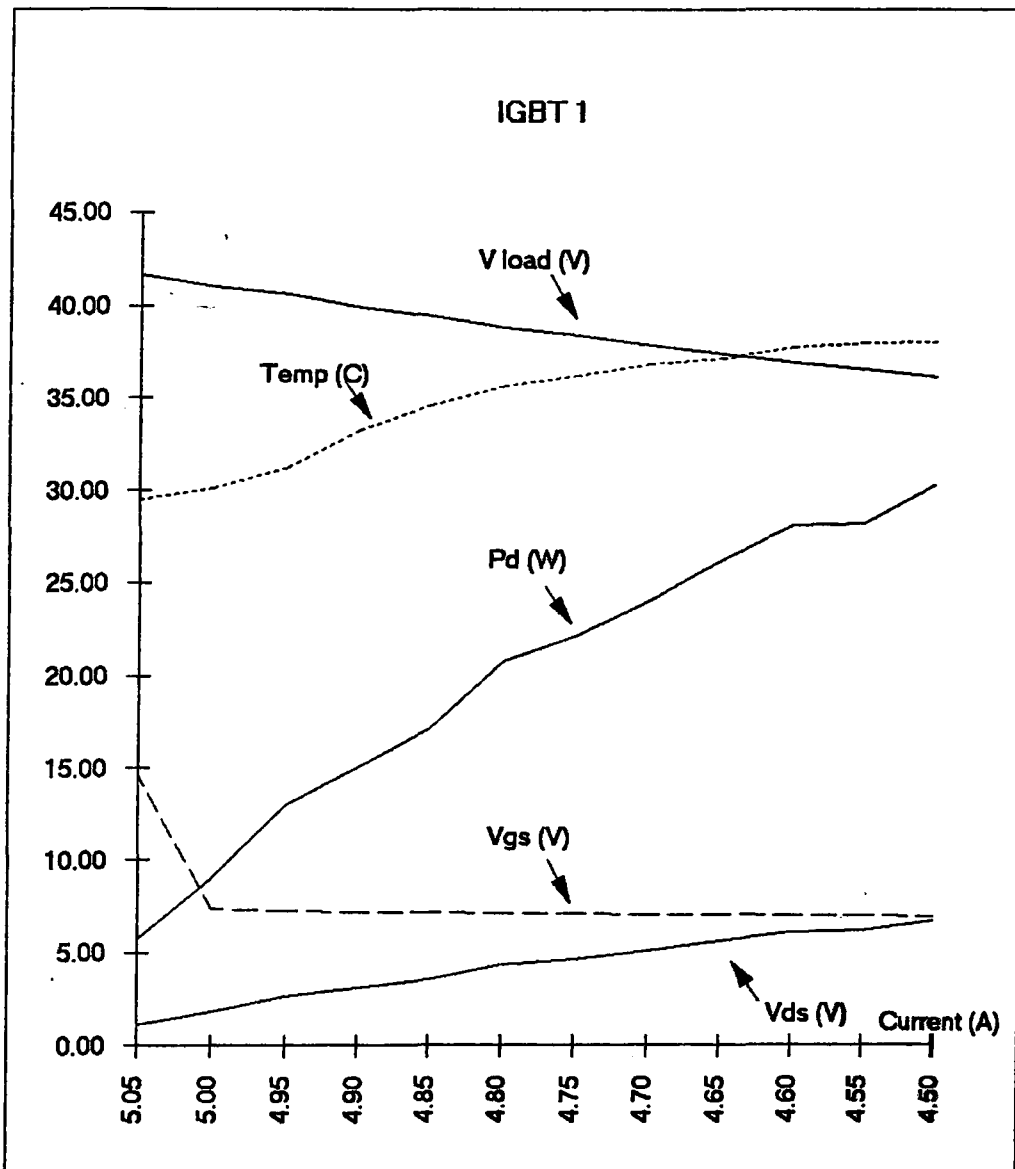
1. ทดลองจ่ายกระแสผ่านไอจีบีที แต่ละตัวที่ 5 A โดยที่ให้แรงดันที่จ่ายคงที่
2. ปรับกระแสที่ไหลผ่านไอจีบีที ให้ลดลงทีละ 0.05 A จนถึง 4.5 A
3. วัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนไอจีบีที
4. คำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นบนไอจีบีที

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบทั้งหมดใช้เวลาในการลดกระแสประมาณ 5 นาที ผลเราที่ได้ พบว่าอุณหภูมิของไอจีบีทีจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ประมาณ $2^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$ และมีอัตราที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ รวมทั้งอัตราการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าสูงถึง 25 W เมื่อกระแสเปลี่ยนแปลงไป 0.5 A สำหรับความต้านทานของไอจีบีทีแต่ละตัวมีค่าไม่ต่างกันมากนัก จึงไม่มีผลต่อกระแสที่ไหลผ่าน

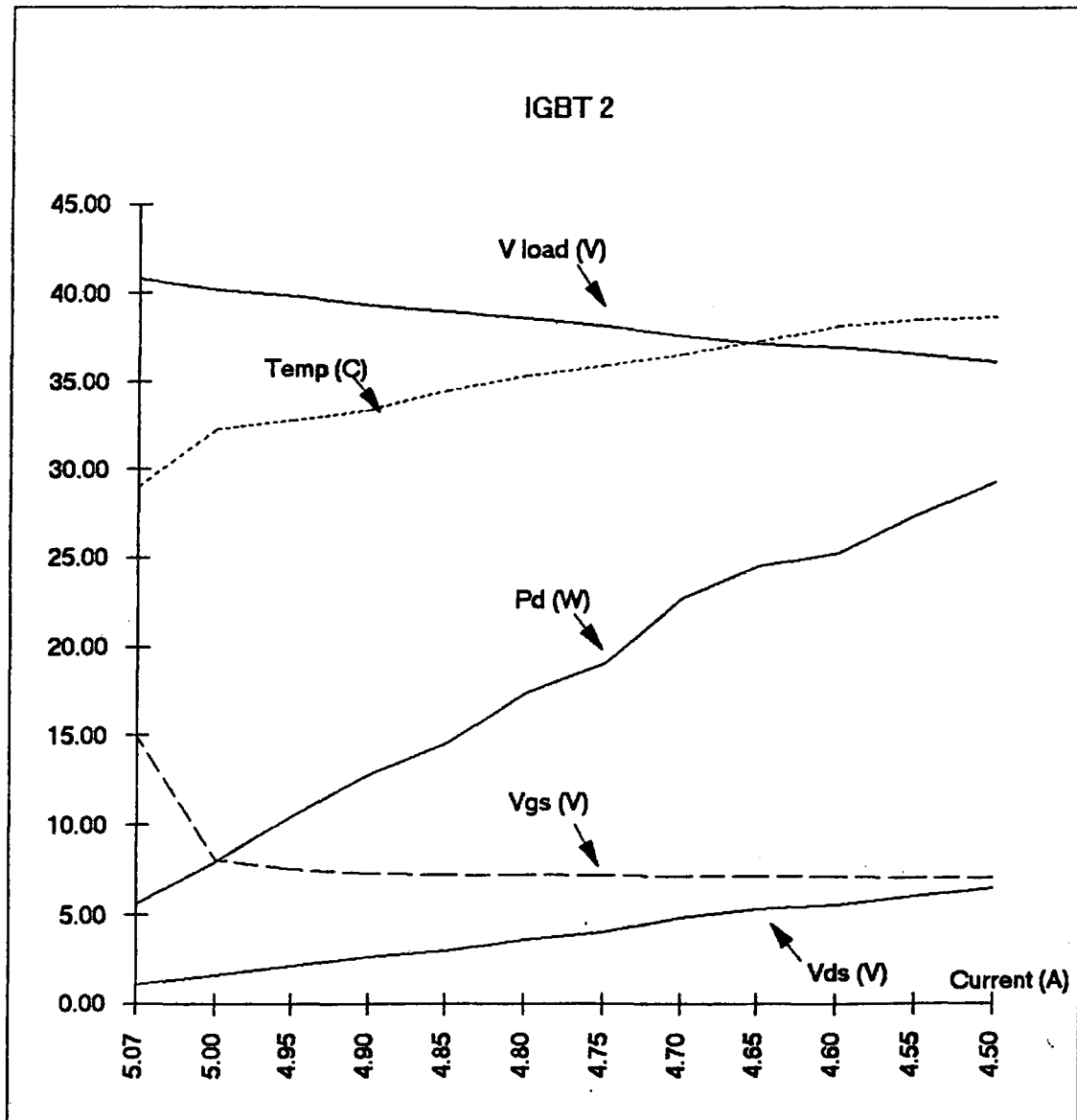
และจากผลที่ได้นี้พอจะสรุปได้ว่า อุณหภูมิ ที่เกิดขึ้นมีผลทำให้ไอจีบีทีเกิดความเสียหายได้

IGBT 1					
I _{ds}	V _{ds}	P _d	V _{gs}	V _{load}	T (C)
5.05	1.14	5.76	14.57	41.63	29.50
5.00	1.81	9.05	7.34	41.05	30.10
4.95	2.63	13.02	7.22	40.63	31.20
4.90	3.08	15.09	7.19	39.94	33.30
4.85	3.55	17.22	7.18	39.48	34.60
4.80	4.33	20.78	7.14	38.82	35.70
4.75	4.67	22.18	7.12	38.43	36.30
4.70	5.12	24.06	7.07	37.93	36.90
4.65	5.65	26.27	7.05	37.47	37.20
4.60	6.11	28.11	7.02	37.01	37.80
4.55	6.20	28.21	6.99	36.63	38.00
4.50	6.74	30.33	6.95	36.22	38.10



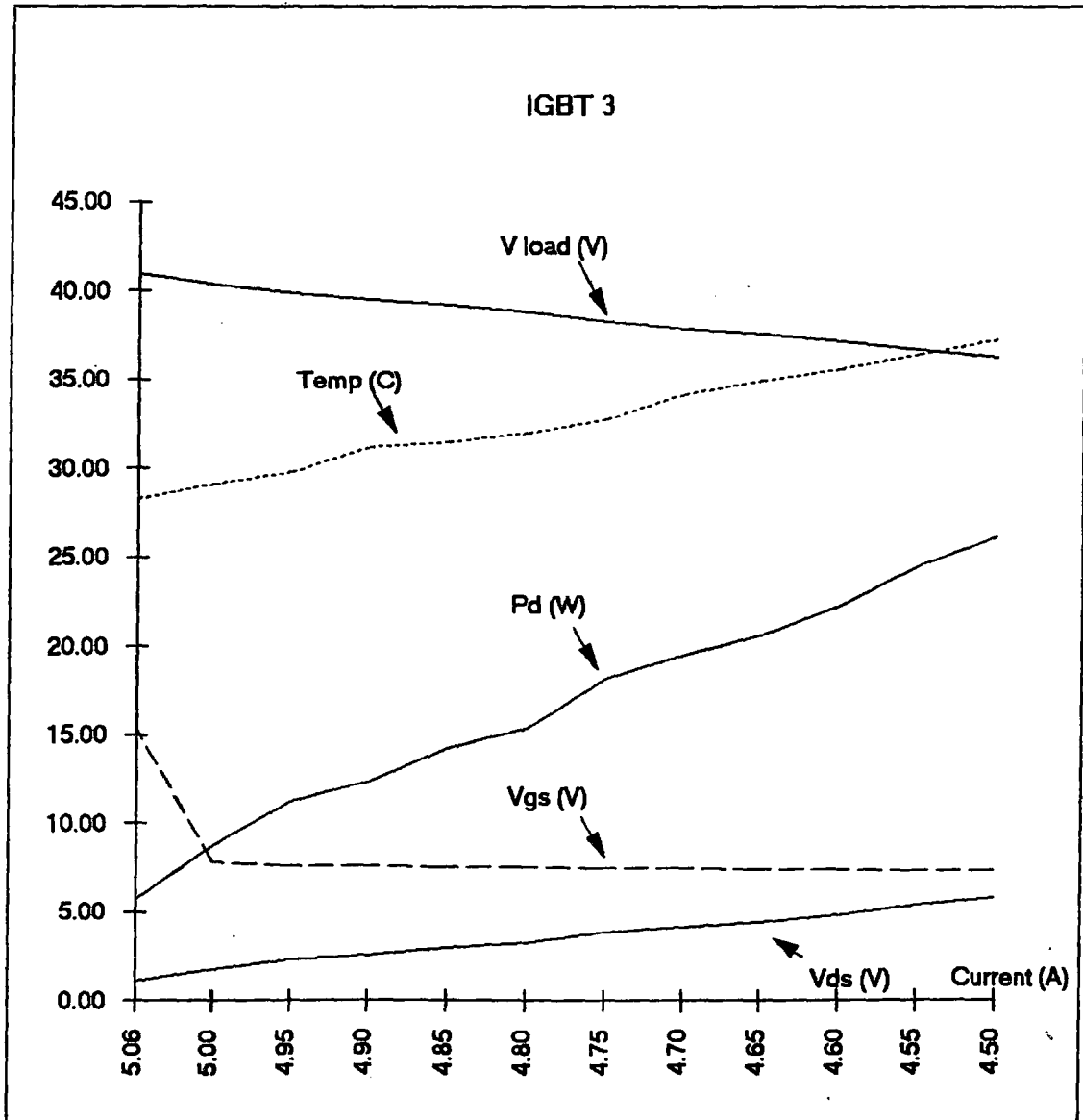
ผลการทดสอบ ไอจีบีทีตัวที่ 1

IGBT 2					
I_{ds}	V_{ds}	P_d	V_{gs}	V_{load}	T (C)
5.07	1.10	5.58	14.92	40.83	29.00
5.00	1.59	7.95	8.07	40.21	32.30
4.95	2.12	10.49	7.55	39.83	32.80
4.90	2.62	12.84	7.31	39.36	33.40
4.85	3.00	14.55	7.27	38.96	34.50
4.80	3.64	17.47	7.23	38.62	35.40
4.75	4.03	19.14	7.20	38.21	36.00
4.70	4.85	22.80	7.16	37.62	36.60
4.65	5.27	24.51	7.14	37.14	37.30
4.60	5.50	25.30	7.12	37.00	38.20
4.55	6.03	27.44	7.10	36.56	38.50
4.50	6.51	29.30	7.07	36.18	38.70



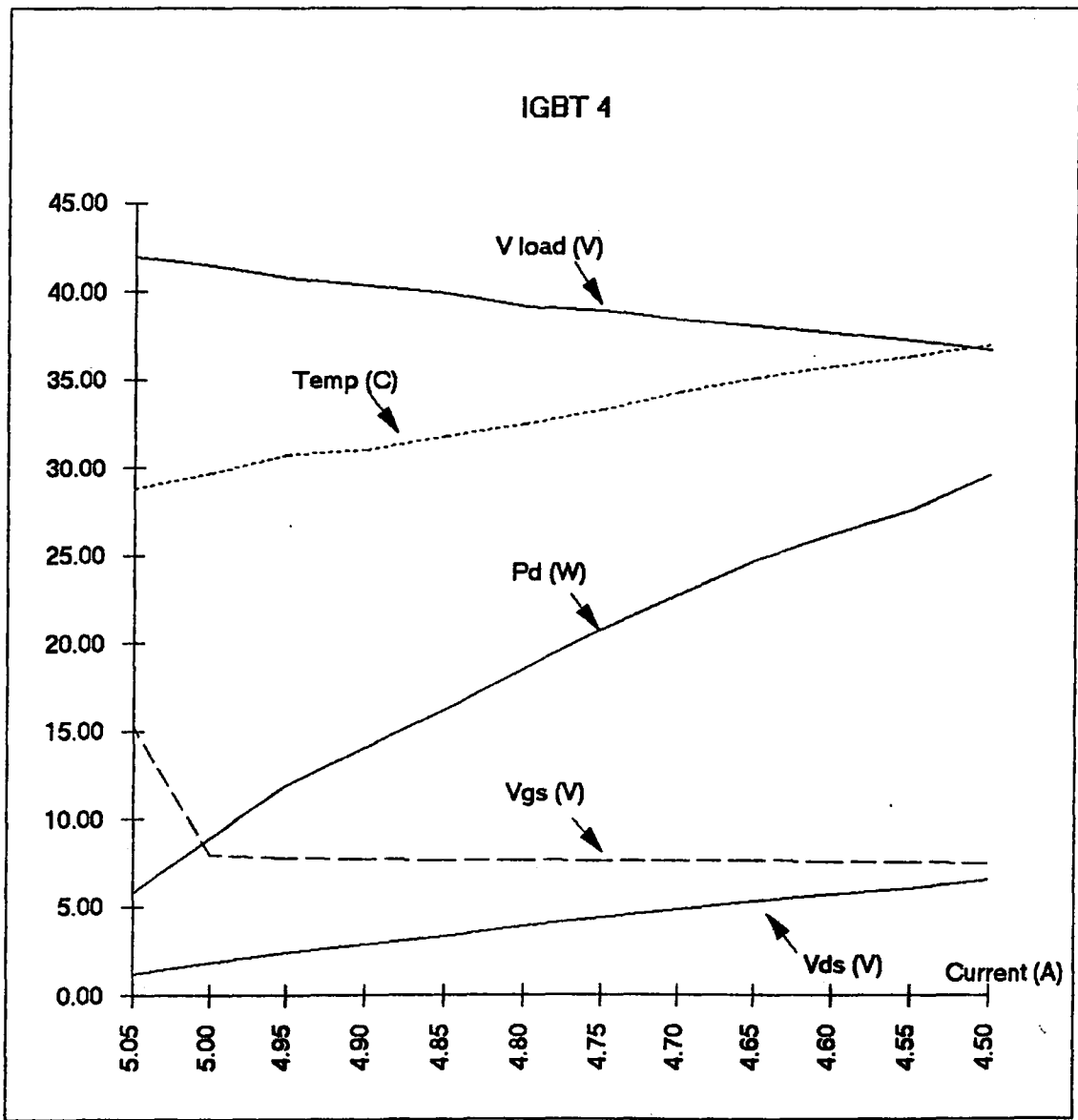
ผลการทดสอบ ไอจีบีทีตัวที่ 2

IGBT 3					
I_{ds}	V_{ds}	P_d	V_{gs}	V_{load}	T (C)
5.06	1.13	5.72	15.27	40.93	28.30
5.00	1.75	8.75	7.80	40.33	29.10
4.95	2.27	11.24	7.59	39.84	29.80
4.90	2.52	12.35	7.57	39.52	31.20
4.85	2.94	14.26	7.55	39.19	31.50
4.80	3.20	15.36	7.53	38.81	32.00
4.75	3.83	18.19	7.48	38.27	32.80
4.70	4.15	19.51	7.46	37.90	34.20
4.65	4.43	20.60	7.45	37.61	35.00
4.60	4.84	22.26	7.42	37.17	35.70
4.55	5.39	24.52	7.38	36.73	36.50
4.50	5.83	26.24	7.35	36.35	37.30



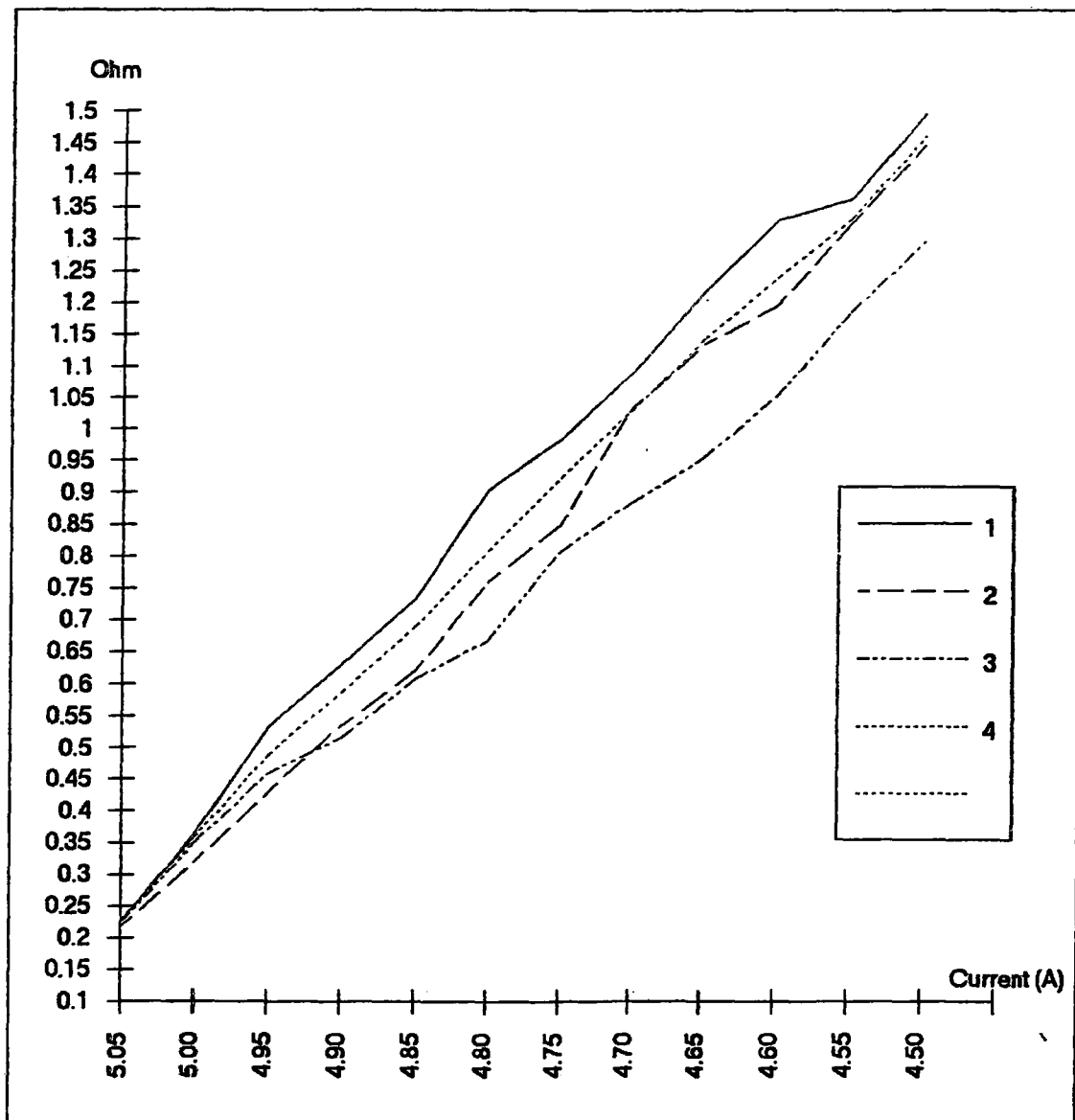
ผลการทดสอบ ไอจีบีทีตัวที่ 3

IGBT 4					
I_{ds}	V_{ds}	P_d	V_{gs}	V load	T (C)
5.05	1.15	5.81	15.20	41.95	28.80
5.00	1.79	8.95	7.93	41.40	29.70
4.95	2.41	11.93	7.75	40.72	30.70
4.90	2.87	14.06	7.72	40.32	31.00
4.85	3.34	16.20	7.68	39.90	31.80
4.80	3.87	18.58	7.65	39.17	32.50
4.75	4.38	20.81	7.62	38.91	33.30
4.70	4.84	22.75	7.59	38.42	34.30
4.65	5.31	24.69	7.57	38.04	35.10
4.60	5.70	26.22	7.55	37.68	35.80
4.55	6.06	27.57	7.52	37.28	36.40
4.50	6.58	29.61	7.49	36.72	37.00



ผลการทดสอบ ไอจีบีทีตัวที่ 4

Ids	1	2	3	4
5.05	0.2257	0.217	0.2233	0.2277
5.00	0.362	0.318	0.35	0.358
4.95	0.5313	0.4283	0.4586	0.4869
4.90	0.6286	0.5347	0.5143	0.5857
4.85	0.732	0.6186	0.6062	0.6887
4.80	0.9021	0.7583	0.6667	0.8063
4.75	0.9832	0.8484	0.8063	0.9211
4.70	1.0894	1.0319	0.883	1.0298
4.65	1.2151	1.1333	0.9527	1.1419
4.60	1.3283	1.1957	1.0522	1.2391
4.55	1.3626	1.3253	1.1846	1.3319
4.50	1.4978	1.4467	1.2956	1.4622
AVR	0.904842	0.82135	0.749458	0.856608



ค่าความต้านทานของไอจีบีทีแต่ละตัวที่เปลี่ยนแปลง เมื่อปรับกระแสลดลง

6.2 การทดสอบไอจีบีที (ครั้งที่ 2)

เพื่อต้องการทราบกำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงสุดของไอจีบีทีเมื่อปรับกระแสลดลง เพื่อเลือกจำนวนไอจีบีทีที่จะนำมาต่อขนานกัน และนำผลที่ได้มาปรับปรุงเครื่องจ่ายกระแส

ผลที่ต้องการ

1. หาค่าของกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียที่เกิดขึ้นในไอจีบีทีแต่ละตัว

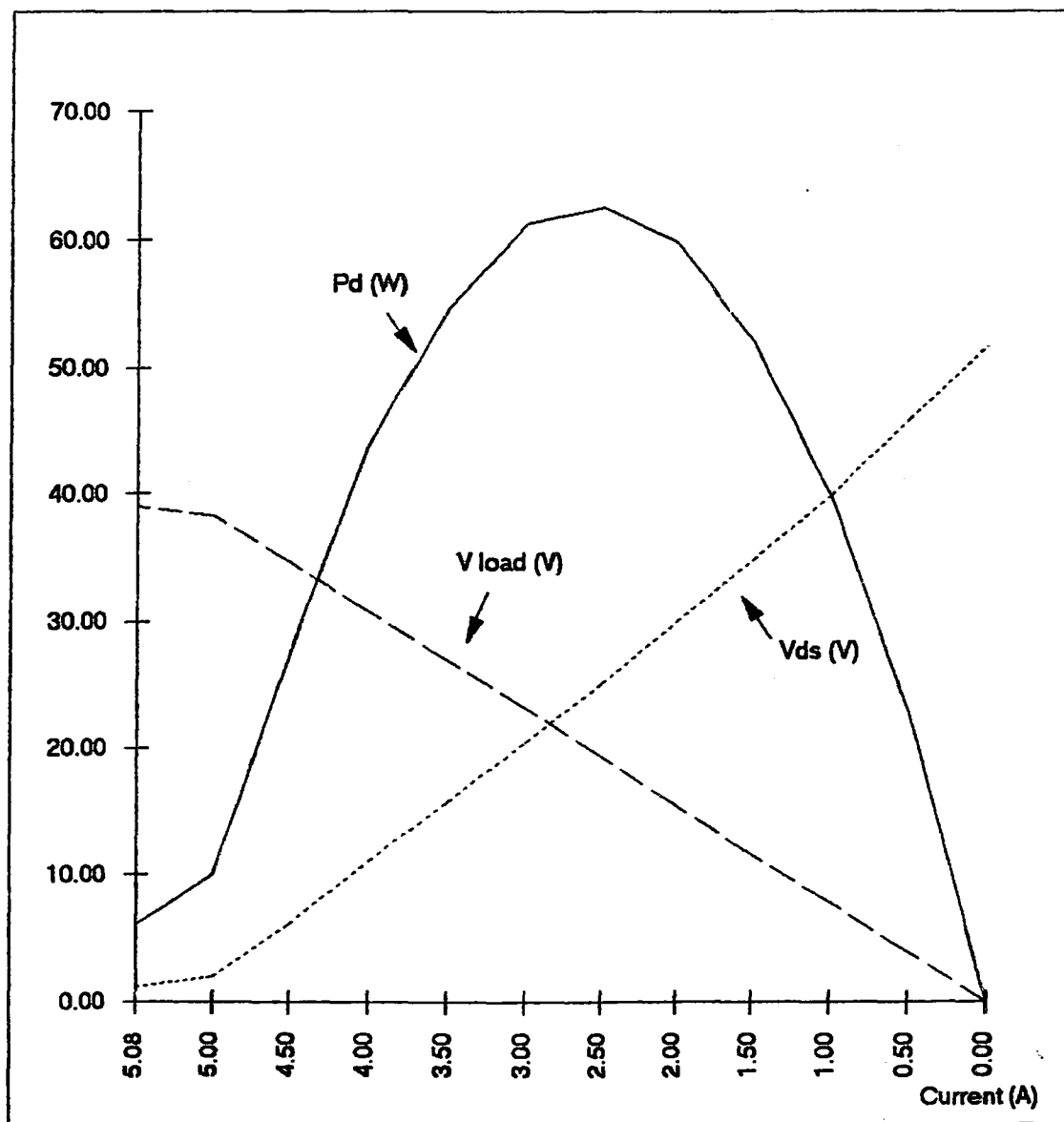
แผนงานในการทดสอบ

1. ทดลองจ่ายกระแสผ่านไอจีบีที แต่ละตัวที่ 5 A (สมมุติกรณีที่จ่ายกระแส 20 A ให้ไอจีบีทีที่ต่อขนานกัน 4 ตัว) โดยที่ให้แรงดันที่จ่ายคงที่
2. ทดลองจ่ายกระแสผ่านไอจีบีที แต่ละตัวที่ 10A (สมมุติกรณีที่จ่ายกระแส 20 A ให้ไอจีบีทีที่ต่อขนานกัน 2 ตัว) โดยที่ให้แรงดันที่จ่ายคงที่
3. ปรับกระแสที่ไหลผ่านไอจีบีที ให้ลดลงทีละ 0.5 A จนถึง 0 A
4. คำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นบนไอจีบีที

สรุปผลการทดสอบ

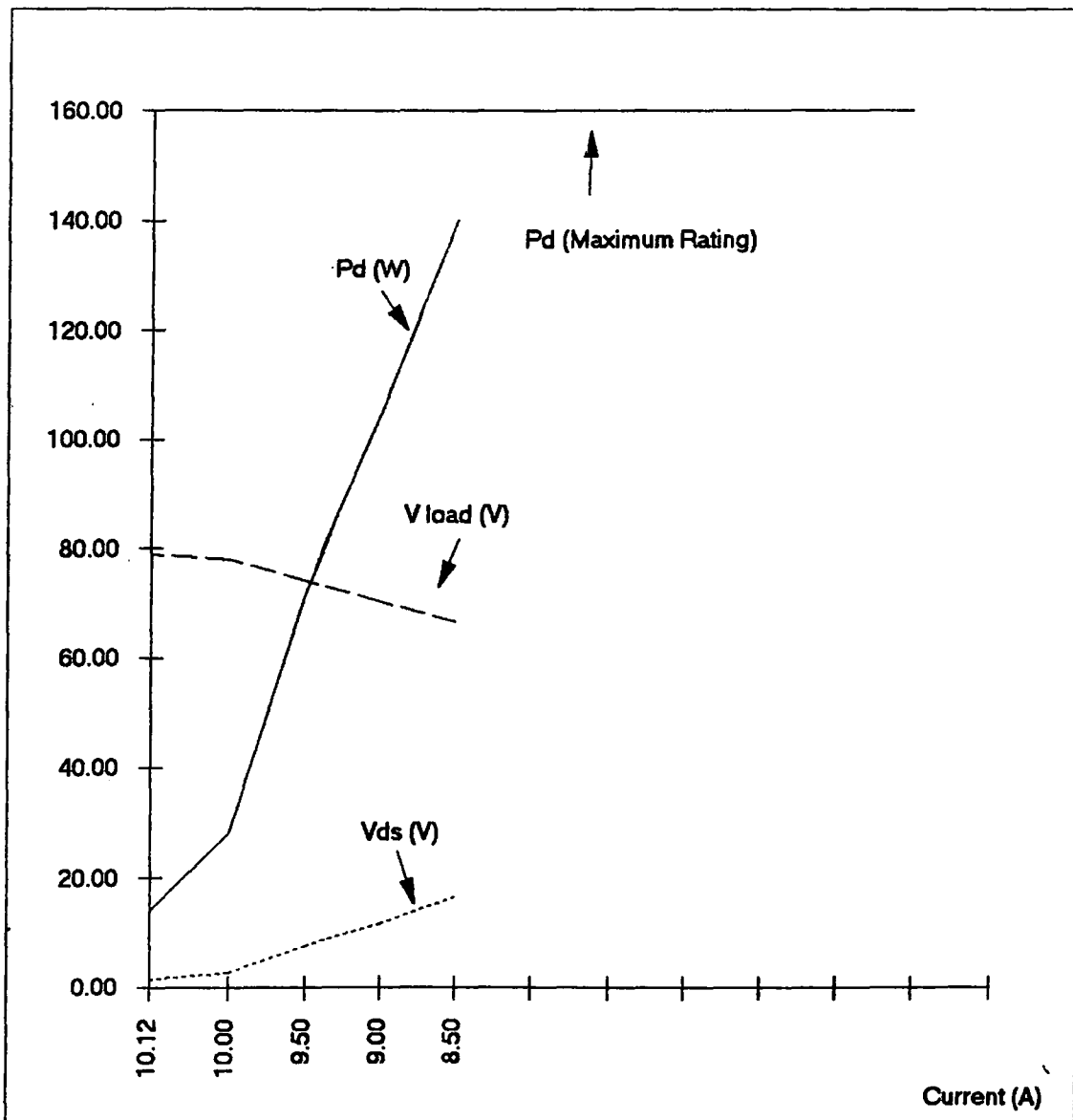
จากผลที่ได้ในกรณีที่จ่ายกระแส 5 A ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจะสูงสุดที่ 82 W ส่วนในกรณีที่จ่ายกระแส 10 A เมื่อลดกระแสไปถึง 8.5 A กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้น จะใกล้เคียงกับอัตราสูงสุดของไอจีบีที ที่จะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ไอจีบีที

I_{ds}	V_{ds}	P_d	V_{load}
5.08	1.20	6.096	38.98
5.00	2.00	10	38.28
4.50	6.10	27.45	34.56
4.00	11.00	44	30.73
3.50	15.60	54.6	26.85
3.00	20.40	61.2	23.08
2.50	25.00	62.5	19.27
2.00	29.90	59.8	15.37
1.50	34.70	52.05	11.56
1.00	39.80	39.8	7.80
0.50	45.80	22.9	3.92
0.00	51.70	0	0.00



ผลการทดสอบ เมื่อจ่ายกระแส 5A

I_{ds}	V_{ds}	P_d	V_{load}
10.12	1.40	14.168	78.90
10.00	2.80	28	78.00
9.50	7.60	72.2	74.10
9.00	11.70	105.3	70.40
8.50	16.50	140.25	66.60



ผลการทดสอบ เมื่อจ่ายกระแส 10 A

6.3 การทดสอบสนามแม่เหล็กของ Electromagnet

ผลที่ต้องการ

1. ค่าสนามแม่เหล็กที่ได้จากเครื่อง

แผนงานในการทดสอบ

1. จ่ายกระแสให้แก่เครื่องที่ค่า 5, 10, 15 และ 20 A
2. วัดค่าสนามแม่เหล็กตรงจุดกึ่งกลางระหว่าง yoke โดยวัดค่าทุกๆ 2 ตารางเซนติเมตร

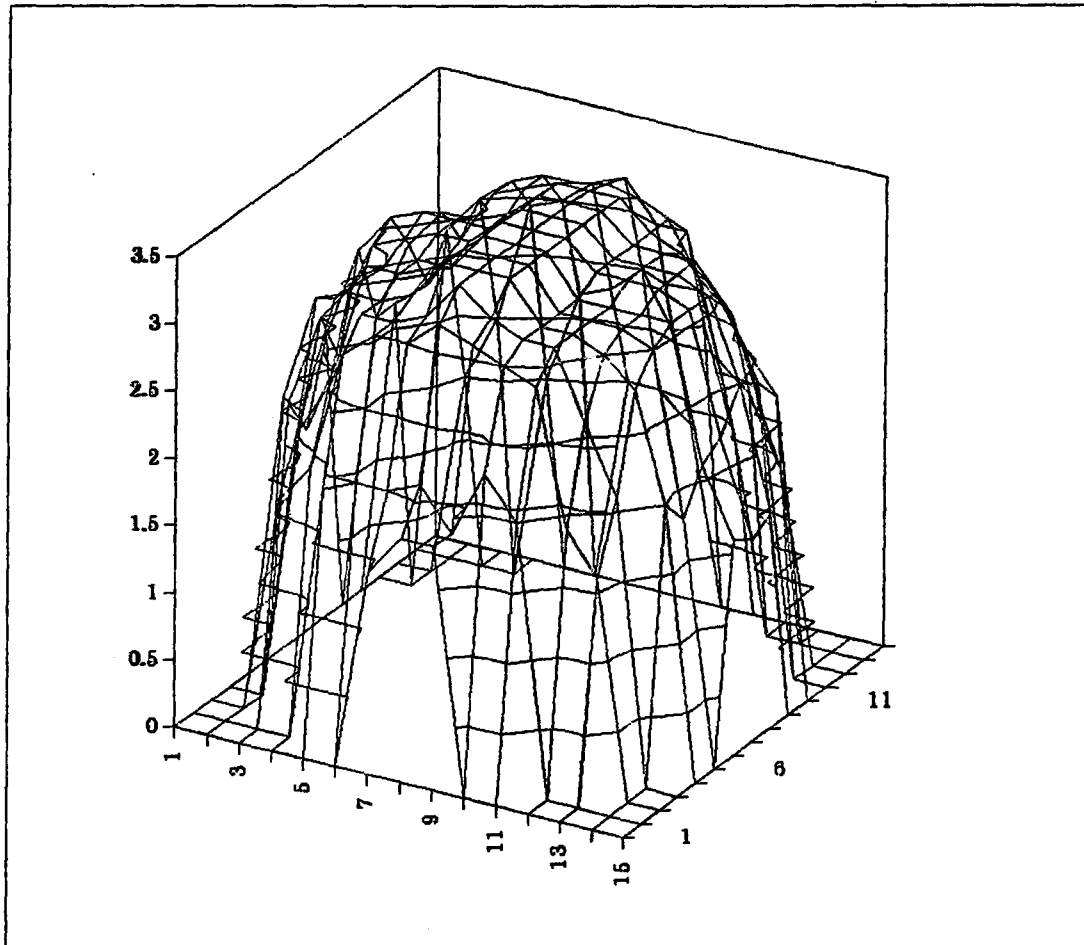
สรุปผลการทดสอบ

จากการวัดสนามแม่เหล็กที่ได้ จะพบว่ามีค่าของสนามแม่เหล็กที่มีลักษณะ uniform ซึ่งเหมาะสมสำหรับการใช้งานในการทดสอบสาร มีพื้นที่ประมาณ 50-90 ตารางเซนติเมตร และค่าของสนามแม่เหล็กที่ได้จะแปรผันตามกระแสที่จ่ายแบบ nonlinear

Electromagnet 5A

หน่วย K Gauss

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1							1.5	1.8	1.8						
2					1.9	2	2	2.1	1.8	2.3	2				
3			1.6	1.9	2.8	3	3	3.2	3.1	3	2.9	1.9	1.6		
4			2	2.4	3	3	3.1	3.4	3.2	3.1	3.1	2.6	2.1		
5		2.1	2.9	3	3	3.1	3.4	3.4	3.4	3.1	3.1	3	2.8	2	
6		1.9	2.8	3.1	3.1	3.2	3.4	3.4	3.4	3.1	3.1	3.1	3	1.8	
7	1.8	2.5	2.8	3	3.1	3.1	3.4	3.4	3.4	3.1	3.1	3.1	3.1	2.1	1.6
8	1.5	2.1	3	3.1	3.2	3.2	3.4	3.4	3.4	3.2	3.2	3.2	3.1	2.2	1.5
9	2.1	2.8	3.1	3.2	3.2	3.2	3.4	3.4	3.4	3.2	3.2	3.2	3.1	2.5	1.6
10		2.2	2.8	3.1	3.1	3.2	3.4	3.4	3.4	3.2	3.2	3.2	2.9	2.4	
11		2.2	2.4	2.8	3.2	3.3	3.4	3.4	3.4	3.2	3.1	2.9	2.5	2.2	
12			2.7	3	3.2	3.3	3.3	3.35	3.3	3.2	2.8	2.6	1.9		
13			1.5	2	2.9	3	3.2	3.3	3	3	2.1	1.9	1.4		
14					1.5	2.2	2.3	2.5	2.1	2.2	1.4				
15							1.5	1.5	1.3						

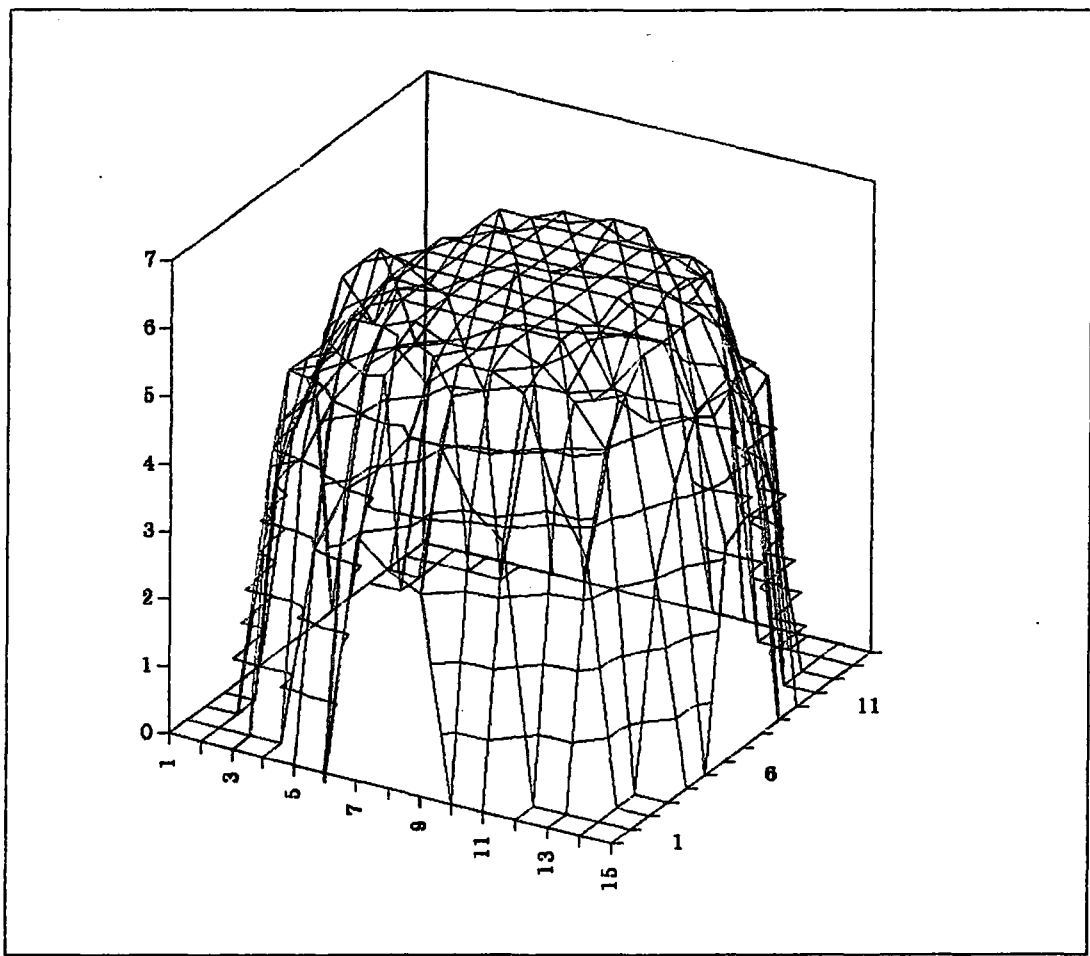


ค่าของสนามแม่เหล็ก เมื่อจ่ายกระแส 5 A

Electromagnet 10A

หน่วย K Gauss

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1							3.6	3.2	3						
2					3	4	4.4	5	5	4.2	3.8				
3			3.8	4	5	5.8	6	5.6	6	6	5.8	4.4	3.6		
4			5	5.2	6	6	6.2	6	6	6.2	6	5.6	5		
5		3	5	5.2	6	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	5.4	5.6	3	
6		3.6	5	5.6	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	5.4	6	4.2	
7	3.4	4	5.8	5.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6	6	6	5	3.2
8	3.4	4.5	5.8	6	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6	6	4.8	3.4
9	3.4	4	5.8	5.6	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6	5	3.4
10		3.6	5	5.2	6	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	5.6	4.6	
11		3.4	4	4.8	6	6	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6	5	4.8	
12			3.6	3.8	6	6	6.2	6.2	6	6	6	5.4	4		
13			2.8	3	5	5	5.2	6	6	5.2	5.6	3.8	2.6		
14					3	3	4	4.6	4.6	3.2	3.8				
15							2.8	2.6	2.8						

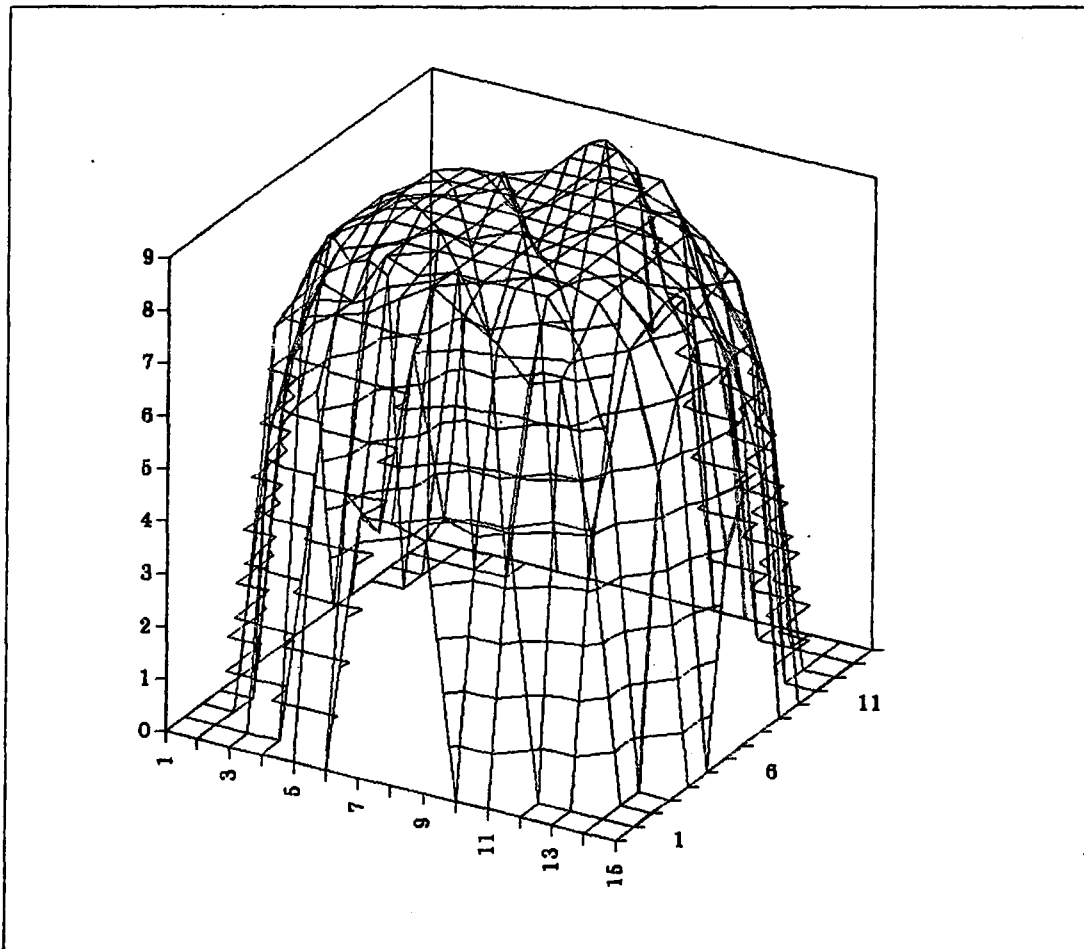


ค่าของสนามแม่เหล็ก เมื่อจ่ายกระแส 10 A

Electromagnet 15A

หน่วย K Gauss

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1							5	5	4.8						
2					5	5	4.4	8	5	4.8	5				
3			5.4	7.8	8	8.2	8.6	9	8.6	8.2	7.8	7.8	5		
4			6.6	8.2	8	9	8.8	9	9	9	9	8.2	6.4		
5		6.8	7.4	8.6	8.8	9	9	9	9	9	9	8.8	8	5.8	
6		7	8.4	8.8	9	9	9	9	9	9	9	8.8	8.2	7	
7	4.2	7.6	8.4	8.8	9	9	9	9	9	9	9	8.8	8.4	7.8	4
8	4.4	7.8	8.4	8.8	9	9	9	9	9	9	9	8.8	8.4	7.6	4.8
9	4.4	7	8.4	8.8	9	9	9	9	9	9	9	8.8	8.2	7	4.8
10		6.8	8.2	8.8	9	9	9	9	9	9	9	8.8	8	7	
11		6.2	7.6	8.2	8.6	8	9	9	9	9	8.8	8.4	7.8	5.8	
12			7	6.8	8.4	7	9	9	9	9	8	7	6		
13			6	4.8	7	6.4	9	9	8	8	6.2	5	4.2		
14					5	5.2	8.8	8.4	6.2	5	5				
15							5.6	5	5.8						

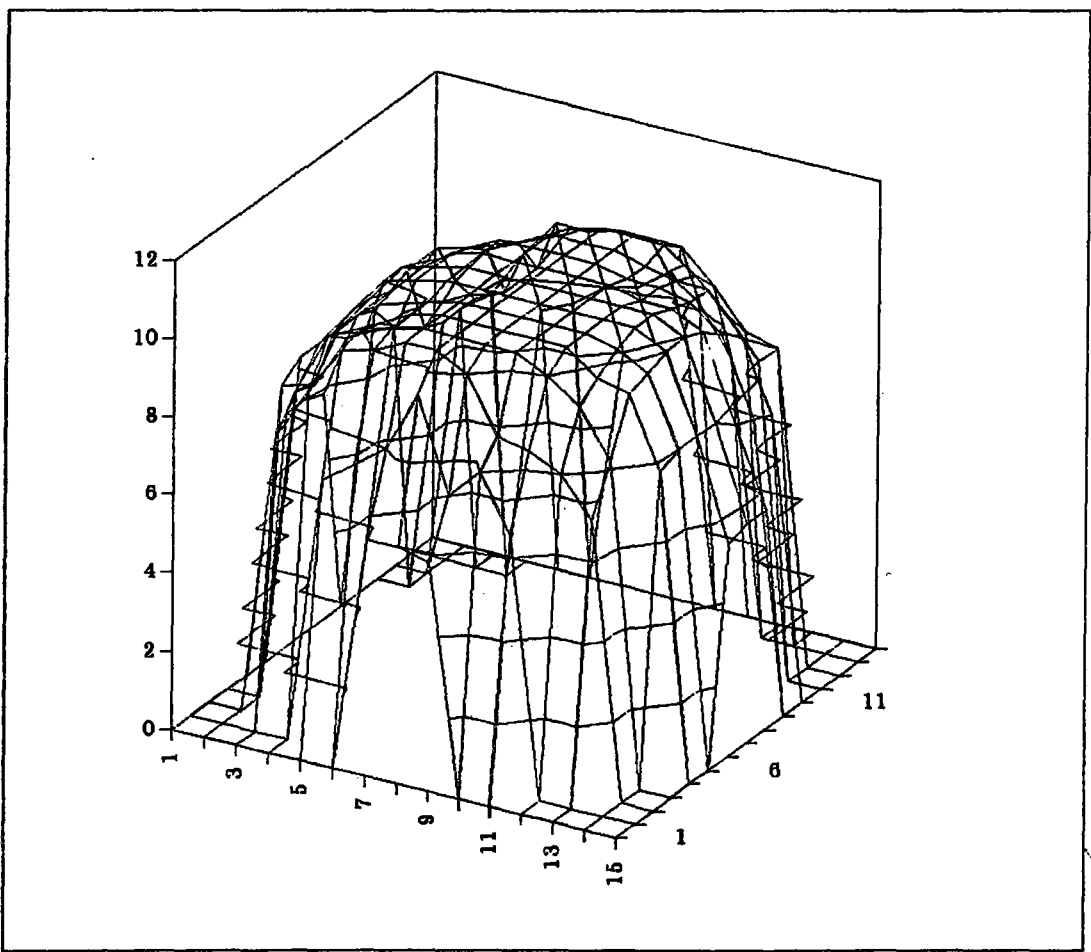


ค่าของสนามแม่เหล็ก เมื่อจ่ายกระแส 15 A

Electromagnet 20A

หน่วย K Gauss

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
							6	6	5.8						
					6.8	7.4	8	9.6	7.2	8	6.6				
			7.2	8.6	9.8	10	10.4	10.4	10	8.6	8.4	8	7		
			8	9.6	10	10.2	10.4	10.4	10.4	10.4	10	9.4	8.2		
		7.6	7.8	9.2	9.8	10.2	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	9.8	9.6	7.8	
		8	8.8	9	9.4	10.2	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.2	9.8	8	
	6	8	9	10	10.2	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10	8	5.4
	6	8	9	10	10.2	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10	8	5.6
	5.8	8	8.8	9.6	10.2	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.2	10.2	9.8	7.6	5.6
		7.8	9	9.8	10	10.4	10.4	10.4	10.4	10.2	10.2	10	9.4	7.4	
		7	7.2	8.6	9.6	10	10.4	10.4	10.4	10.2	10	10	9	7.2	
			7	7.8	8.2	9	10.2	10.4	10.4	10.4	9.8	9	8		
			7	7.6	8.8	9.8	9.8	10	10	10	9.2	8.2	8		
					7	7.4	8	8.2	8.8	8.2	7				
							6	6.4	6.8						



ค่าของสนามแม่เหล็ก เมื่อจ่ายกระแส 20 A

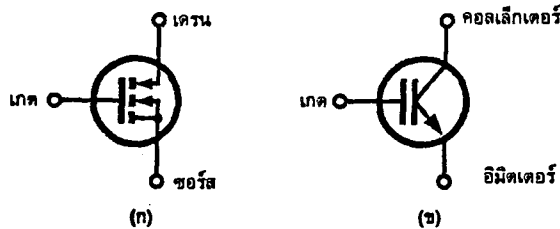
ภาคผนวก ก

ไอจีบีที

อุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลที่คุ้นเคย และใช้งานกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน จะเป็นจำพวก เอสซีอาร์, ไตรแอก, ทรานซิสเตอร์กำลังและมอสเฟต โดยเฉพาะทรานซิสเตอร์และมอสเฟต ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือทรานซิสเตอร์กำลังขณะที่อยู่ในสภาวะนำกระแสจะมีอัตราการสูญเสียกำลังงานที่ต่ำ มีอัตราทนแรงดันและขยายกระแสได้สูง แต่ความเร็วในการสวิตช์ทำงานยังต่ำ โดยเฉพาะในช่วงหยุดนำกระแสจะมีช่วงเวลาที่ยาวนานกว่า ซึ่งจะเป็นคุณสมบัติที่ตรงกันข้ามกับเพาเวอร์มอสเฟต ที่มีความเร็วในการสวิตช์ทำงานนำกระแส และหยุดนำกระแสไวเร็วกว่ามาก แต่ก็มีอัตราการสูญเสียกำลังงานสูงเช่นกัน

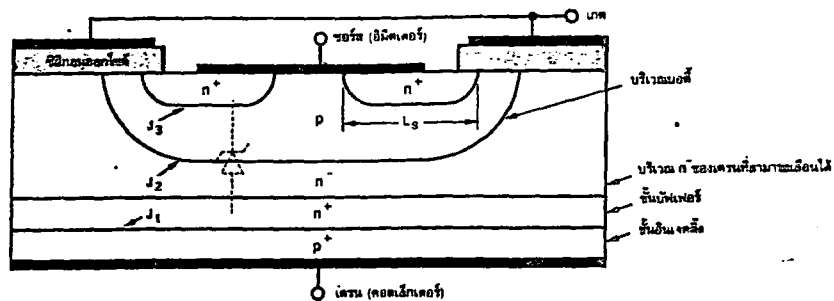
จากเหตุผลที่กล่าวมา จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพาเวอร์คอนโทรลชนิดใหม่ขึ้น โดยนำคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ และมอสเฟตเข้ามารวมไว้ในอุปกรณ์ ซึ่งเรียกว่า ไอจีบีที (Insulate Gate Bipolar Transistor : IGBT)

1. โครงสร้างและสัญลักษณ์



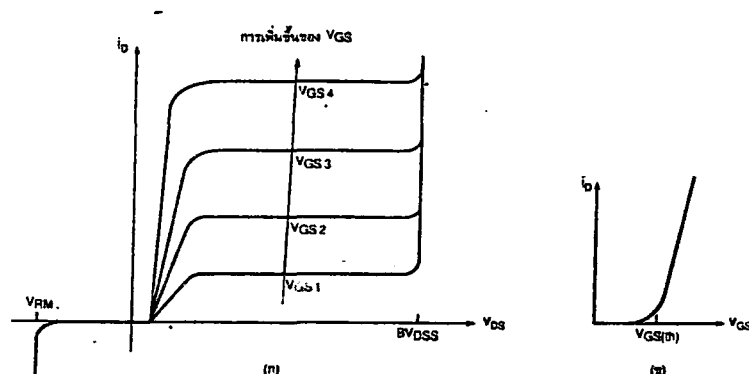
รูปที่ 1 สัญลักษณ์และชื่อเรียกขานต่างๆ ของ IGBT ชนิด N - channel

จากรูปที่ 1 (ก) จะพบว่าสัญลักษณ์คล้ายกับสัญลักษณ์ของมอสเฟตมาก เพียงแต่ว่าสัญลักษณ์ของไอจีบีทีนั้น จะมีลูกศรเพิ่มขึ้นมาตรงขาเดรนลักษณะของลูกศรจะชี้เข้าหาตัว หรือชี้เข้าหาชั้นซิลิกอนภายในตัวไอจีบีที ส่วนสัญลักษณ์ในรูป (ข) จะเหมือนกับสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ แต่จะเพิ่มขีดขึ้นมาอีกหนึ่งขีดเพื่อชี้ให้เห็นว่าขีดที่เพิ่มมานี้ไม่ได้ต่อกันโดยตรงกับขาที่ต่อออกมาภายนอก



รูปที่ 2 ภาพตัดขวางโครงสร้างพื้นฐานของ ไอจีบีที

โครงสร้างของไอจีบีที ชนิด N - channel แสดงเป็นภาพตัดขวางได้ดังรูปที่ 2 โครงสร้างโดยรวมส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างของมอสเฟต จะแตกต่างกันตรงที่ไอจีบีที จะมีชั้น p^+ หรือชั้นฉีดกระแส (Injecting) ต่ออยู่ที่ขาเดรนซึ่งในมอสเฟตจะไม่มี การที่ขาเกตถูกกั้นด้วยชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นผลทำให้ความต้านอินพุทที่ขาเกตมีค่าสูงมากเหมือนกับมอสเฟต โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 10^9 โอห์ม



รูปที่ 3 (ก) กราฟแสดงลักษณะคุณสมบัติระหว่างกระแสและแรงดันของ ไอจีบีที
(ข) กราฟแสดงลักษณะการถ่ายโอนของ ไอจีบีที

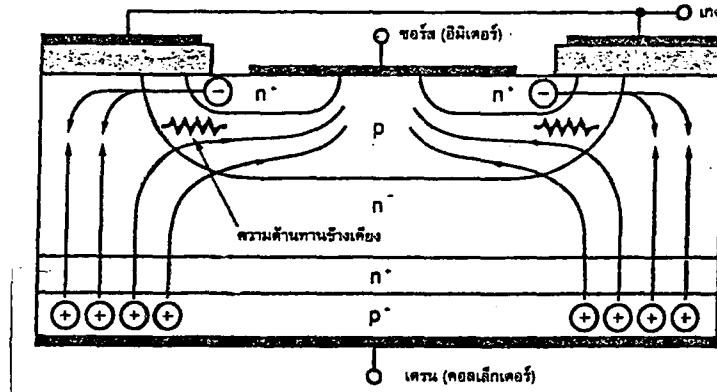
จากผลดังกล่าว ทำให้กราฟแสดงคุณสมบัติของกระแส และแรงดันของไอจีบีที มีลักษณะคล้ายกับกราฟของทรานซิสเตอร์แต่การควบคุมกระแสที่เดรนจะอาศัยการควบคุมแรงดันระหว่างขาเกตกับขาซอร์ส การควบคุมกระแสนี้เหมือนกับทรานซิสเตอร์ดังที่แสดงไว้ในรูป (ก) และสำหรับรูป (ข) จะเป็นกราฟคุณสมบัติการถ่ายโอนกระแสและแรงดัน จะเห็นว่าส่วนใหญ่ของเส้นกราฟ มีลักษณะเป็นเส้นตรง แต่จะเริ่มโค้งที่กระแสเดรนมีค่าต่ำๆ นั่นคือจุดที่แรงดันระหว่างขาเกตกับขาซอร์ส จะต่ำลงใกล้แรงดันจุดเริ่มเปลี่ยนสภาวะการทำงาน (จุด threshold voltage : $V_{gs(th)}$) โดยถ้าแรงดันระหว่างขาเกตกับขาซอร์ส นี้ต่ำกว่าแรงดันที่จุด $V_{gs(th)}$ แล้วไอจีบีทีจะอยู่ในสภาวะที่หยุดนำกระแสหรือคัตออฟ กรณีของไอจีบีทีชนิด P - channel นั้น คุณสมบัติจะคล้ายกับ N - channel แต่โครงสร้างและสัญลักษณ์ มีลักษณะตรงกันข้ามกัน

2. สภาวะนำกระแส

เมื่อขาเดรนได้รับแรงดันไบแอสตรง ก็เป็นบวกเมื่อเทียบกับซอร์ส และแรงดันระหว่างขาเกตกับซอร์สมีค่าเกิน $V_{gs(th)}$ ประจุไฟฟ้าบวกที่เกิดจากแรงดันที่ขาเกต จะดึงเอาอิเล็กตรอนให้มารวมกันอยู่ในบริเวณภายใต้เกต ทำให้ชั้นบอดี้ (body layer) ได้ขาเกตแปรสภาพเป็น n เกิดการต่อกันของบริเวณ n^- (drift region) เข้ากับบริเวณซอร์ส n^+ (source region) ซึ่งลักษณะเช่นนี้เหมือนกับการทำงานของมอสเฟต

กระแสอิเล็กตรอนที่ไหลจากขาซอร์สผ่านบริเวณใต้เกต มายังบริเวณลอยเลื่อน n^- จะรวมกับโฮลที่เป็นพาหะข้างมากที่ถูกฉีดจากชั้นอินเจกต์ p^+ (ดูรูปโครงสร้างในรูปที่ 2) เพราะรอยต่อ J_1 ได้รับแรงดันไบแอสตรง ทำให้ไอจีบีทีอยู่ในสภาวะนำกระแสเกิดการไหลของกระแสจากเดรนไปซอร์สได้การ

รวมกันของโฮลและอิเล็กตรอนภายในบริเวณ n^- เรียกว่า conductivity modulation ผลของการมอดูเลตนี้จะทำให้ความต้านทานบริเวณ n^- มีค่าต่ำลง เป็นการเพิ่มความสามารถในการขับผ่านกระแสได้สูงขึ้น ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับทรานซิสเตอร์กำลัง ผลของความต้านทานที่ลดลงทำให้แรงดันตกคร่อมที่สภาวะนำกระแสลดต่ำลง การสูญเสียกำลังงานขณะที่น่ากระแสจึงลดลงด้วย ทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนและโฮลแสดงไว้ดังรูป



รูปที่ 4 ทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนและโฮลในขณะนำกระแส

3. สภาวะหยุดนำกระแส

เมื่อแรงดันระหว่างขารเกตและขอรส์ลดลงต่ำกว่าแรงดัน $V_{gs(th)}$ จะทำให้มีแรงดันไม่เพียงพอสำหรับการแปรสภาพชั้นบอดี้ p เป็น n ได้ ทำให้บริเวณ n^- ไม่ต่อกับบริเวณขอรส์ n^+ ดังนั้น ไอจีบีที จึงอยู่ในสภาวะหยุดนำกระแส ในสภาวะนี้ ที่รอยต่อ J_2 ได้รับความดันไบแอสกลับ ทำให้เกิดกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะ (depletion region) ขึ้นที่รอยต่อ J_2

บริเวณปลอดพาหะนี้จะขยายบริเวณกว้างขึ้น จนกินเข้ามายังบริเวณ n^- มากกว่าที่จะขยายไปยังบริเวณไปยังชั้นบอดี้ p ทั้งนี้เพราะชั้นบอดี้ p มีความหนาแน่นในการโด๊ปสารมากกว่า ถ้าความหนาแน่นของสารที่โด๊ปในบริเวณลอยเลื่อน n^- มากพอ ที่ทำให้การขยายของบริเวณปลอดพาหะไม่สามารถแตะกับชั้นอินเจกต์ p^+ ได้ชั้นบัฟเฟอร์ n^+ (buffer layer) ก็ไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดขึ้นหรือไม่ต้องโด๊ปสาร เพราะการแตะกันของบริเวณทั้งสองนี้จะทำให้เกิดการพังทลายทางด้านไบแอสตรง สำหรับไอจีบีทีที่ไม่มีการโด๊ปสารในชั้นบัฟเฟอร์ n^+ นี้จะเรียกว่าไอจีบีทีแบบสมมาตร ซึ่งจะมีอัตราทนแรงดันย้อนกลับ (BV_{sds}) สูงพอๆ กับค่าอัตราทนแรงดันไหลตรง (BV_{dss}) เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในวงจรไฟฟ้้ากระแสสลับ การลดความหนาของบริเวณ n^- ลง แต่ยังคงความสามารถของ อัตราทนแรงดันไหลตรงไว้ก็สามารถทำได้โดยจะเพิ่มชั้นบัฟเฟอร์ n^+ เข้าไปเพื่อป้องกันการแตะกันของบริเวณปลอดพาหะกับบริเวณอินเจกต์ p^+ ซึ่งจะเรียกไอจีบีทีชนิดนี้ว่าไอจีบีที แบบไม่สมมาตร และจากการลดความหนาของบริเวณลอยเลื่อน n^- ลงจะช่วยส่งผลให้เกิดข้อดีสองประการคือ

1. ทำให้แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำลง เป็นผลให้การสูญเสียกำลังงานลดน้อยลงด้วย
2. ช่วยลดช่วงเวลาหยุดนำกระแสให้สั้นลงได้

แต่ข้อเสียของการเพิ่มชั้นบัฟเฟอร์ n^+ ก็มีคือจะลดความสามารถของ อัตราทนแรงดันย้อนกลับ

ให้น้อยลงเหลือเพียงไม่กี่สิบโวลต์ทั้งนี้ก็เพราะเมื่อไอจีบีที ได้รับแรงดันไบแอสกลับที่ขาเดรนรอย J1 ซึ่งทั้งสองข้างมีความหนาแน่นในการได้ปัสการมาก จะไม่สามารถทนแรงดันย้อนกลับได้สูง ดังนั้น ไอจีบีที ชนิดนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

4. การแลตซ์ใน ไอจีบีที

นอกจากโพลส่วนใหญ่ที่รวมกับอิเล็กตรอนภายใต้บริเวณ n^- แล้วยังมีกระแสโพลบางส่วน ที่จะไหลข้ามบริเวณ n^- เข้าสู่บริเวณชั้นบอดี p โดยตรง ผลของกระแสโพลนี้จะทำให้เกิดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานข้างเคียง (lateral resistance) ดังรูปที่ 4 ถ้าแรงดันนี้มีค่ามากพอคือประมาณ 0.7 โวลต์ จะทำให้รอยต่อ J3 ได้รับการไบแอสตรง เป็นผลให้อิเล็กตรอนจากบริเวณ n^+ ถูกฉีดเข้าไปในชั้นบอดี p ถ้าดูจากวงจรสมมูลรูปที่ 6 (ค) จะหมายถึงขาเบส และอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ NPN ได้รับแรงดันไบแอสตรง ทำให้ขาเบสไม่สามารถจะควบคุมปริมาณของกระแสเดรนได้อีกต่อไป หากมีการแลตซ์เกิดขึ้นเป็นเวลานานอาจทำให้ไอจีบีทีเสียหายได้ เพราะมีการสูญเสียกำลังงานเกินค่าพิคก์ที่ทนได้

ส่วนใหญ่ในคู่มือมาตรฐานของผู้ผลิต มักจะมีการบอกค่ากระแสเดรนสูงสุดที่สามารถไหลผ่าน ไอจีบีทีได้โดยไม่เกิดการแลตซ์ขึ้น (I_{dm}) แต่เนื่องจากที่กระแสเดรนถูกกำหนดหรือควบคุมโดยตรงจากแรงดันระหว่างเกตกับซอร์ส บางครั้งคู่มือจึงบอกค่าแรงดันระหว่างเกตกับซอร์สสูงสุดที่จะทำให้เกิดการแลตซ์ แทนการบอกค่ากระแสเดรนสูงสุด

การแลตซ์ที่กล่าวมาข้างต้นเรียกว่าการแลตซ์ใน โหมดสแตติก เพราะเกิดขึ้นเมื่อกระแสที่ไหลผ่านในสถานะนำกระแสมีค่าเกิน I_{dm} แต่ลักษณะการแลตซ์นี้ สามารถเกิดเป็น โหมดไดนามิก ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนการทำงานจากสถานะนำกระแส เข้าสู่สถานะหยุดนำกระแสได้ด้วย ในบางครั้งการแลตซ์นี้อาจเกิดขึ้นได้ แม้ว่ากระแสเดรนขณะที่นำกระแสมีค่าต่ำกว่า I_{dm} ก็ตาม ทั้งนี้เพราะเมื่อไอจีบีที เริ่มหยุดนำกระแส กระแสเดรนจะตกลงอย่างรวดเร็ว รอยต่อ J2 จะได้รับแรงดันย้อนกลับ ที่เพิ่มขึ้นมาอย่างรวดเร็วเช่นกัน

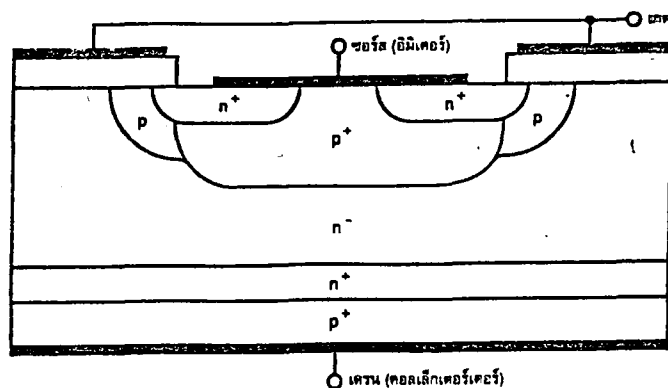
ผลที่เกิดขึ้น จะทำให้บริเวณเปลือยพาหะเกิดขยายที่บริเวณชั้นบอดี p โดยเฉพาะจะขยายเข้าสู่บริเวณ n^- มากกว่า เพราะมีความหนาแน่นของการได้ปัสการต่ำกว่า การขยายบริเวณเปลือยพาหะอย่างรวดเร็ว จะทำให้โพลที่ยังค้างอยู่ในบริเวณ n^- ขณะนำกระแส และยังไม่ได้รวมกับอิเล็กตรอน หลุดรอดจากการขัดขวางของบริเวณเปลือยพาหะเข้าไปสะสมอยู่ในบริเวณรอยต่อ J2 เป็นการเพิ่มกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานข้างเคียงให้สูงขึ้น ทำให้เกิดการแลตซ์ขึ้น เมื่อเกิดการแลตซ์ขึ้นแรงดันตกคร่อมขาซอร์ส และเดรนขณะนำกระแสจะมีค่าที่ต่ำกว่าระดับปกติ นอกจากนี้การแลตซ์ยังสามารถเกิดขึ้นได้อีกเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่รอยต่อในขณะที่กระแสเดรนยังมีค่าต่ำกว่า I_{dm} อยู่ได้เช่นกัน

5. การป้องกันการแลตซ์

การหลีกเลี่ยงการแลตซ์ของ ไอจีบีที สามารถทำได้ทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้งานเอง ทางผู้ผลิตจะออกแบบโครงสร้างในส่วนบริเวณชั้นบอดี p เพื่อจะได้เพิ่มค่าของ I_{dm} ให้มากที่สุดซึ่งเป็นการลดโอกาสที่จะเกิดการแลตซ์ลงได้ ดังนี้

-วิธีที่ 1 อาจทำได้โดยลดความกว้างของซอร์ส n^+ ลง นั่นคือลดค่า L_s ที่แสดงในรูปที่ 2 ลงนั่นเอง

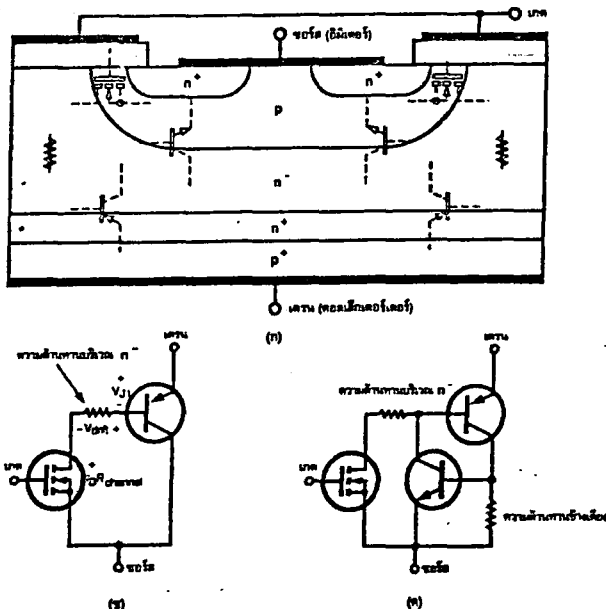
-วิธีที่ 2 เป็นการแบ่งระดับความหนาแน่นในการโด๊ปสารบริเวณบอดี p ดังในรูปที่ 5 จะเห็นว่าบริเวณบอดี p ภายใต้ขาเกตจะโด๊ปด้วยความหนาแน่นในระดับปกติ 10^{16} cm^{-3} และมีความหนาแน่นน้อยกว่าที่บริเวณซอร์ส n^+ แต่ส่วนที่เหลือของบริเวณบอดี p จะโด๊ปด้วยความหนาแน่นมากกว่าคือ 10^{19} cm^{-3} รวมถึงความหนาแน่นก็จะมากกว่าด้วย การทำเช่นนี้จะทำให้เพิ่มความสามารถในการนำกระแสให้สูงขึ้นเป็นการลดความต้านทานข้างเคียงให้น้อยลง



รูปที่ 5 โครงสร้างที่ปรับปรุงเพื่อป้องกันการแลตซ์ใน ไอจีบีที

สำหรับผู้ใช้งานก็สามารถป้องกันการแลตซ์ในโหมดสแตติกได้ โดยการออกแบบไม่ให้กระแสไหลในโหนดไหลเกินค่ากระแส I_{DM} และป้องกันการแลตซ์ในโหมดไดนามิกได้โดยหน่วงเวลาขณะหยุดนำกระแสให้ยาวขึ้น เพื่อให้โฮลที่ยังค้างอยู่ในบริเวณ n^- มีเวลาพอที่จะรวมกับอิเล็กตรอน เป็นการลดกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานข้างเคียงให้น้อยลง

6. วงจรสมมูลของ ไอจีบีที

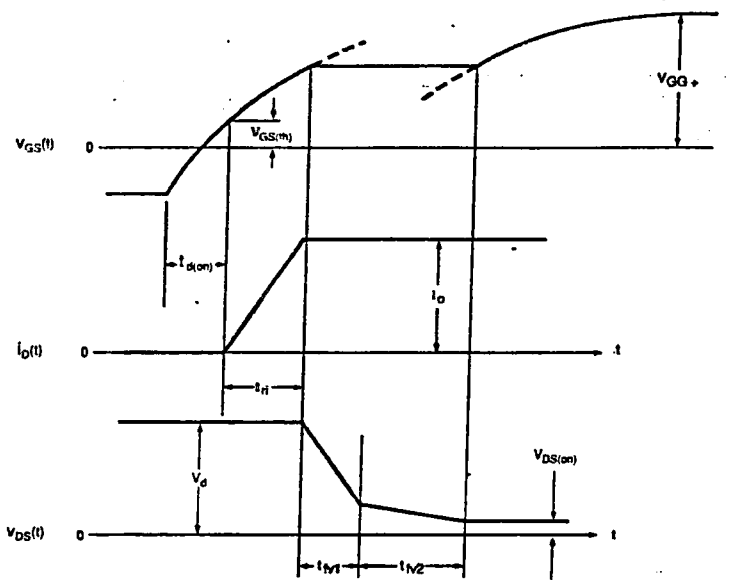


รูปที่ 6 (ก) แสดงโครงสร้างที่มีทรานซิสเตอร์และมอสเฟตแฝงอยู่ใน
 (ข) วงจรสมมูลสำหรับการทำงานปกติของ ไอจีบีที
 (ค) วงจรสมมูลที่แสดงส่วนของทรานซิสเตอร์ที่แฝงอยู่ใน ไอจีบีที

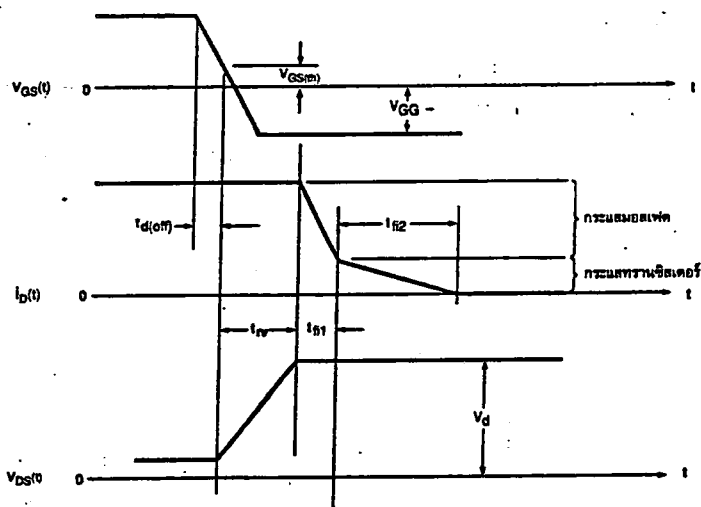
ในรูป (ก) นั้นจะเห็นว่าในบริเวณเบอด้ p ชั้นบริเวณ n⁻ และชั้นอินเจกต์ติ้ง p⁺ จะคล้ายกับของ ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP โดยแทนได้ด้วยขาคอลเล็กเตอร์ เบส และอีมีตเตอร์ และบริเวณภายใต้เกตก็ จะแทนได้ด้วยมอสเฟต ซึ่งจะมีความต้านทานบริเวณ n⁻ เชื่อมขาเบสของทรานซิสเตอร์ PNP เข้ากับ ขาเดรนของมอสเฟต เมื่อเขียนวงจรสมมูลออกมาจะได้วงจรดังรูป (ข) จะเห็นได้ว่าเป็นวงจรคาร์ลิง ดันโดยมีมอสเฟตเป็นตัวขับทรานซิสเตอร์ PNP แต่มีจุดที่แตกต่างจากวงจรทั่วไปคือกระแสเดรนส่วน ใหญ่จะไหลจากอีมีตเตอร์มายังเบส ผ่านความต้านทานบริเวณรอยเลื่อน และผ่านขาเดรนของมอสเฟต มาที่ขาขอรส์ จะมีกระแสส่วนน้อยเท่านั้นที่ไหลจากอีมีตเตอร์มายังคอลเล็กเตอร์และขาขอรส์ สำหรับ วงจรสมมูลในรูป (ค) จะแสดงให้เห็นว่าภายในไอจีบีที มีทรานซิสเตอร์แฝงอยู่ด้วย โดยคู่ได้จากที่ทรานซิส เตอร์ PNP และ NPN ต่อเข้าด้วยกันในลักษณะที่มีการป้อนกลับ ทำให้เห็นได้ชัดถึงเหตุที่ทำให้เกิดการ แลตซ์ของ ไอจีบีที โดยถ้ากระแสส่วนน้อยที่ไหลผ่านจากอีมีตเตอร์มายังคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ PNP ผ่านความต้านทานข้างเคียง ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมความต้านสูงกว่า 0.7 โวลต์แล้ว ทรานซิส เตอร์ PNP จะนำกระแสส่งผลให้เกิดการแลตซ์ขึ้นใน ไอจีบีที

7. ลักษณะการสวิตซ์

ลักษณะของสัญญาณกระแสและแรงดัน ในช่วงที่เกิดการนำกระแสและหยุดนำกระแสจะแสดง ดังรูป



รูปที่ 7 (ก) ลักษณะของกระแสและแรงดันขณะนำกระแส



รูปที่ 7 (ข) ลักษณะของกระแสและแรงดันขณะหยุดนำกระแส

ช่วงเวลาในการนำกระแสของไอจีบีทีที่แสดงไว้ในรูป (ก) นั้นจะมีลักษณะคล้ายกับการนำกระแสของมอสเฟต คือจะมีเวลาดำเนินการนำกระแส ($t_{d(on)}$) นับตั้งแต่เวลาที่แรงดันระหว่างเกตกับซอร์สมีค่าในช่วง V_{GS-} จนถึง $V_{GS(th)}$ เนื่องจากผลการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุระหว่างขาเกตกับซอร์สและขาเกตกับเดรนภายในไอจีบีที แรงดันที่ขาเดรนจะยังคงที่อยู่ในช่วงเวลาขาขึ้น (t_r) หรือในช่วงที่กระแสเดรนยังไม่ถึงค่ากระแสทำงาน (I_o) หลังจากนั้นกระแสเดรนก็จะคงที่ แต่แรงดันจะตกลงสู่ค่า $V_{DS(on)}$ โดยแบ่งช่วงเวลาลงเป็นสองช่วง คือช่วง t_{N1} เป็นช่วงที่ทำงานอยู่ในย่านความต้านสูง ($R_{channel}$) ในส่วน t_{N2} เป็นช่วงที่ทำงานอยู่ในย่านความต้านทานต่ำ ($R_{channel}$)

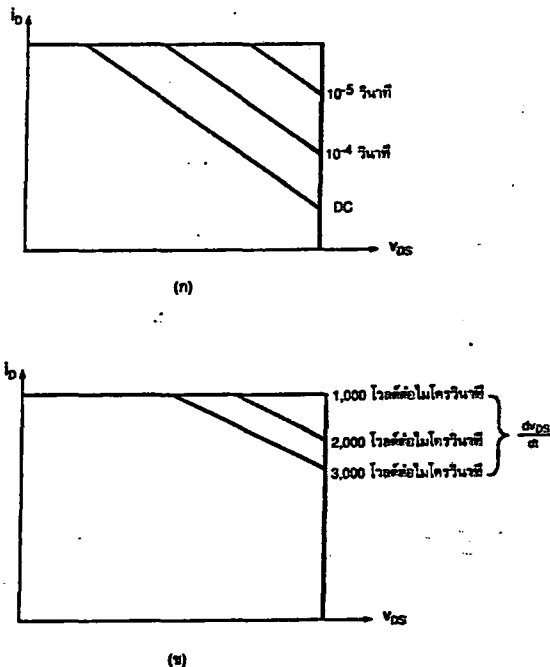
ในรูป (ข) จะแสดงลักษณะของกระแสและแรงดันในช่วงเวลาที่ไอจีบีที หยุดนำกระแสจะเห็นว่ากระแสเดรนจะยังคงที่ตลอดช่วงเวลา ที่แรงดันขาเดรนเพิ่มขึ้น และมีช่วงเวลาลงของกระแสเดรนที่แตก

ต่างชัดเจนสองช่วง โดยช่วงแรก t_{H1} จะเป็นช่วงหยุดนำกระแสของมอสเฟตภายในไอจีบีที และช่วง t_{H2} จะเป็นช่วงหยุดนำกระแสของทรานซิสเตอร์ PNP ซึ่งช้ากว่ามอสเฟต ทำให้ช่วงเวลานี้นานกว่าช่วงแรก และมีการสูญเสียกำลังงานมากในช่วงนี้

8. พื้นที่การทำงานที่ปลอดภัย

ไอจีบีที มีพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยทั้งในระหว่างนำกระแสและหยุดนำกระแส โดยมีพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยขณะไบแอสตรง (forward bias safe operating area : FBSOA) ที่กว้างมาก เปรียบได้กับเกือบเป็นสี่เหลี่ยมสำหรับเวลาในการสวิตช์ที่สั้น ๆ แต่จะแคบลงเมื่อเวลาในการสวิตช์นานขึ้น

ในช่วงระหว่างเริ่มนำกระแสและขณะที่นำกระแสแล้ว จุดทำงานของไอจีบีที ต้องมีขนาดแรงดันและกระแสที่ขาเดรนอยู่ภายในพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยในช่วงไบแอสตรงเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 8(ก) มิฉะนั้นแล้วจะทำให้เกิดการเสียหายขึ้นที่ไอจีบีที จากรูปพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยของไอจีบีทีจะแสดงถึงขีดจำกัดของกระแสเดรนและอัตราทนแรงดันไหลตรง



รูปที่ 8 (ก) พื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยในสภาวะไบแอสตรง
(ข) พื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยในสภาวะไบแอสกลับ

ในส่วนของพื้นที่การทำงานปลอดภัยในช่วงที่ไบแอสกลับ (reverse bias safe operating area : RBSOA) จะแตกต่างจากในช่วงไบแอสตรง โดยในรูปจะแสดงค่าจำกัดของค่าอัตราเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขาเดรนต่อเวลา (dv_{DS}/dt) ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงระหว่างเวลาหยุดนำกระแส และจะมีพื้นที่ที่แคบลงถ้า dv_{DS}/dt มีค่าสูงมากขึ้น เพื่อไม่ให้เกิดการแลตช์ขึ้นที่ ไอจีบีที

ค่า dv_{DS}/dt นี้จะมีผลโดยตรงกับช่วงเวลาหยุดนำกระแส หมายความว่าถ้ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงเร็วจะทำให้ช่วงเวลาหยุดนำกระแสน้อยค่า dv_{DS}/dt ของไอจีบีที มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ไทรสเตอร์ตัวอื่น ๆ ดังนั้นความจำเป็นในการใช้วงจรสับเบอว์เพื่อป้องกันเกิดการแลตช์ก็ไม่จำเป็นต้องใช้

ภาคผนวก ข
MC33030

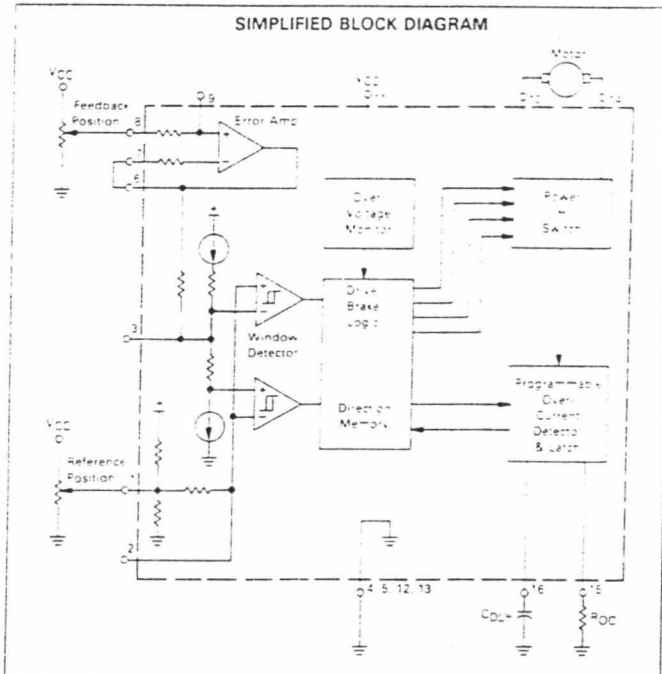
MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
 TECHNICAL DATA

DC SERVO MOTOR CONTROLLER DRIVER

The MC33030 is a monolithic dc servo motor controller providing all active functions necessary for a complete closed loop system. This device consists of an on-chip op amp and window comparator with wide input common-mode range, drive and brake logic with direction memory, power H switch driver capable of 1.0 A, independently programmable over-current monitor and shutdown delay, and over-voltage monitor. This part is ideally suited for almost any servo positioning application that requires sensing of temperature, pressure, light, magnetic flux, or any other means that can be converted to a voltage.

Although this device is primarily intended for servo applications, it can be used as a switchmode motor controller.

- On-Chip Error Amp for Feedback Monitoring
- Window Detector with Deadband and Self-Centering Reference Input
- Drive Brake Logic with Direction Memory
- 1.0 A Power H Switch
- Programmable Over-Current Detector
- Programmable Over-Current Shutdown Delay
- Over-Voltage Shutdown



MC33030

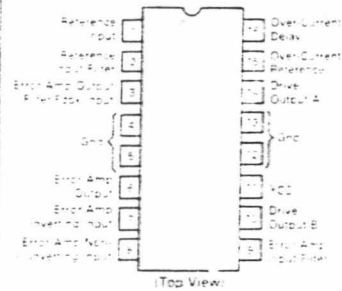
DC SERVO MOTOR CONTROLLER DRIVER

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT



P SUFFIX
 PLASTIC PACKAGE
 CASE 648C

PIN CONNECTIONS



Pins 4, 5, 12 and 13 are electrical ground and heat sink pins for IC.

ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
MC33030P	-40 C to +85 C	Plastic DIP

MC33030

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	V _{CC}	36	V
Input Voltage Range Op Amp, Comparator, Current Limit Pins 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 15	V _{IR}	0.3 to V _{CC}	V
Input Differential Voltage Range Op Amp, Comparator Pins 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9	V _{IDR}	0.3 to V _{CC}	V
Delay Pin Sink Current (P = 15)	I _{DL(sink)}	20	mA
Output Source Current (Op Amp)	I _{source}	10	mA
Drive Output Voltage Range (Note 1)	V _{DRV}	-0.3 to (V _{CC} - V _F)	V
Drive Output Source Current (Note 2)	I _{DRV(source)}	1.0	A
Drive Output Sink Current (Note 2)	I _{DRV(sink)}	1.0	A
Brake Diode Forward Current (Note 2)	I _F	1.0	A
Power Dissipation and Thermal Characteristics			
Maximum Power Dissipation T _A = 70°C	P _D	1000	mW
Thermal Resistance Junction to Air	R _{JA}	80	°C/W
Thermal Resistance Junction to Case Pins 4, 5, 12, 13	R _{JC}	15	°C/W
Operating Junction Temperature	T _J	-150	°C
Operating Ambient Temperature Range	T _A	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150	°C

NOTES:

1. The upper voltage level is clamped by the forward drop (V_F) of the brake diode.
2. These values are for continuous dc current. Maximum package power dissipation limits must be observed.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 14 V, T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ERROR AMP					
Input Offset Voltage (V _{IN} = 0 V, T _A = -85°C, V _{pin 6} = 7.0 V, R _L = 100 k)	V _{IO}	—	1.5	10	mV
Input Offset Current V _{pin 6} = 1.0 V, R _L = 100 k	I _{IO}	—	0.7	—	nA
Input Bias Current V _{pin 6} = 7.0 V, R _L = 100 k	I _B	—	7.0	—	nA
Input Common-Mode Voltage Range ΔV _{IO} = 20 mV, R _L = 100 k	V _{ICR}	—	0 to (V _{CC} - 2)	—	V
Slew Rate, Open Loop (V _{IN} = 0.5 V, C _L = 15 pF)	SR	—	0.40	—	V/μs
Unity-Gain Crossover Frequency	f _c	—	550	—	kHz
Unity-Gain Phase Margin	φ _m	—	63	—	deg
Common-Mode Rejection Ratio V _{pin 6} = 7.0 V, R _L = 100 k	CMRR	50	82	—	dB
Power Supply Rejection Ratio V _{CC} = 9.0 to 16 V, V _{pin 6} = 7.0 V, R _L = 100 k	PSRR	—	89	—	dB
Output Source Current (V _{pin 6} = 12 V)	I _{O+}	—	1.8	—	mA
Output Sink Current (V _{pin 6} = 1.0 V)	I _{O-}	—	250	—	μA
Output Voltage Swing (R _L = 17 k to Ground)	V _{OH} V _{OL}	12.5 —	13.1 0.02	— —	V V

(Continued)

MC33030

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
WINDOW DETECTOR					
Input Hysteresis Voltage ($V_1 - V_4$, $V_2 - V_3$, Figure 17)	V_H	25	35	45	mV
Input Dead Zone Range ($V_2 - V_4$, Figure 17)	V_{DZ}	165	210	254	mV
Input Offset Voltage ($V_2 - V_{Pin 2} - (V_{Pin 2} - V_4)$, Figure 17)	V_{IO}	—	25	—	mV
Input Functional Common-Mode Range (Note 3)					V
Upper Threshold	V_{UH}	—	$V_{CC} - 1.05$	—	
Lower Threshold	V_{UL}	—	0.24	—	
Reference Input Set-Point Centering Voltage (Pins 1 and 2 Open)	V_{RSC}	—	(1/2 V_{CC})	—	V
Window Detector Propagation Delay (Comparator Input, Pin 3, to Drive Outputs, $V_{ID} = 0.5$ V, $R_{LDRV} = 390 \Omega$)	$t_{p(WD)}$	—	20	—	μ s
OVER-CURRENT MONITOR					
Over-Current Reference Resistor Voltage (Pin 15)	V_{OC}	2.8	4.3	4.7	V
Delay, Pin Source Current ($V_{DLY} = 0$ V, $R_{OC} = 27 \text{ k}\Omega$, $I_{DRV} = 0$ mA)	DLY_{SOURCE}	—	5.5	6.9	μ A
Delay, Pin Sink Current ($R_{OC} = 27 \text{ k}\Omega$, $I_{DRV} = 3$ mA)	DLY_{SINK}	—	0.1	—	mA
	$V_{DLY} = 5.0$ V	—	0.7	—	
	$V_{DLY} = 8.3$ V	—	16.5	—	
	$V_{DLY} = 14$ V	—	—	—	
Delay, Pin Voltage, Low State ($I_{DLY} = 0$ mA)	$V_{OL(DLY)}$	—	0.3	0.4	V
Over-Current Shutdown Threshold ($V_{CC} = 14$ V, $V_{CC} = 8.0$ V)	$V_{th(OC)}$	8.8 5.5	7.5	8.2 6.5	V
Over-Current Shutdown Propagation Delay (Delay Capacitor Input, Pin 16, to Drive Outputs, $V_{ID} = 0.5$ V)	$t_{p(DLY DRV)}$	—	1.8	—	μ s
POWER H-SWITCH					
Drive Output Saturation ($+40^\circ\text{C}$, $T_A = -85^\circ\text{C}$, Note 4)					V
High State (source = 100 mA)	$V_{OH(DRV)}$	$V_{CC} - 2$	$(V_{CC} - 0.85)$	—	
Low State (sink = 100 mA)	$V_{OL(DRV)}$	—	0.12	1.0	
Drive Output Voltage Switching Time ($C_L = 15$ pF)					ns
Rise Time	t_r	—	200	—	
Fall Time	t_f	—	200	—	
Brake Diode Forward Voltage Drop (I _F = 200 mA, Note 4)	V_F	—	1.04	2.5	V
TOTAL DEVICE					
Standby Supply Current	I_{CC}	—	14	25	mA
Over-Voltage Shutdown Threshold ($+40^\circ\text{C}$, $T_A = -85^\circ\text{C}$)	$V_{th(OV)}$	16.5	18	20.5	V
Over-Voltage Shutdown Hysteresis (Device off to on)	$V_H(OV)$	0.3	0.6	1.0	V
Operating Voltage Lower Threshold ($+40^\circ\text{C}$, $T_A = -85^\circ\text{C}$)	V_{CC}	—	7.5	8.0	V

NOTES

3. The upper or lower hysteresis will be lost when operating the input, Pin 3, close to the respective rail. Refer to Figure 4.
 4. Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.

MC33030

FIGURE 1 — ERROR AMP INPUT COMMON MODE VOLTAGE RANGE versus TEMPERATURE

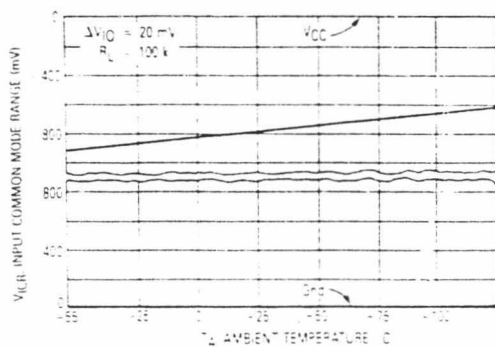


FIGURE 2 — ERROR AMP OUTPUT SATURATION versus LOAD CURRENT

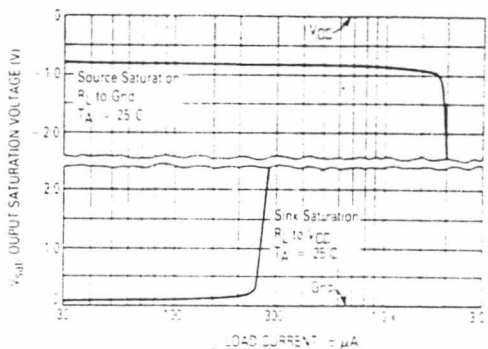


FIGURE 3 — OPEN-LOOP VOLTAGE GAIN AND PHASE versus FREQUENCY

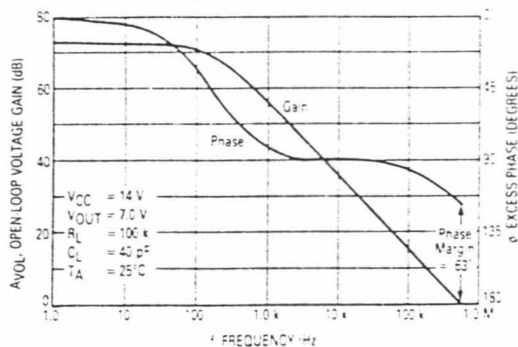


FIGURE 4 — WINDOW DETECTOR REFERENCE-INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE versus TEMPERATURE

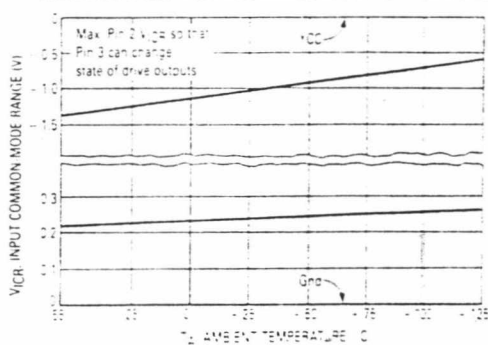


FIGURE 5 — WINDOW DETECTOR FEEDBACK-INPUT THRESHOLDS versus TEMPERATURE

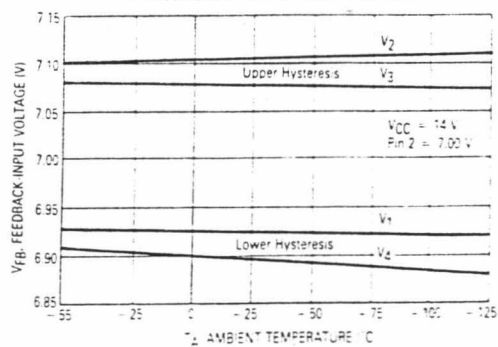
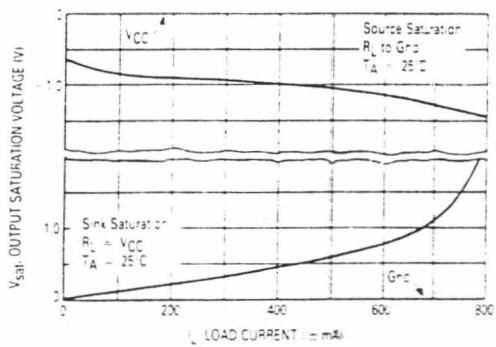


FIGURE 6 — OUTPUT DRIVE SATURATION versus LOAD CURRENT



MC33030

FIGURE 7 — BRAKE DIODE FORWARD CURRENT versus FORWARD VOLTAGE

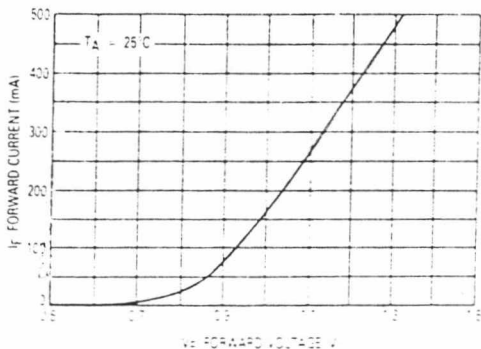


FIGURE 8 — OUTPUT SOURCE CURRENT-LIMIT versus OVER-CURRENT REFERENCE RESISTANCE

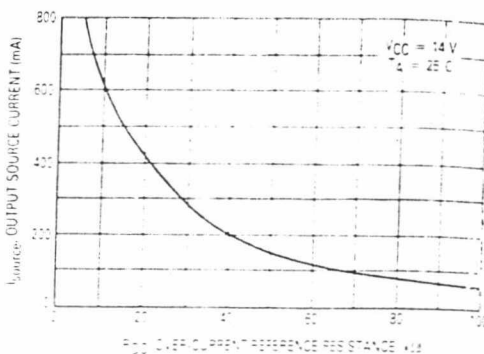


FIGURE 9 — OUTPUT SOURCE CURRENT-LIMIT versus TEMPERATURE

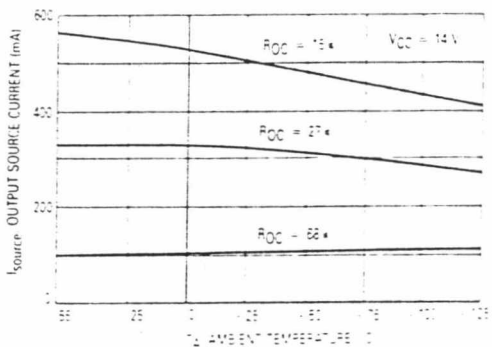


FIGURE 10 — NORMALIZED DELAY PIN SOURCE CURRENT versus TEMPERATURE

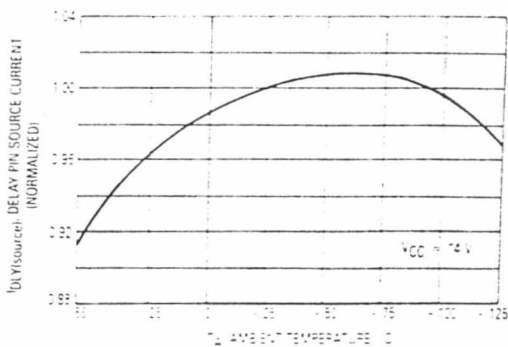


FIGURE 11 — NORMALIZED OVER-CURRENT DELAY THRESHOLD VOLTAGE versus TEMPERATURE

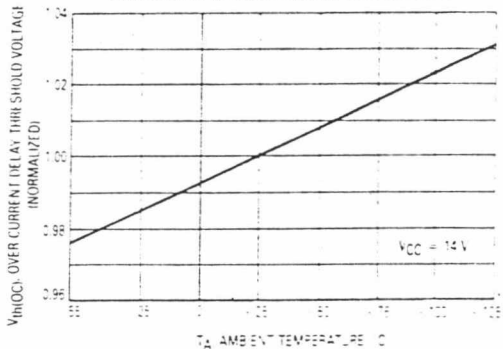
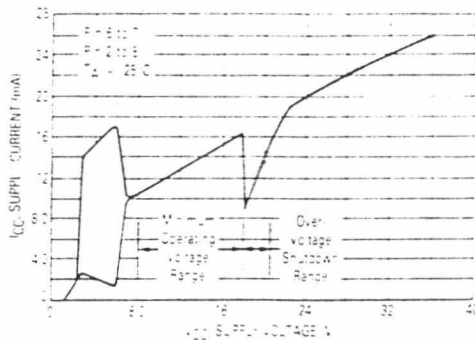


FIGURE 12 — SUPPLY CURRENT versus SUPPLY VOLTAGE



MC33030

FIGURE 13 — NORMALIZED OVER-VOLTAGE SHUTDOWN THRESHOLD versus TEMPERATURE

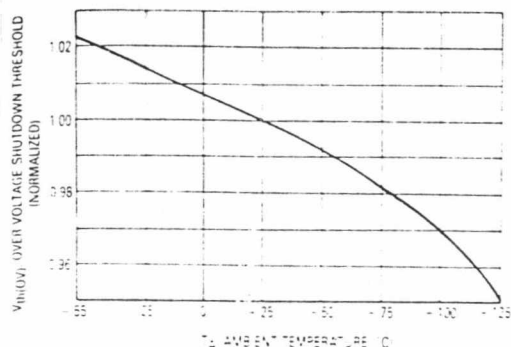


FIGURE 14 — NORMALIZED OVER-VOLTAGE SHUTDOWN HYSTERESIS versus TEMPERATURE

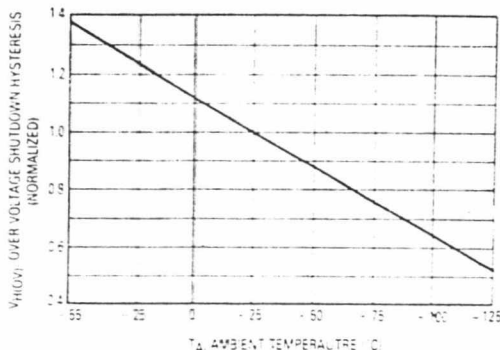
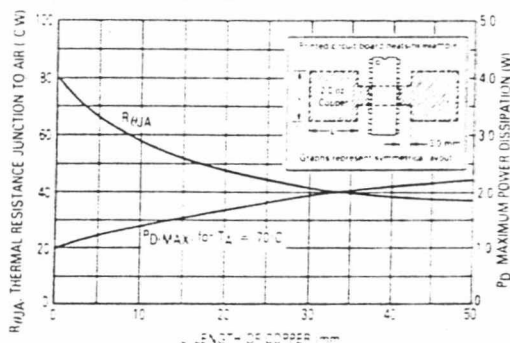


FIGURE 15 — THERMAL RESISTANCE AND MAXIMUM POWER DISSIPATION versus P.C.B. COPPER LENGTH



OPERATING DESCRIPTION

The MC33030 was designed to drive fractional horsepower dc motors and sense actuator position by voltage feedback. A typical servo application and representative internal block diagram are shown in Figure 16. The system operates by setting a voltage on the reference input of the Window Detector (Pin 1) which appears on (Pin 2). A dc motor then drives a position sensor, usually a potentiometer driven by a gear box, in a corrective fashion so that a voltage proportional to position is present at Pin 3. The servo motor will continue to run until the voltage at Pin 3 falls within the dead zone, which is centered about the reference voltage.

The Window Detector is composed of two comparators, A and B, each containing hysteresis. The reference input, common to both comparators, is pre-biased at $1/2 V_{CC}$ for simple two position servo systems and can easily be overridden by an external voltage divider. The feedback voltage present at Pin 3 is connected to the center of two resistors that are driven by an equal magnitude current source and sink. This generates an offset voltage at the input of each comparator which is

centered about Pin 3 that can float virtually from V_{CC} to ground. The sum of the upper and lower offset voltages is defined as the window detector input dead zone range.

To increase system flexibility, an on-chip Error Amp is provided. It can be used to buffer and/or gain-up the actuator position voltage which has the effect of narrowing the dead zone range. A PNP differential input stage is provided so that the input common-mode voltage range will include ground. The main design goal of the error amp output stage was to be able to drive the window detector input. It typically can source 1.8 mA and sink 250 μ A. Special design considerations must be made if it is to be used for other applications.

The Power H-Switch provides a direct means for motor drive and braking with a maximum source, sink, and brake current of 1.0 A continuous. Maximum package power dissipation limits must be observed. Refer to Figure 15 for thermal information. For greater drive current requirements, a method for buffering that maintains all the system features is shown in Figure 29.

MC33030

A timing diagram that depicts the operation of the Drive Brake Logic section is shown in Figure 17. The waveforms grouped in [1] show a reference voltage that was preset, appearing on Pin 7, which corresponds to the desired actuator position. The true actuator position is represented by the voltage on Pin 3. The points V_1 through V_4 represent the input voltage thresholds of comparators A and B that cause a change in their respective output state. They are defined as follows:

- V_1 Comparator B turn-off threshold
- V_2 Comparator A turn-on threshold
- V_3 Comparator A turn-off threshold
- V_4 Comparator B turn-on threshold
- V_1 - V_4 Comparator B input hysteresis voltage
- V_2 - V_3 Comparator A input hysteresis voltage
- V_2 - V_4 Window detector input dead zone range
- [V_2 V_{pin2}] [V_{pin2} V_4] Window detector input offset voltage

It must be remembered that points V_1 through V_4 always try to follow and center about the reference voltage setting if it is within the input common-mode voltage range of Pin 3; Figures 4 and 5. Initially consider that the feedback input voltage level is somewhere on the dashed line between V_2 and V_4 in [1]. This is within the dead zone range as defined above and the motor will be off. Now if the reference voltage is raised so that V_{pin3} is less than V_4 , comparator B will turn-on [3] enabling \bar{Q} Drive, causing Drive Output A to sink and B to source motor current [8]. The actuator will move in Direction B until V_{pin3} becomes greater than V_1 . Comparator B will turn-off, activating the brake enable [4] and \bar{Q} Brake [6] causing Drive Output A to go high and B to go into a high impedance state. The inertia of the mechanical system will drive the motor as a generator creating a positive voltage on Pin 10 with respect to Pin 14. The servo system can be stopped quickly, so as not to over-shoot through the dead zone range, by braking. This is accomplished by shorting the motor generator terminals together. Brake current will flow into the diode at Drive Output B, through the internal V_{CC} rail, and out the emitter of the sourcing transistor at Drive Output A. The end of the solid line and beginning of the dashed for V_{pin3} [1] indicates the possible resting position of the actuator after braking.

If V_{pin3} should continue to rise and become greater than V_2 , the actuator will have over shot the dead zone range and cause the motor to run in Direction A until V_{pin3} is equal to V_3 . The Drive Brake behavior for Direction A is identical to that of B. Overshooting the dead zone range in both directions can cause the servo system to continuously hunt or oscillate. Notice that the

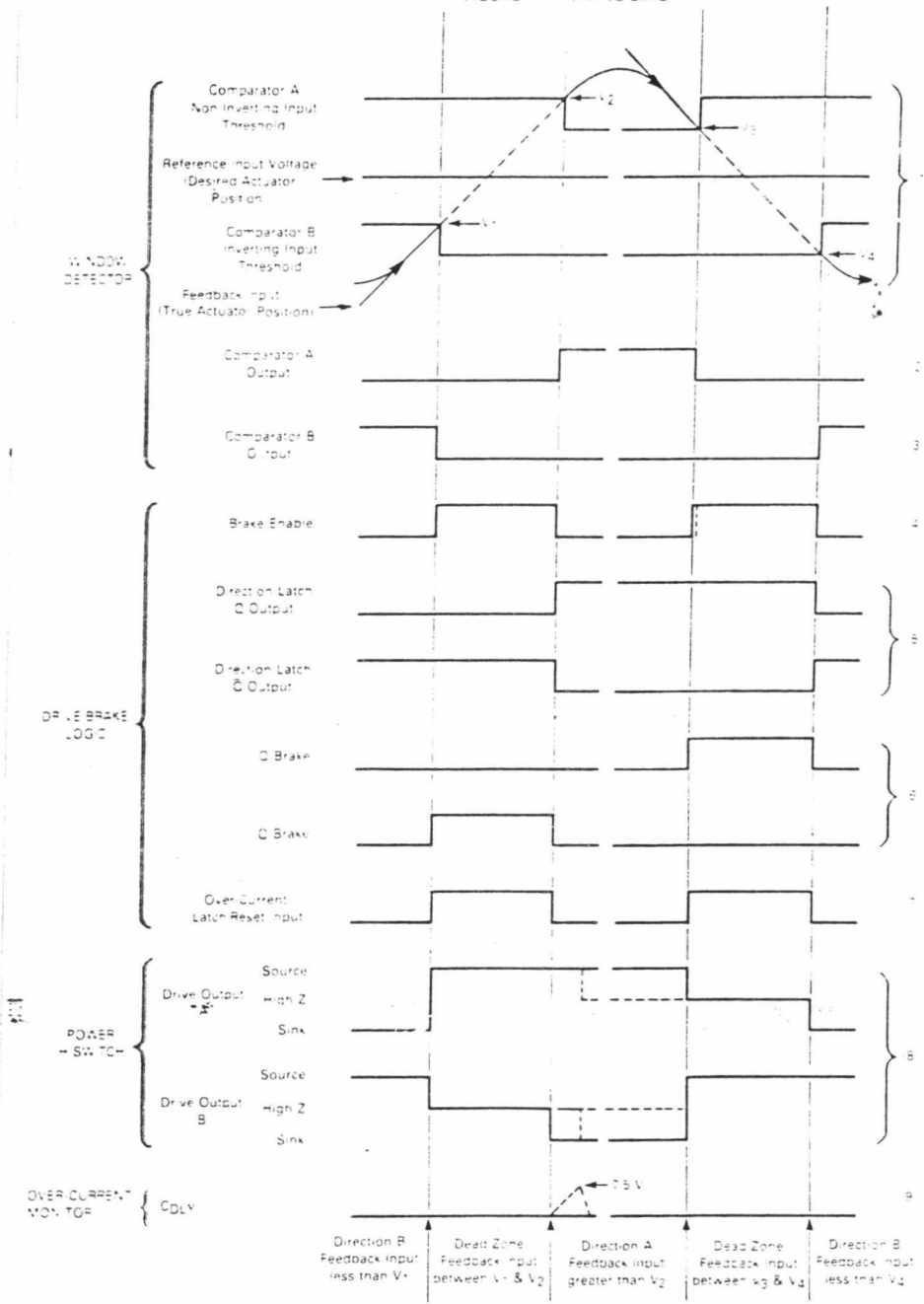
last motor run direction is stored in the direction latch. This information is needed to determine whether \bar{Q} or \bar{Q} Brake is to be enabled when V_{pin3} enters the dead zone range. The dashed lines in [8,9] indicate the resulting waveforms of an over-current condition that has exceeded the programmed time delay. Notice that both Drive Outputs go into a high impedance state until V_{pin2} is readjusted so that V_{pin3} enters or crosses through the dead zone [7,4].

The inputs of the Error Amp and Window Detector can be susceptible to the noise created by the brushes of the dc motor and cause the servo to hunt. Therefore, each of these inputs are provided with an internal series resistor and are pinned out for an external bypass capacitor. It has been found that placing a capacitor with short leads directly across the brushes will significantly reduce noise problems. Good quality RF bypass capacitors in the range of 0.001 to 0.1 μF may be required. Many of the more economical motors will generate significant levels of RF energy over a spectrum that extends from dc to beyond 200 MHz. The capacitance value and method of noise filtering must be determined on a system by system basis.

Thus far, the operating description has been limited to servo systems in which the motor mechanically drives a potentiometer for position sensing. Figures 18, 19, 26, and 30 show examples that use light, magnetic flux, temperature, and pressure as a means to drive the feedback element. Figures 20, 21 and 22 are examples of two position, open-loop servo systems. In these systems, the motor runs the actuator to each end of its travel limit where the Over-Current Monitor detects a locked rotor condition and shuts down the drive. Figures 31 and 32 show two possible methods of using the MC33030 as a switching motor controller. In each example a fixed reference voltage is applied to Pin 2. This causes V_{pin3} to be less than V_4 and Drive Output A, Pin 14, to be in a low state saturating the TIP42 transistor. In Figure 31, the motor drives a tachometer that generates an ac voltage proportional to RPM. This voltage is rectified, filtered, divided down by the speed set potentiometer, and applied to Pin 8. The motor will accelerate until V_{pin3} is equal to V_1 at which time Pin 14 will go to a high state and terminate the motor drive. The motor will now coast until V_{pin3} is less than V_4 where upon drive is then reapplied. The system operation of Figure 32 is identical to that of 31 except the signal at Pin 3 is an amplified average of the motor drive and back EMF voltages. Both systems exhibit excellent control of RPM with variations of V_{CC} ; however, Figure 31 has somewhat better torque characteristics at low RPM.

MC33030

FIGURE 17 — TIMING DIAGRAM



MC33030

FIGURE 18 — SOLAR TRACKING SERVO SYSTEM

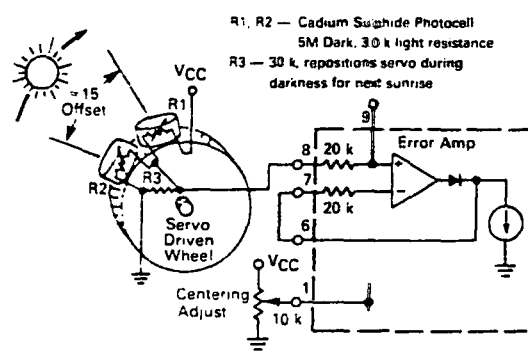
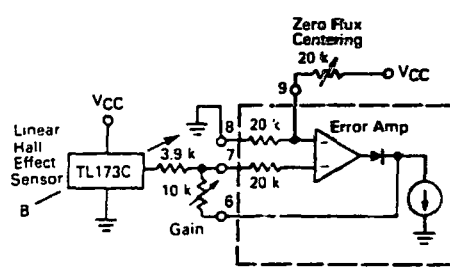
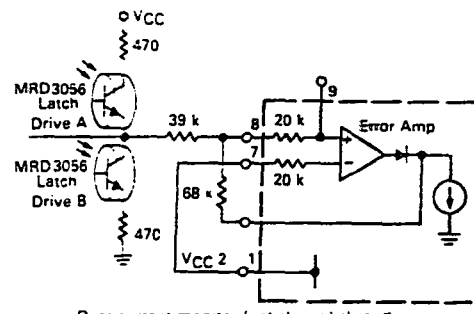


FIGURE 19 — MAGNETIC SENSING SERVO SYSTEM



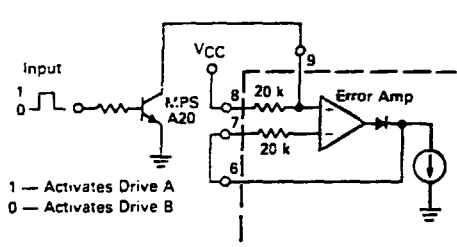
Typical sensitivity with gain set at 3.9 k is 1.5 mV gauss. Servo motor controls magnetic field about sensor

FIGURE 20 — INFRARED LATCHED TWO POSITION SERVO SYSTEM



Over-current monitor (not shown) shuts down servo when end stop is reached.

FIGURE 21 — DIGITAL TWO POSITION SERVO SYSTEM



Over-current monitor (not shown) shuts down servo when end stop is reached.

FIGURE 22 — 0.25 Hz SQUARE-WAVE SERVO AGITATOR

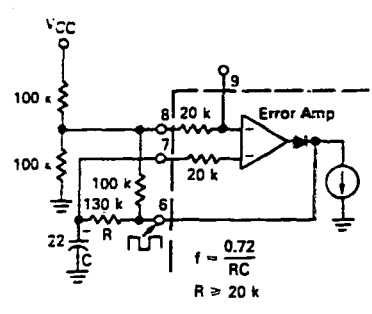
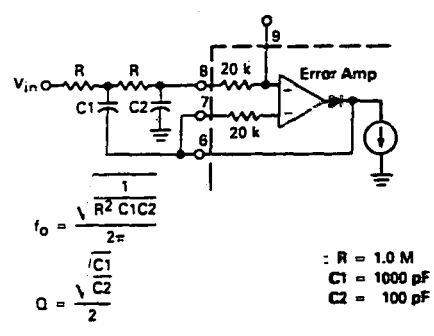


FIGURE 23 — SECOND ORDER LOW-PASS ACTIVE FILTER



MC33030

FIGURE 24 — NOTCH FILTER

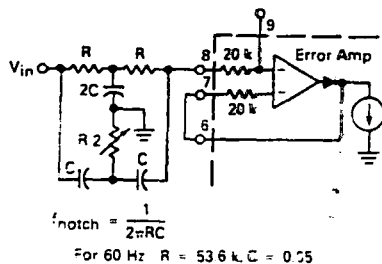


FIGURE 25 — DIFFERENTIAL INPUT AMPLIFIER

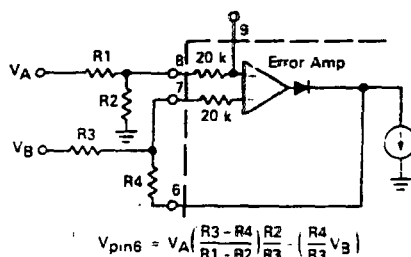


FIGURE 26 — TEMPERATURE SENSING SERVO SYSTEM

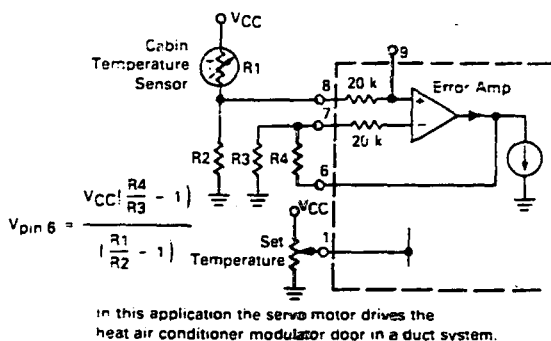


FIGURE 27 — BRIDGE AMPLIFIER

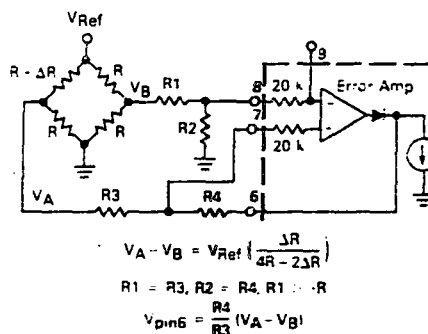


FIGURE 28 — REMOTE LATCHED SHUTDOWN

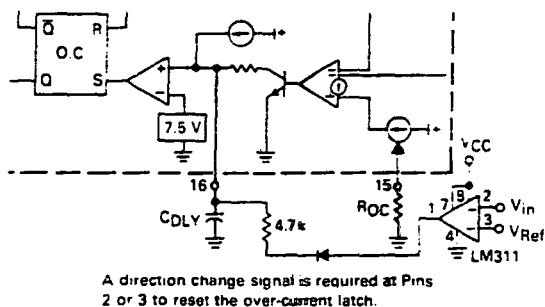
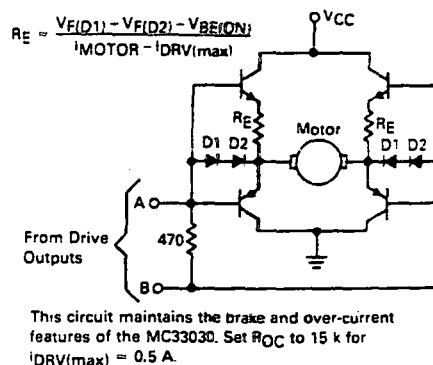
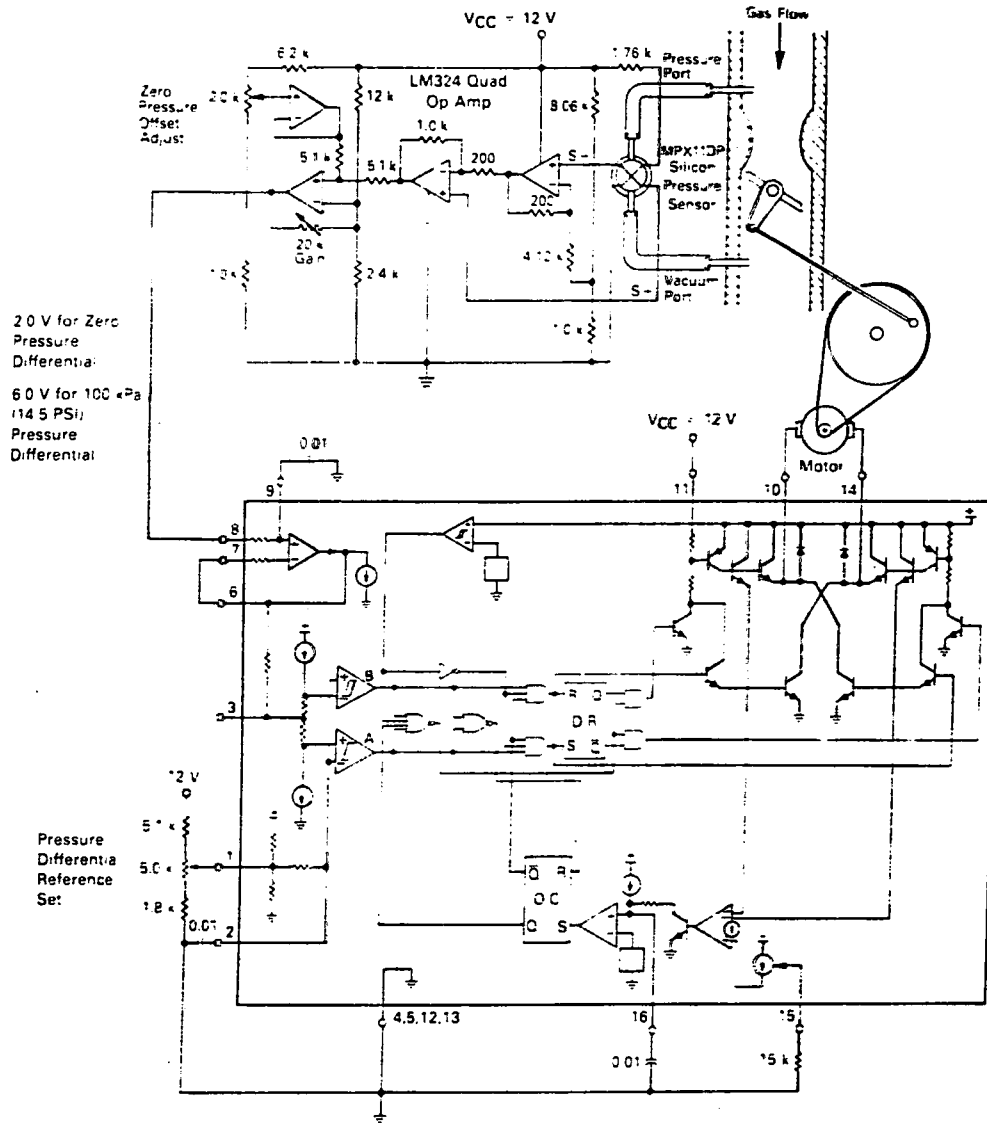


FIGURE 29 — POWER M-SWITCH BUFFER



MC33030

FIGURE 30 — ADJUSTABLE PRESSURE DIFFERENTIAL REGULATOR



เอกสารอ้างอิง

1. บัญชา จิตติวรรณ "ชุดทดสอบคุณสมบัติทางแม่เหล็กของสารด้วยวิธี ดี.ซี.อีสเทอร์ซีส"
วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี, ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์, คณะวิทยาศาสตร์,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2532.
2. อารีย์ วิเชียรฉาย, วิชิต ศิริโชติ "ชุดจ่ายกระแสตรง 100 แอมป์ สำหรับระบบเคลื่อนไอออน"
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง, 2537.
3. วารุณี แดงชม "วงจรกระแสคงที่" เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์, 127 (2536) : 67-71
4. ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ "เทคโนโลยีไอจีบีที" เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์, 134 (2536)
: 123-129.
5. เสกสิทธิ์ คำชมภู "วงจรรขยายคอลเล็กทอร์" เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์, 136 (2537)
: 100-101.
6. ไพศาล สลักฤทัย "การออกแบบและการใช้แผ่นระบายความร้อน" เซอร์กิตคอมพิวเตอร์, 4
(2527) : 67-72.
7. พิพัฒน์ เหล่าหงคราม ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 48 - MCS 51 คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
8. ยืน ภู่วรรณ ทฤษฎีและการประยุกต์ไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 : 112-129, ซีเอ็ดยูเคชั่น,
2533.
9. ธนัท ชัยยุทธ, กณพ แก้วพิชัย ดิจิตอลพื้นฐาน : 373-410, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2536.
10. Donnelly, J Michael., Kim Gauen. "ไอจีบีทีs and simulation models simplify automotive
ignition system design" Electronoc Engineering, January (1994) : 29-34.
11. David A. Bell in Operational Amplifiers, pp. 137-142, Prentice Hall, Inc., New Jersey,
1990.
12. International Rectifier (IR). ไอจีบีที Designer's Manual Application Information.