

เครื่องวัดลักษณะสมบัติของทอานซิสเตอร์
ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์



นายณัฐพล บัวเอี่ยม
นายรวิศ เชาวศิลป์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 43948
วัน, เดือน, ปี 8 ต.ธ. 2545

.b.....
.i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

Computerized curve tracer



Nattapon Bua-iem
Rawit Chaowasilp

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's Institute of Technology Ladkrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

เครื่องวัดลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ควบคุมโดย
คอมพิวเตอร์

โดย

นายณัฐพล บัวเยี่ยม

นายรวิศ เชาวศิลป์

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

(ผศ.วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชา

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

(ผศ.ดร.ปรีชา เทียนสมประสงค์)

ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา)

กรรมการ

(อ.วิษณุ เพชรภา)

กรรมการ

(รศ.ดร.อารีย์ วิเชียรฉาย)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

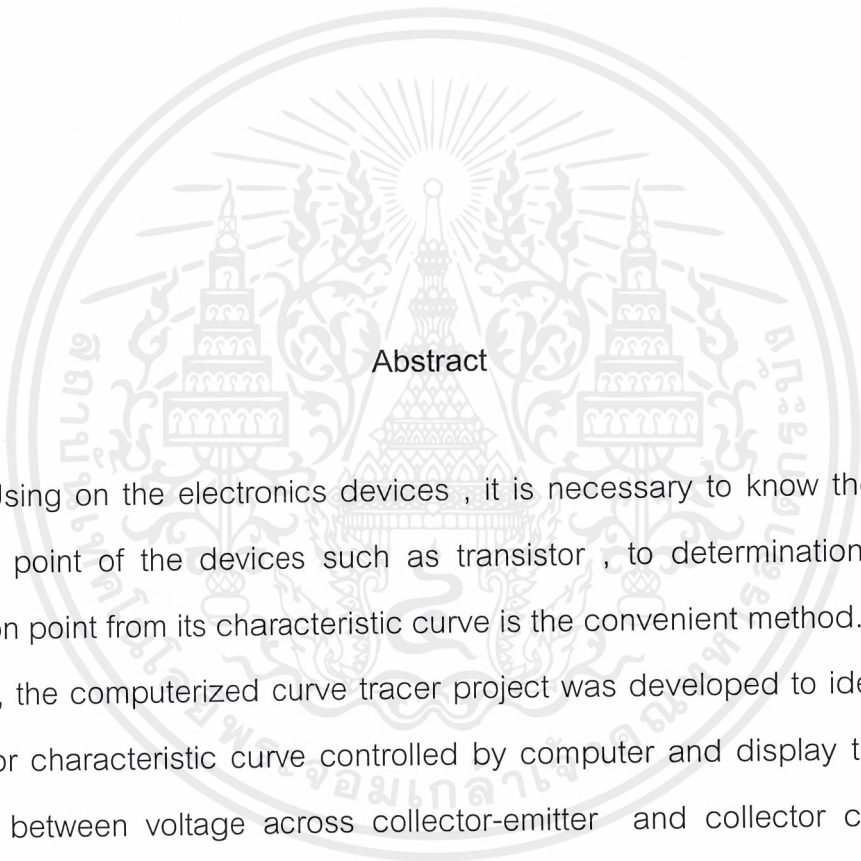
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	เครื่องวัดลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ควบคุมโดย คอมพิวเตอร์
นักศึกษา	นายณัฐพล บัวเยี่ยม นายวิศ ฑาชาศิลป์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาวัลดีดา
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

ในการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องทราบถึงจุดใช้งานที่เหมาะสม ดังเช่น ทรานซิสเตอร์ และการที่จะหาจุดที่เหมาะสมได้นั้นวิธีที่ง่ายและสะดวกคือหาจากกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์เอง ซึ่งโครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อประดิษฐ์เครื่องวัดลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ขึ้น โดยจะอยู่ในรูปเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ตกคร่อมขาคอลเลคเตอร์และขาอิมิตเตอร์ (Vce) กับกระแสคอลเลคเตอร์ (Ic) ที่ค่ากระแสเบส (Ib) ต่างๆกัน เพื่อจะได้ทราบจุดทำงานที่เหมาะสมเพื่อนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานต่อไป

Special Project Title	Computerized Curve Tracer
Name	Mr.Nattapon Bua-iam Mr.Rawit Chaowasilp
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Warawoot Thowladda
Department	Applied Physics
Academic Year	2001



Abstract

Using on the electronics devices , it is necessary to know the proper working point of the devices such as transistor , to determination of the operation point from its characteristic curve is the convenient method. For this reason , the computerized curve tracer project was developed to identify the transistor characteristic curve controlled by computer and display the curve relation between voltage across collector-emitter and collector current at different base current.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา

ซึ่งเป็นผู้ถ่ายทอดความรู้ทั้งในด้านวิชาการและให้คำปรึกษาในการทำงานเป็นอย่างดีจนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

บิดา – มารดา

ผู้ให้กำเนิด เลี้ยงดู และให้โอกาสในการศึกษาจนสำเร็จการศึกษา

คุณศิริชัย มินฉายีนุด

ที่ให้คำปรึกษาซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการเขียนโปรแกรมในโครงการนี้

คุณกฤดา ชื่นงูเหลือม

ที่ให้คำปรึกษาในการเขียนโปรแกรมในโครงการนี้

คณะผู้จัดทำ

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญรูปภาพ	ช
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขั้นตอนการทำงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 โครงสร้างและการทำงานของทรานซิสเตอร์	4
2.2 กระแสของทรานซิสเตอร์	4
2.3 แรงดันของทรานซิสเตอร์	4
2.4 การทำงานของทรานซิสเตอร์	5
2.4.1 การทำงานที่บริเวณคัทออฟ	5
2.4.2 การทำงานที่บริเวณอิ่มตัว	6
2.4.3 การทำงานที่บริเวณแอกทีฟ	6
2.5 เบตาไฟฟ้ากระแสตรง	7
2.6 อัลฟาไฟฟ้ากระแสตรง	7
2.8 กราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์	8
2.9 ข้อจำกัดในการทำงานของทรานซิสเตอร์	9
2.10 การเลือกจุดทำงานของทรานซิสเตอร์	10
2.11 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพอร์ตอานุกรม	11
2.11.1 การสื่อสารแบบอนุกรม	11
2.11.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	12

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
2.11.3 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232	15
2.11.4 UART	18
2.11.5 ชนิดของ UART	19
2.11.6 ลักษณะอินพุตและเอาต์พุตของพอร์ต RS-232	19
2.11.7 แอดเดรสของพอร์ตอนุกรม	20
2.12 คอนโทรล MSComm	21
2.12.1 ค่าคงที่คุณสมบัติของคอนโทรล MSComm	22
2.12.2 การใช้ MSComm เพื่อติดต่อฮาร์ดแวร์	23
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	24
3.1 ศึกษาทฤษฎีและหลักการการทำงานของทรานซิสเตอร์	24
3.2 ศึกษาและทดลองโดยใช้โปรแกรม HP VEE	24
3.3 ศึกษาและทดลองโดยใช้เครื่อง Curve Tracer	27
3.4 วิเคราะห์ข้อมูล	27
3.5 ศึกษาและออกแบบวงจรของเครื่องมือวัด	27
3.6 การทำงานของวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	29
3.6.1 ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์	29
3.6.2 ภาคจ่ายแรงดันให้แก่ขาคอลเลคเตอร์	31
3.6.3 ภาคจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	33
3.7 เขียนโปรแกรม Visual Basic เพื่อควบคุมการวัด	34
3.8 ทดลองและวิเคราะห์	36
บทที่ 4 ผลการทดลอง	37
4.1 ผลการทดลองเมื่อทดลองด้วยโปรแกรม HP VEE	37
4.1.1 ทดลองกับทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904	37
4.1.2 ทดลองกับทรานซิสเตอร์เบอร์ 3415	38
4.1.3 ทดลองกับทรานซิสเตอร์เบอร์ bc33825	39
4.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	40
4.2 ผลการทดลองที่ได้จากเครื่องมือวัด	40

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 ผลการวัดความต่างศักย์ของ LM317 ในแต่ค่าที่สั่ง ด้วยโวลต์มิเตอร์ที่วัดด้วย ADC0808	40
4.2.2 ผลทดลองผลการวัดความต่างศักย์ของ DAC0808 ในแต่ค่าที่สั่ง ด้วยโวลต์มิเตอร์	43
4.3 ผลการทดลองวัดลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์	47
4.3.1 ผลการทดลองของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904	47
4.3.2 ผลการทดลองของทรานซิสเตอร์เบอร์ bc33825	51
4.3.3 ผลการทดลองของทรานซิสเตอร์เบอร์ c930	54
บทที่ 5 สรุปการทำงานและวิจารณ์ผลการทดลอง	58
5.1 สรุปผลการทำงาน	58
5.2 ประสิทธิภาพของเครื่องวัดลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์	58
5.3 วิจารณ์ผลการทดลอง	58
5.4 ข้อเสนอแนะ	59
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการติดตั้งและใช้งานโปรแกรม	
ภาคผนวก ข ซอร์สโคดโปรแกรม	
ภาคผนวก ค รายละเอียดของไอซีที่ใช้ในวงจร	
บรรณานุกรม	
ประวัติผู้จัดทำโครงการพิเศษ	

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับอินพุต	4
รูปที่ 2.2 แสดงแรงดันไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์ที่เกิดขึ้น	5
รูปที่ 2.3 แสดงการไบอัสกลับที่รอยต่อทั้งสองของทรานซิสเตอร์	5
รูปที่ 2.4 แสดงการไบอัสตรงที่รอยต่อทั้งสองของทรานซิสเตอร์	6
รูปที่ 2.5 แสดงการไบอัสตรงที่รอยต่ออิมิตเตอร์-เบส และไบอัสกลับที่รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส	6
รูปที่ 2.6 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์	8
รูปที่ 2.7 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ที่ I_B ค่าต่างๆ	8
รูปที่ 2.8 แสดงกราฟกำลังสูญเสียสูงสุด	9
รูปที่ 2.9 แสดงจุดทำงานของทรานซิสเตอร์	10
รูปที่ 2.10 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรม	12
รูปที่ 2.11 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส	13
รูปที่ 2.12 การจัดขาของคอนเน็คเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบDB-9 และDB-25	16
รูปที่ 2.13 (ก) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ Null Modem	18
รูปที่ 2.13 (ข) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ RS-232 โดยใช้สัญญาณเพียง 3 เส้น	18
รูปที่ 2.14 ไดอะแกรมโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของพอร์ตอนุกรม	20
รูปที่ 3.1 แสดงหน้าต่างโปรแกรม HP VEE	24
รูปที่ 3.2 แสดงหน้าต่างโปรแกรม HP VEE ขณะทำการทดลอง	25
รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม HP VEE	26
รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องวัดลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์	27
รูปที่ 3.5 หลักการทำงานของเครื่องวัด	28
รูปที่ 3.6 วงจรภาคไมโครคอนโทรลเลอร์	29
รูปที่ 3.7 วงจรตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกา LM555	30
รูปที่ 3.8 วงจรภาคจ่ายแรงดันให้แก่ขาคอลเลคเตอร์	31
รูปที่ 3.9 วงจรส่วนปรับความต้านทาน	32

สารบัญรูป (ต่อ)

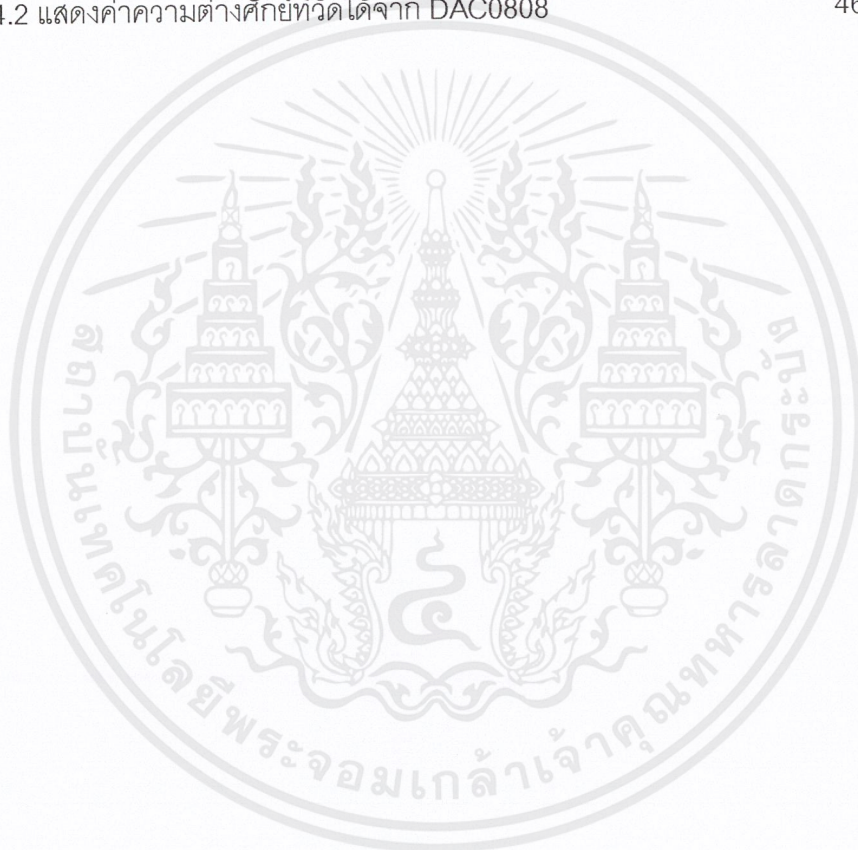
	หน้า
รูปที่ 3.10 ภาคจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	33
รูปที่ 3.11 แสดงหน้าจอลือค่า I_B	34
รูปที่ 3.12 แสดงหน้าจอนะวัตกราฟ	35
รูปที่ 3.13 แสดงหน้าจอตารางข้อมูล	35
รูปที่ 3.14 แสดงการคำนวณค่า ΔI_B และ ΔI_C	36
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ 2N3904 ที่ได้จากการทดลอง	37
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ 3415 ที่ได้จากการทดลอง	38
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ bc33825 ที่ได้จากการทดลอง	39
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันของ LM317 ที่วัดด้วยโวลต์มิเตอร์กับวัดด้วย ADC0808	
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันของ DAC 0808 ที่วัดด้วยโวลต์มิเตอร์กับค่าที่ตั้ง	
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ 2N3904 ที่ $R_C = 1\text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $10\text{ }\mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $10\text{ }\mu\text{A}$ จำนวน 5 เส้น	47
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ 2N3904 ที่ $R_C = 1\text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $50\text{ }\mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $10\text{ }\mu\text{A}$ จำนวน 5 เส้น	47
รูปที่ 4.8 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ 2N3904 ที่ $R_C = 1\text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $100\text{ }\mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $10\text{ }\mu\text{A}$ จำนวน 5 เส้น	48
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ 2N3904 ที่ $R_C = 1\text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $10\text{ }\mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $50\text{ }\mu\text{A}$ จำนวน 5 เส้น	48
รูปที่ 4.10 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ 2N3904 ที่ $R_C = 1\text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $10\text{ }\mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $10\text{ }\mu\text{A}$ จำนวน 10 เส้น	49
รูปที่ 4.11 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ 2N3904 ที่ $R_C = 500\Omega$ เริ่มต้นที่ $10\text{ }\mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $10\text{ }\mu\text{A}$ จำนวน 10 เส้น	49

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 μA จำนวน 5 เส้น ได้ค่าเบต้า 140	50
รูปที่ 4.13 แสดงกราฟที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 50 μA จำนวน 5 เส้น ได้ค่าเบต้า 136	50
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ Bc33825 ที่ $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ 10 μA เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 μA จำนวน 5 เส้น	51
รูปที่ 4.15 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ Bc33825 ที่ $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ 10 μA เพิ่มขึ้นครั้งละ 25 μA จำนวน 5 เส้น	51
รูปที่ 4.16 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ Bc33825 ที่ $R_C = 500\Omega$ เริ่มต้นที่ 10 μA เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 μA จำนวน 5 เส้น	52
รูปที่ 4.17 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ Bc33825 ที่ $R_C = 500\Omega$ เริ่มต้นที่ 10 μA เพิ่มขึ้นครั้งละ 25 μA จำนวน 5 เส้น	52
รูปที่ 4.18 แสดงกราฟที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 μA จำนวน 5 เส้น ได้ค่าเบต้า 230	53
รูปที่ 4.19 แสดงกราฟที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 50 μA จำนวน 5 เส้น ได้ค่าเบต้า 229	53
รูปที่ 4.20 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ c930 ที่ $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ 10 μA เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 μA จำนวน 5 เส้น	54
รูปที่ 4.21 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ c930 ที่ $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ 10 μA เพิ่มขึ้นครั้งละ 25 μA จำนวน 5 เส้น	54
รูปที่ 4.22 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ c930 ที่ $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ 50 μA เพิ่มขึ้นครั้งละ 25 μA จำนวน 5 เส้น	55
รูปที่ 4.23 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ c930 ที่ $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ 10 μA เพิ่มขึ้นครั้งละ 25 μA จำนวน 10 เส้น	55
รูปที่ 4.24 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ c930 ที่ $R_C = 500\Omega$ เริ่มต้นที่ 10 μA เพิ่มขึ้นครั้งละ 25 μA จำนวน 5 เส้น	56
รูปที่ 4.25 แสดงกราฟของทรานซิสเตอร์ c930 ที่ $R_C = 500\Omega$ เริ่มต้นที่ 10 μA เพิ่มขึ้นครั้งละ 25 μA จำนวน 10 เส้น	56
รูปที่ 4.26 แสดงกราฟที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 μA จำนวน 5 เส้น ได้ค่าเบต้า 140	57
รูปที่ 4.27 แสดงกราฟที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 50 μA จำนวน 5 เส้น ได้ค่าเบต้า 135	57

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 กำหนดการทำงานวิจัย	3
ตารางที่ 2.1 แสดงปิตพาวริตีของข้อมูล	14
ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลในแอดเดรส 0000:0411	21
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จาก LM317	43
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จาก DAC0808	46



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันเครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตของมนุษย์เรามากขึ้น ยกตัวอย่าง เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ต่างๆ เครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องรับวิทยุ เครื่องซักผ้า เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำรงชีวิต คือทำให้ชีวิตมีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น หากได้เป็นสิ่งฟุ่มเฟือยเหมือนในอดีต และสิ่งที่เป็นส่วนประกอบที่เล็กมากแต่ก็มีความสำคัญมากอย่างหนึ่งในเครื่องใช้เหล่านั้นคือทรานซิสเตอร์ ซึ่งทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณต่างๆ กล่าวคือเมื่อทรานซิสเตอร์อยู่ในช่วงทำงานที่เหมาะสม จะสามารถทำให้สัญญาณทางด้านเอาต์พุตมีค่ามากกว่าสัญญาณทางด้านอินพุต

ซึ่งการที่จะเลือกช่วงที่ทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้ดีนั้นจะต้องพิจารณาองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น แรงดันระหว่างขาคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์สูงสุด ($V_{CE(max)}$) กระแสคอลเลคเตอร์สูงสุด ($I_{C(max)}$) กำลังสูญเสียสูงสุด ($P_{C(max)}$) เป็นต้น ซึ่งค่าเหล่านี้หาได้จากคู่มือของทรานซิสเตอร์เบอร์นั้นๆ แต่บางคู่มือนั้นบอกแค่ค่า ตัวแปรต่างๆ นั้นมีค่าเท่าใด จึงไม่สามารถกำหนดจุดที่ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ดีที่สุดได้ โดยสิ่งที่สามารถช่วยหาจุดนั้นได้คือ กราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ (Characteristic Curves) ซึ่งกราฟนั้นบอกถึงบริเวณอิ่มตัว (Saturation Region) บริเวณแอกทีฟ (Active Region) และบริเวณเบรกดาวน์ (Breakdown Region) ของทรานซิสเตอร์ และเมื่อรวมกับค่าต่างๆ ที่ได้จากคู่มือนั้นก็จะสามารถหาจุดที่ทรานซิสเตอร์นั้นสามารถทำงานได้ดีที่สุดได้

การหากราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์นั้นสามารถทำได้ด้วยตัวเองโดยกำหนดค่ากระแสเบสไว้ค่าหนึ่ง ซึ่งก็คือการจ่ายค่าแรงดันไฟฟ้าภายนอกที่ขาเบส (V_{BB}) ไว้ค่าหนึ่ง หลังจากนั้นจึงเพิ่มแรงดันไฟฟ้าภายนอกที่ขาคอลเลคเตอร์ (V_{CC}) ขึ้นเป็นขั้นๆ พร้อมทั้งวัดค่าแรงดันระหว่างขาคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์ (V_{CE}) และกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) ไปด้วย หลังจากนั้นก็นำข้อมูลมาวิเคราะห์แล้วจึงนำมาเขียนกราฟ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยาก และใช้เวลานาน

งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือเพื่อที่จะใช้หากกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ขึ้น โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการเพิ่มของ V_{BB} และ V_{CC} ผ่านทางอุปกรณ์แปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นอนาล็อก (Digital-to-Analog Converter : DAC) และวัดค่า V_{CE} เข้ามาทางอุปกรณ์แปลงข้อมูลอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog-to-Digital

Converter : ADC) เพื่อเข้ามาคำนวณ I_c และเก็บข้อมูลต่างๆไว้ และใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก (Visual Basic) นำข้อมูลมาเขียนเป็นกราฟเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ต่อไป

แต่เพื่อจะได้ทราบว่าขั้นตอนไหนควรใช้ DAC ขั้นตอนไหนควรใช้ ADC และรูปแบบการทำงานเป็นอย่างไร จึงได้มีการทดลองกับโปรแกรม HP VEE และส่งงานผ่านแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่สามารถควบคุมได้กับหัววัดที่จะเก็บค่าต่างๆที่ต้องการ และนำข้อมูลมาเขียนกราฟเพื่อนำไปวิเคราะห์และเก็บไว้เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะของกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาหลักการและวิธีหากราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาหลักการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.2.4 เพื่อศึกษาหลักการใช้งานของอุปกรณ์แปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นอนาล็อก
- 1.2.5 เพื่อศึกษาหลักการใช้งานของอุปกรณ์แปลงข้อมูลอนาล็อกเป็นดิจิทัล
- 1.2.6 เพื่อศึกษาหลักการและประดิษฐ์เครื่องมือที่ใช้ในการหากราฟลักษณะสมบัติของ

ทรานซิสเตอร์

1.3 ขั้นตอนการทำงาน

- 1.3.1 ศึกษารวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 1.3.2 ทดลองหลักการการทำงานโดยใช้โปรแกรม HP VEE พร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง
- 1.3.3 ศึกษาและออกแบบวงจรเครื่องมือวัดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.3.4 ดำเนินการสร้างเครื่องมือวัดลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์
- 1.3.5 ทดลองเครื่องมือวัดพร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง
- 1.3.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง และเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลการทดลองจากโปรแกรม HP VEE และ เครื่อง Curve Tracer 370A

โดยกำหนดการทำงานวิจัยมีดังนี้

ช่วงเวลา	กิจกรรม
มิถุนายน 2544	เสนอชื่อโครงการ
กรกฎาคม ถึง สิงหาคม 2544	รวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและทดลองโดยใช้โปรแกรม HP VEE
กันยายน 2544	เขียนรายงานความคืบหน้า
ตุลาคม 2544	ออกแบบวงจรและจัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ทำงาน
พฤศจิกายน 2544 ถึง มกราคม 2545	ทำการสร้างเครื่องมือวัดตามแบบและทำการทดลอง พร้อมทั้งนำผลการทดลองมาวิเคราะห์
กุมภาพันธ์ 2545	เขียนรายงานการวิจัย

ตารางที่ 1 กำหนดการทำงานวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและประดิษฐ์เครื่องวัดลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ เพื่อนำไปใช้วัดและหาค่าพารามิเตอร์ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ ซึ่งสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำกว่าการวัดที่ต้องเปลี่ยนค่าตัวแปรตัวเอง อีกทั้งยังนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการได้อีกด้วย

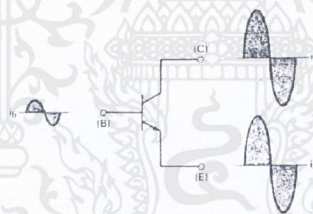
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 โครงสร้างและการทำงานของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กที่สามารถขยายสัญญาณได้ คือมีสัญญาณทางขาออกมากกว่าสัญญาณขาเข้า ซึ่งประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 3 ชั้นต่อกัน จึงมีรอยต่อระหว่าง p และ n จำนวน 2 ตำแหน่ง ตำแหน่งที่อิมิตเตอร์เชื่อมต่อกับเบสเรียกว่า รอยต่ออิมิตเตอร์-เบส ส่วนตำแหน่งที่คอลเลคเตอร์เชื่อมต่อกับเบสเรียกว่า รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส

2.2 กระแสของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ถูกควบคุมด้วยกระแสเบส (I_B) กล่าวคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้กระแสอิมิตเตอร์ (I_E) และกระแส คอลเลคเตอร์ (I_C) เปลี่ยนแปลงไปด้วย และเมื่อเลือกบริเวณการทำงานที่เหมาะสมก็จะได้ I_E และ I_C ที่มีขนาดมากขึ้นเมื่อเทียบกับ I_B ดังรูป



รูปที่ 2.1 แสดงสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับอินพุต

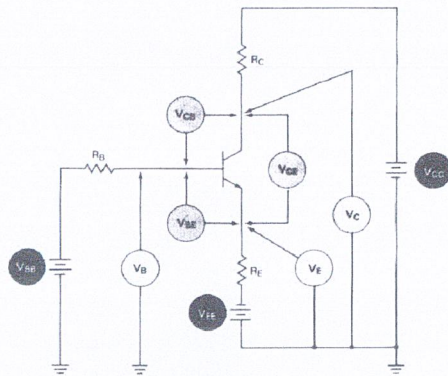
2.3 แรงดันของทรานซิสเตอร์

ขณะต่อทรานซิสเตอร์เพื่อใช้กับงานจริง มีแรงดันไฟฟ้าหลายประเภทเกิดขึ้นดังนี้

V_{CC} , V_{EE} , V_{BB} เป็นแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

V_C , V_B , V_E เป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากขั้วคอลเลคเตอร์ เบส และอิมิตเตอร์

V_{CE} , V_{BE} , V_{CB} เป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ระหว่างขั้วที่ระบุตามตัวห้อย



รูปที่ 2.2 แสดงแรงดันไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์ที่เกิดขึ้น

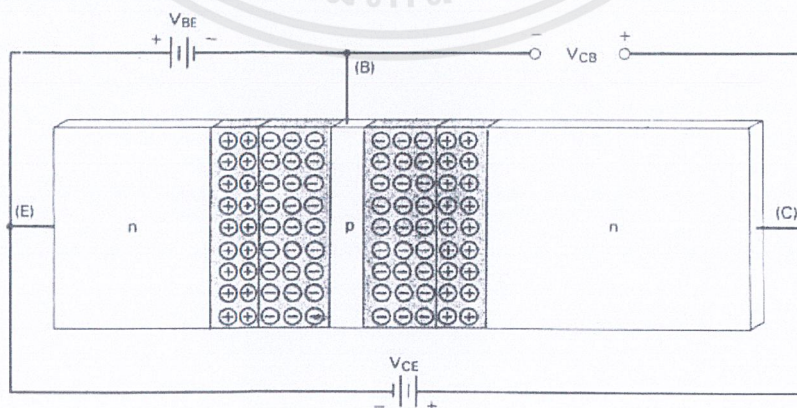
2.4 การทำงานของทรานซิสเตอร์

การที่จะนำทรานซิสเตอร์ไปใช้นั้นจะต้องมีการไบอัสที่รอยต่อทั้งสองด้วย ซึ่งการต่อแรงดันเพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงานมีอยู่ด้วยกันสามแบบคือ

- การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณคัตออฟ (Cut-off Region)
- การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณอิ่มตัว (Saturation Region)
- การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณแอกทีฟ (Active Region)

2.4.1 การทำงานที่บริเวณคัตออฟ

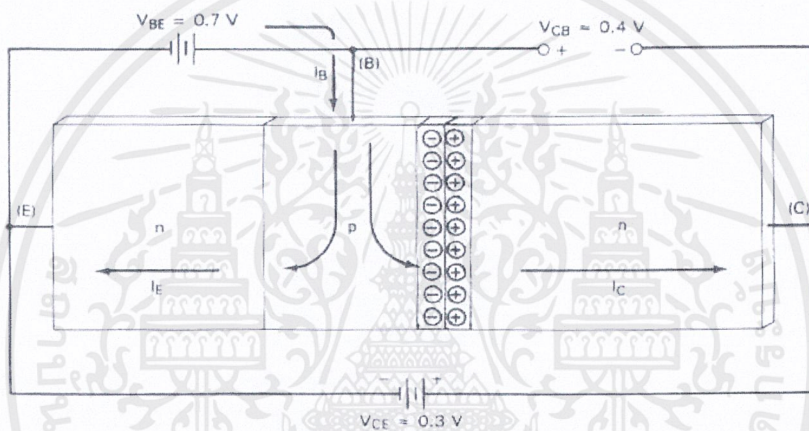
การต่อแหล่งจ่ายไฟให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณคัตออฟเป็นการไบอัสกลับที่รอยต่อทั้งสองตำแหน่ง ซึ่งจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านขั้วทั้งสามมีค่าใกล้ศูนย์ เนื่องจากบริเวณปลดพาหะทั้งสองบริเวณขยายกว้างขึ้น จึงมีเพียงกระแสย้อนกลับหรือกระแสรั่วไหลปริมาณต่ำมากเท่านั้นที่ไหลจากคอลเลคเตอร์ไปยังอิมิตเตอร์ได้



รูปที่ 2.3 แสดงการไบอัสกลับที่รอยต่อทั้งสองของทรานซิสเตอร์

2.4.2 การทำงานที่บริเวณอิมิตัว

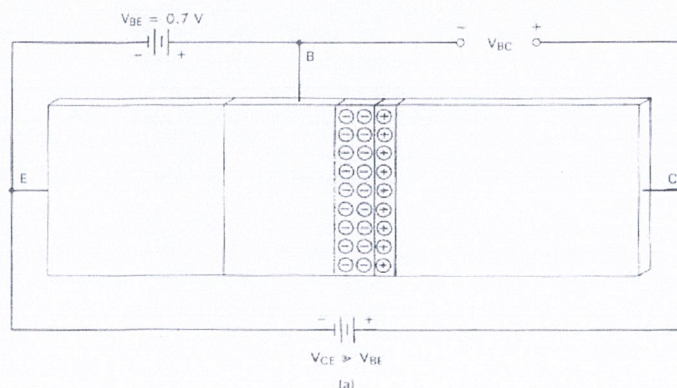
ในช่วงนี้กระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) จะเพิ่มตามกระแสเบส (I_B) จนถึงค่าสูงสุดหรือเรียกว่าทรานซิสเตอร์ถึงจุดอิมิตัว ซึ่ง ณ ตำแหน่งนี้ I_C จะไม่สามารถเพิ่มตาม I_B ได้อีกแล้ว การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณอิมิตัว เป็นการไบอัสตรงที่รอยต่อทั้งสองตำแหน่งของทรานซิสเตอร์ สมมติค่าแรงดันระหว่างขั้วคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์ (V_{CE}) ของทรานซิสเตอร์ขณะอิมิตัว มีค่า 0.3 โวลต์ ซึ่งต่ำกว่าแรงดันระหว่างขั้วเบส-อิมิตเตอร์ (V_{BE}) ที่มีค่า 0.7 โวลต์ บริเวณรอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส จะได้รับการไบอัสตรงด้วยผลต่างระหว่างแรงดัน V_{BE} กับ V_{CE} เท่ากับ 0.4 โวลต์



รูปที่ 2.4 แสดงการไบอัสตรงที่รอยต่อทั้งสองของทรานซิสเตอร์

2.4.3 การทำงานที่บริเวณแอกทีฟ

การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณแอกทีฟเป็นการไบอัสตรงที่รอยต่ออิมิตเตอร์-เบส และไบอัสกลับที่รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส และไบอัสกลับที่รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส



รูปที่ 2.5 แสดงการไบอัสตรงที่รอยต่ออิมิตเตอร์-เบส และไบอัสกลับที่รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เบตาไฟฟ้ากระแสตรง

พิกัดเบตาไฟฟ้ากระแสตรงของทรานซิสเตอร์ซึ่งมักเรียกสั้นๆว่า เบตา เป็นอัตราส่วนของ I_C ต่อ I_B เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

วงจรทรานซิสเตอร์ส่วนมากมีสัญญาณอินพุตจ่ายให้ขั้วเบส และสัญญาณเอาต์พุตออก จากขั้วคอลเลคเตอร์ เบตาจึงเป็นสัญลักษณ์แทนอัตราขยายกระแสตรงของทรานซิสเตอร์ เราสามารถหาค่ากระแสเบสได้ดังนี้

$$\begin{aligned} I_C &= \beta I_B \\ I_E &= I_B + I_C \\ &= I_B + \beta I_B \\ I_E &= I_B (1 + \beta) \end{aligned}$$

2.6 อัลฟาไฟฟ้ากระแสตรง

พิกัดอัลฟาของทรานซิสเตอร์ ซึ่งมักเรียกว่า อัลฟา คืออัตราส่วนของ I_C ต่อ I_E เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

ในทำนองเดียวกันเราสามารถหาค่า I_B ได้ดังนี้

$$I_B = I_E (1 - \alpha)$$

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัลฟาและเบตา

โดยทั่วไปข้อมูลของทรานซิสเตอร์จะระบุค่าเบตา แต่จะไม่มีค่าอัลฟา เนื่องจากมักใช้ค่าเบตาสำหรับการคำนวณในวงจรทรานซิสเตอร์มากกว่าอัลฟา แต่ในบางครั้งต้องหาอัลฟาเพื่อไปใช้คำนวณค่าอย่างอื่นต่อไป จึงมีวิธีการคำนวณหาค่าอัลฟาเริ่มจาก

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{I_C}{I_E} \\ \alpha &= \frac{\beta I_B}{I_B (1 + \beta)} \\ \alpha &= \frac{\beta}{1 + \beta} \end{aligned}$$

2.8 กราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์

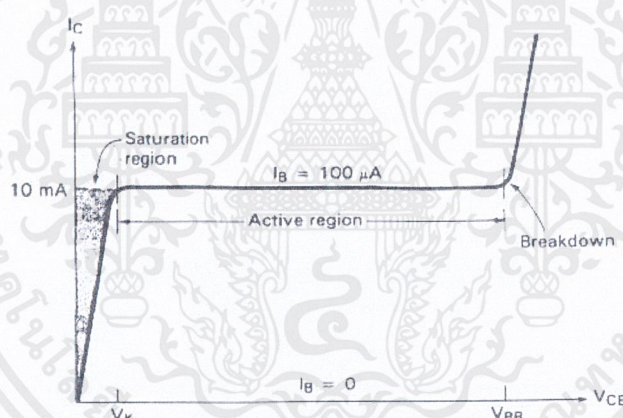
กราฟลักษณะสมบัติใช้อธิบายการทำงานของทรานซิสเตอร์ ประกอบด้วย กราฟคอลเลคเตอร์ (กราฟอิมิตเตอร์) , กราฟเบส และ กราฟเบตา ซึ่งกราฟที่ใช้บ่อยที่สุดคือกราฟคอลเลคเตอร์ ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) , กระแสเบส (I_B) และ แรงดันระหว่างขั้วคอลเลคเตอร์กับขั้วอิมิตเตอร์ (V_{CE})

สังเกตได้ว่ากราฟแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

-บริเวณอิ่มตัว (Saturation Region) คือบริเวณที่ทรานซิสเตอร์เริ่มทำงานซึ่งจะมีค่า V_{CE} ต่ำกว่า แรงดันที่ส่วนโค้งของกราฟ (V_K)

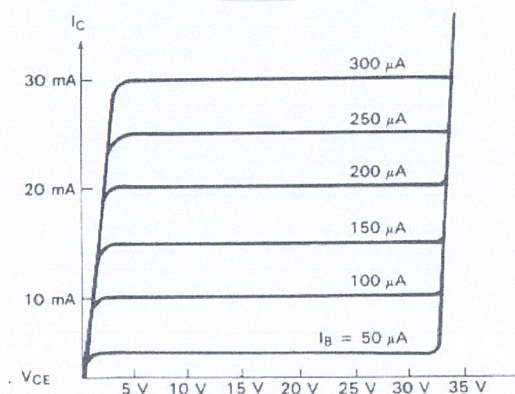
-บริเวณแอคทีฟ (Active Region) คือบริเวณที่มี V_{CE} อยู่ระหว่าง V_K ถึงแรงดันเบรกดาวน (V_{BR})

-บริเวณเบรกดาวน (Breakdown Region) คือบริเวณที่มีค่า V_{CE} มากกว่าแรงดันเบรกดาวนขึ้นไป



รูปที่ 2.6 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์

ถ้าเราเปลี่ยนค่า I_B หลายๆ ค่าก็จำได้กราฟคอลเลคเตอร์ดังรูป



รูปที่ 2.7 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ที่ I_B ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ข้อจำกัดในการทำงานของทรานซิสเตอร์

เราทราบว่ากราฟลักษณะของทรานซิสเตอร์ประกอบไปด้วย 3 บริเวณคือ บริเวณแอกทีฟ , คัดออฟ และอิมิตัว ถ้าต้องการได้สัญญาณเอาต์พุตที่ดีที่สุด ไม่เพี้ยนหรือบิดเบี้ยว ต้องกำหนดบริเวณการทำงานให้อยู่ในย่านแอกทีฟ เท่านั้น การนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งาน โดยไม่เกิดความเสียหายนั้นจะต้องมีค่า I_C ต่ำกว่า $I_{C(max)}$ และค่า V_{CE} ต่ำกว่า $V_{CE(max)}$ นอกจากนั้นค่า V_{CE} ที่ใช้งาน ต้องต่ำกว่า $V_{CE(max)}$ ด้วย กราฟคอลเลกเตอร์ เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่าง I_C กับ V_{CE} เส้นแนวตั้งของกราฟที่ตำแหน่ง $V_{CE(sat)}$ และ $V_{CE(max)}$ เป็นส่วนที่กำหนดขอบเขตการทำงานของทรานซิสเตอร์ ในบริเวณแอกทีฟ กล่าวคือ ตำแหน่ง $V_{CE(sat)}$ เป็นตัวกำหนดค่า V_{CE} ต่ำสุดที่ใช้งานได้ คือบอกให้ทราบว่าการทำงานของทรานซิสเตอร์ตั้งแต่ค่านี้ไปไม่อยู่ในบริเวณอิมิตัว ส่วนตำแหน่ง $V_{CE(max)}$ เป็นตัวกำหนดว่า V_{CE} สูงสุดที่ใช้งานได้ คือบอกให้ทราบว่าการทำงานของทรานซิสเตอร์ไม่อยู่ในบริเวณเบรกดาวน

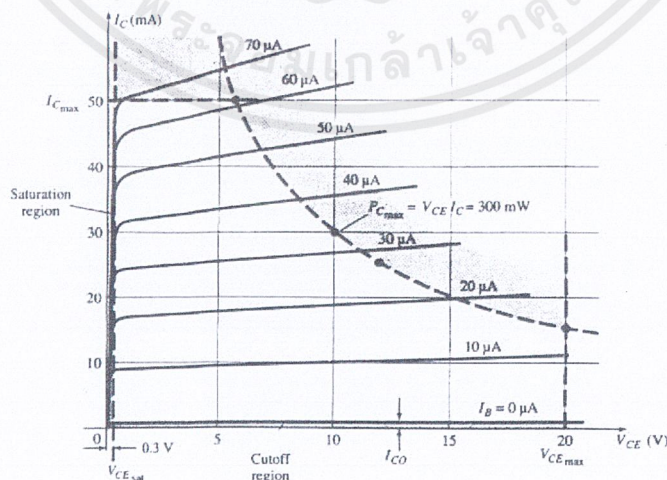
ตัวบ่งบอกขอบเขตการใช้งานของทรานซิสเตอร์นอกเหนือจาก $V_{CE(sat)}$ และ $V_{CE(max)}$ คือ กำลังสูญเสียสูงสุด $P_{C(max)}$ ซึ่งหาได้จาก

$$P_{C(max)} = V_{CE(max)} \times I_{CE(max)}$$

เมื่อทราบค่า $P_{C(max)}$ ก็จะสามารถเขียนกราฟกำลังสูญเสียสูงสุดที่มีความสัมพันธ์กับเส้นแนวตั้งของกราฟที่ตำแหน่ง $V_{CE(sat)}$ และ $V_{CE(max)}$ ได้โดยเลือกค่า V_{CE} และ I_C ที่เหมาะสมแล้วแทนลงในสมการ

$$P_{C(max)} = V_{CE} I_C$$

จากค่าที่ได้เมื่อนำมาเขียนกราฟ $P_{C(max)}$ เป็นเส้นโค้งประดังรูป



รูปที่ 2.8 แสดงกราฟกำลังสูญเสียสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับบริเวณคัตออฟคือบริเวณที่ I_C มีค่าเท่ากับกระแสรั่วไหล (I_{CO}) เป็นบริเวณที่ไม่เหมาะกับการใช้งาน เพราะจะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตที่เพี้ยนหรือบิดเบี้ยว ส่วนบริเวณที่อยู่ภายในกรอบเส้นประเรียกว่าบริเวณแอกทีฟถ้าต้องการให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณดังกล่าวต้องมี

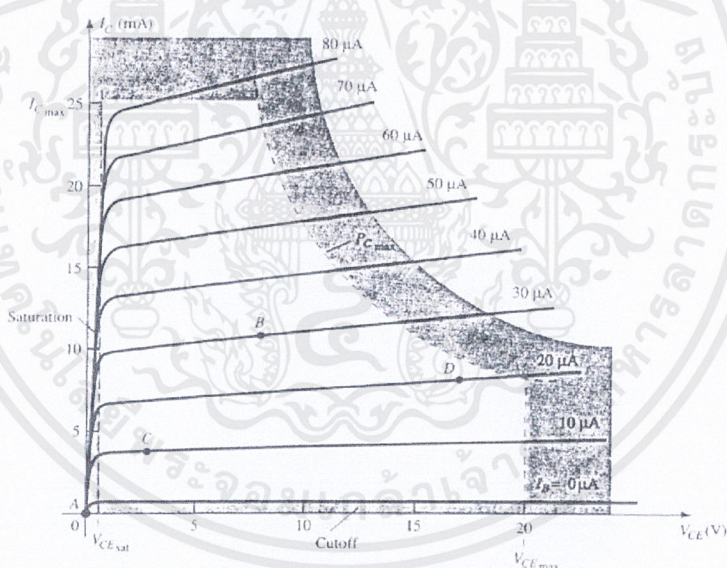
$$I_{CO} \leq I_C \leq I_{C(max)}$$

$$V_{CE(sat)} \leq V_{CE} \leq V_{CE(max)}$$

$$V_{CE} I_C \leq P_{C(max)}$$

2.10 การเลือกจุดทำงานของทรานซิสเตอร์

จากข้อจำกัดการทำงานของทรานซิสเตอร์ ทำให้ทราบว่าการเลือกจุดทำงาน (จุด Q) มีผลต่อสัญญาณเอาต์พุตที่ได้



รูปที่ 2.9 แสดงจุดทำงานของทรานซิสเตอร์

เมื่อจุด Q อยู่ที่ A ทรานซิสเตอร์ยังไม่ได้รับการไบอัสและอยู่ในสภาวะปิด จึงไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทรานซิสเตอร์หรือจุด Q ไม่ตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตใดๆ เมื่อจุด Q อยู่ที่ B ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณอินพุตทั้งสัญญาณด้านบวกและด้านลบ แต่สัญญาณอินพุตนั้นต้องไม่ทำให้สัญญาณเอาต์พุตทั้งด้านบวกและลบเปลี่ยนแปลงเข้าสู่บริเวณคัตออฟและบริเวณอิ่มตัวเพราะจะได้สัญญาณที่เพี้ยนหรือบิดเบี้ยว

เมื่อจุด Q อยู่ที่ C ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณอินพุตโดยเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาต์พุตทั้งด้านบวกและลบ แต่จำกัดค่าที่คัทออฟไว้ประมาณ $V_{CE} = 0$ V และ $I_C = 0$ mA ทำให้สัญญาณเอาต์พุตไม่สามารถขยายสัญญาณอินพุตได้มากนัก

เมื่อจุด Q อยู่ที่ D เป็นการกำหนดจุดทำงานของทรานซิสเตอร์ให้ใกล้แรงดัน V_{CE} สูงสุดและกำลังไฟฟ้าสูงสุด การสวิงของสัญญาณเอาต์พุตในทิศทางบวกต้องไม่เกินแรงดัน $V_{CE(max)}$

จึงสรุปได้ว่า จุด Q อยู่ที่ B เป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดเพราะสามารถรับการสวิงของสัญญาณเอาต์พุตได้มากที่สุด หรือสามารถขยายสัญญาณเอาต์พุตได้มากที่สุด

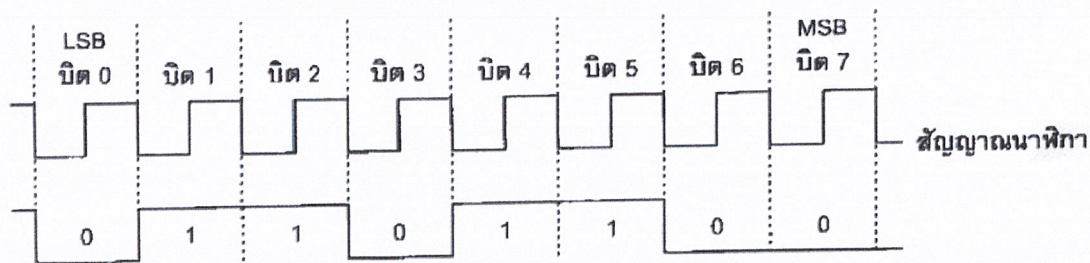
2.11 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม

มีทางเลือกอยู่ 2 ทางในการเคลื่อนย้ายข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่น ๆ หรือคอมพิวเตอร์ด้วยกัน นั่นคือการรับส่งข้อมูลแบบขนานและการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม การรับส่งข้อมูลแบบขนาน จะเป็นการรับส่งข้อมูลคราวละ 4 ถึง 8 บิต ในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้การรับส่งข้อมูลทำได้อย่างรวดเร็วซึ่งก็หมายความว่าจำนวนของสายที่ใช้ในการส่งจะต้องมีเท่ากับจำนวนบิตที่จะใช้ส่ง นอกจากนี้ยังรวมถึงสายที่ใช้สำหรับการควบคุมและการตรวจสอบการรับส่งข้อมูลด้วย ซึ่งอาจต้องใช้สายเป็นจำนวนมากเป็น 2 เท่า ของจำนวนบิตที่จะส่งได้ ซึ่งจะเป็นปัญหาในเรื่องราคาของสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบขนานมักมีราคาแพง

ในขณะที่การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมเป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต แต่ก็สามารถส่งข้อมูลที่ทีละหลาย ๆ บิตได้ หากแต่ต้องมีการตกลงกันระหว่างตัวรับกับตัวส่ง จะรับส่งข้อมูลคราวละกี่บิต ตัวรับจะต้องรับข้อมูลให้ครบทุกบิตเสียก่อนจึงทำการประมวลผล ส่งผลให้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน ในด้านจำนวนสายสัญญาณการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะใช้จำนวนสายน้อยกว่ามาก อย่างน้อยที่สุดจะใช้ 2 – 3 เส้นเท่านั้น แต่อัตราเร็วในการรับส่งต่ำกว่าแบบขนาน

2.11.1 การสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมอาจแบ่งได้ 2 แบบคือการสื่อสารแบบอนุกรมซิงโครนัสและการสื่อสารแบบอนุกรมอะซิงโครนัส การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิกาพร้อมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสคือ คีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสัญญาณนาฬิกา ส่วนอีกสายหนึ่งจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสจึงต้องใช้สายต่อกันอย่างน้อย 3 เส้น คือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูล และกราวด์



รูปที่ 2.10 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรม

2.11.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือการรับและส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วยเหมือนกับการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส แต่จะกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้กำหนดค่าให้ภาครับและภาคส่งนี้ว่า อัตราการถ่ายเทข้อมูล หรือ บอดเรต (baudrate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per second : bps)

รูปแบบข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัส แบ่งได้ 4 ส่วนคือ

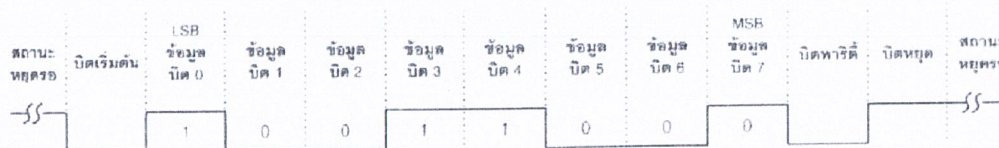
บิตเริ่มต้น (Start Bit) ซึ่งจะมีขนาด 1 บิต

บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5,6,7 หรือ 8 บิต

บิตตรวจสอบพาริตี (Parity Bit) จะมีขนาด 1 บิต หรือ ไม่มี

บิตปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1,1.5 หรือ 2 บิต

รูป 2.11 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส ขา DATA จะมีสถานะ ลอจิก "1" ซึ่งจะเรียกสถานะนี้ว่าสถานะหยุดรอ (Waiting Stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา DATA มี ลอจิก "0" ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต ซึ่งจะเรียกบิตนี้ว่าบิตเริ่มต้น จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) ก่อน ซึ่งข้อมูลในไบต์ที่จะส่งอาจจะมีจำนวนบิต 5,6,7 หรือ 8 บิตก็ได้ จากนั้นก็ตามด้วยบิตพาริตี เพื่อให้ตรวจสอบความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือบิตปิดท้าย ซึ่งจะให้ขา DATA มีสถานะเป็น ลอจิก "1" อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต, 1.5 บิต หรือ 2 บิต ซึ่งแสดงว่าเป็นการสิ้นสุดข้อมูลแล้ว



รูปที่ 2.11 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

อุปกรณ์พิเศษถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการรับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส เรียกว่า Universal Asynchronous Receiver / Transmitter หรือ UART อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือค่าบอดเรต ซึ่งก็คือจำนวนบิตต่อวินาทีที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลบอดเรตมาตรฐานที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 ได้แก่ 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 และ 19200 บิตต่อวินาที และมีค่ามากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ ซึ่งการรับส่งแบบอนุกรมโดยไม่ผ่านโมเด็มอาจจะกำหนดค่าบอดเรตได้สูงถึง 115200 บิตต่อวินาที เนื่องจากบอดเรตคือจำนวนบิตที่สามารถถ่ายทอดได้ภายใน 1 วินาที ยกตัวอย่างข้อมูลอนุกรมถูกส่งในลักษณะ 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูลที่รับส่งนี้เท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9600 บิตต่อวินาที ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที และถ้ามีการใช้พาริตีความเร็วในการรับส่งจะเป็น 872 ไบต์ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตีสามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่(Odd) แบบคู่(Even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตีก็ได้ การตรวจสอบพาริตีเป็นการตรวจสอบจำนวนรวมของบิตที่เป็น ลอจิก “1” ภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์ มีจำนวนรวมเป็นเลขคู่หรือเลขคี่โดยต้องรวมบิตพาริตีเข้าไปด้วย ยกตัวอย่างข้อมูลที่จะส่งมีขนาด 8 บิต และมีค่าเท่ากับ 99 ฐานสิบหก หรือ 10011001 ฐานสอง จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก “1” จำนวน 4 ตัวซึ่งเป็นเลขคู่ ค่าในบิตพาริตีจะต้องมีลอจิกเป็น “0” แต่ถ้าพาริตีเป็นคี่ ค่าพาริตีต้องเป็น “1” เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์ รวมทั้งบิตพาริตีที่มีจำนวนบิตที่เป็นลอจิก “1” มีจำนวนรวมกันเป็นเลขคี่ ตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างของบิตพาริตีในการรับส่งข้อมูลอนุกรม

ข้อมูล	บิตพาริตีคู่	บิตพาริตีคี่
00000000	0	1
00000001	1	0
00000010	1	0
00000011	0	1
00000100	1	0
11111110	0	1
11111111	1	0

ตารางที่ 2.1 แสดงบิตพาริตีของข้อมูล

บิตพาริตีถูกสร้างขึ้นจากภาคเก็บข้อมูลของ UART ซึ่งทางภาครับจะต้องทำการกำหนด การตรวจสอบพาริตีให้ตรงกันว่าจะตรวจสอบพาริตีคู่หรือพาริตีคี่ จากนั้นภาครับของ UART จะ ทำการตรวจสอบค่าพาริตีที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่ โดยการนับจำนวน ลอจิก "1" ทั้งหมดรวม ทั้งบิตพาริตีด้วย ถ้ากำหนดค่าพาริตีไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขจากการนับได้เป็นเลขคี่ ทางภาครับ จะแสดงค่าผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้งานทราบ นับเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการถ่าย ทอดข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่จะเชื่อถือได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้า ข้อมูลที่ทำการส่งมีการผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการ ตั้งบิตพาริตีเป็น NONE นั้นทั้งภาครับและภาคส่ง จะไม่มีการตรวจสอบพาริตี

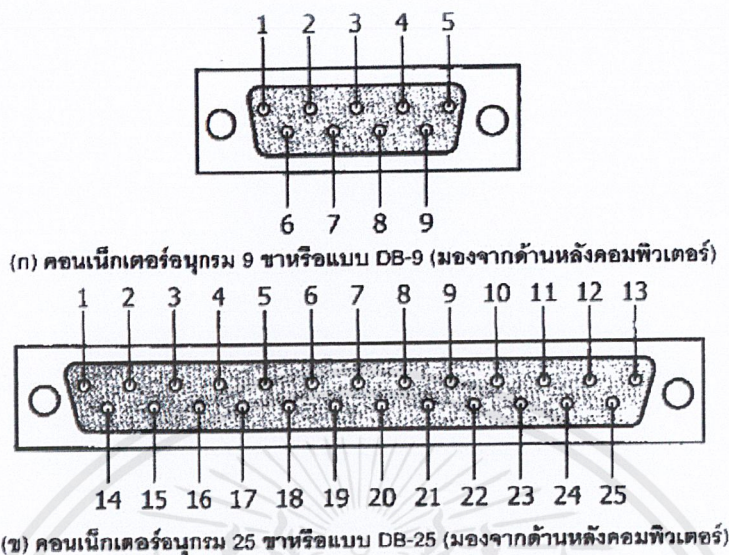
คอมพิวเตอร์รุ่น AT เกือบทั้งหมดจะใช้ UART เบอร์ 16450 และ 16550 ส่วน คอมพิวเตอร์รุ่น XT ใช้ UART เบอร์ 8250 UART ชิพ เหล่านี้ที่ระดับแรงดันเป็นแบบที่ทีแอล (0 และ +5V) แต่เพื่อให้มีแรงดันตามมาตรฐาน RS-232 และเพื่อให้การรับส่งข้อมูลทำได้ระยะ ทางไกลมากขึ้น ระดับแรงดันที่ทีแอลจะถูกแปลงเป็นระดับแรงดันที่สูงขึ้น โดย ลอจิก "0" มี ระดับแรงดัน +3V ถึง +12V ในขณะที่ ลอจิก "1" มีระดับแรงดัน -3V ถึง -12V

2.11.3 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อให้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อจะนำข้อมูลจากโมเด็มนั้นสื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ใกล้กัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่า สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Assosiation : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS – 232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีสัญญาณตั้งแต่ -3V ถึง -12V แสดงว่ามีข้อมูล(Mark) และ +3V ถึง +12V แสดงว่าเป็นช่องว่าง

มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) ไว้ว่า อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรม ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งให้เห็นได้ชัดก็คือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่โมเด็มจะเป็นแบบ DCE สำหรับใช้งานบนคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 และการเชื่อมต่อมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กแบบ DB-25 ตัวผู้ หรือ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้น เช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่น ๆ ที่เคยใช้ในอดีต ปัจจุบันมีการใช้งานไม่มากนักจึงถูกยกเลิกไป รูปร่างและตำแหน่งขาแสดงดังรูปที่ 3.13



คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier Detect : DCD	อินพุต
2	3	Received Data : RxD	อินพุต
3	2	Transmitted Data : TxD	เอาต์พุต
4	20	Data Terminal Ready : DTR	เอาต์พุต
5	7	Signal Ground : GND	-
6	6	Data Set Ready : DSR	อินพุต
7	4	Request To Send : RTS	เอาต์พุต
8	5	Clear To Send : CTS	อินพุต
9	22	Ring Indicator : RI	อินพุต

รูปที่ 2.12 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบDB-9 และDB-25

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก แสดงดังรูปที่ 3.14 ลูกศรในรูปแสดงทิศทางของข้อมูล ในรูปที่ 3.14 (ก) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null Modem หรือการเชื่อมต่อโดยตรงไม่ต้องผ่านโมเด็ม มีการตรวจสอบหรือแฮนด์เช็กเต็มรูปแบบ ส่วนในรูปที่ 3.14 (ข) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null Modem ในลักษณะที่ใช้สัญญาณเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับการส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์ สำหรับรายละเอียดการทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Carrier Detect : DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD สายนี้จะแยกตีฟ เมื่อมีการส่งสัญญาณพาหะจากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็มสำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานนัก

Receive Data : RD หรือ RxD สายนี้ใช้สำหรับรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายัง คอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลทีอ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ บัฟเฟอร์

Transmitted Data : TD หรือ TxD ขานี้ใช้ส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลทีเก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลส่งออกไป

Data Terminal Ready :DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ ต้องการติดต่อกับขา DTR นี้จะต้องเชื่อมกับขา DSR ของอุปกรณ์ที่ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางต้องต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้ค่าเชื่อมเป็นแบบ Null Modem ซึ่งใช้สายในการต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อกับขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีการสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาหะ

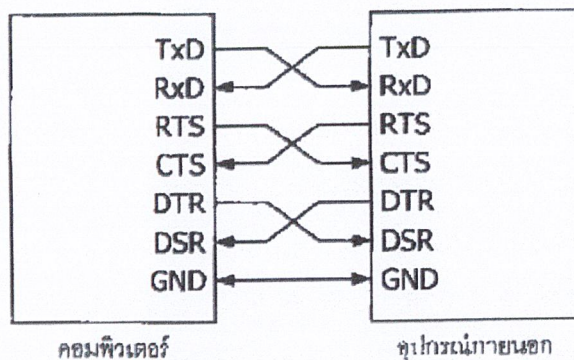
Signal Ground : SNG ขากราวด์ของระบบ

Data Set Ready : DSR ขานี้จะใช้คู่กับ DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกที่ถูกส่งเข้ามาจากขา DTR

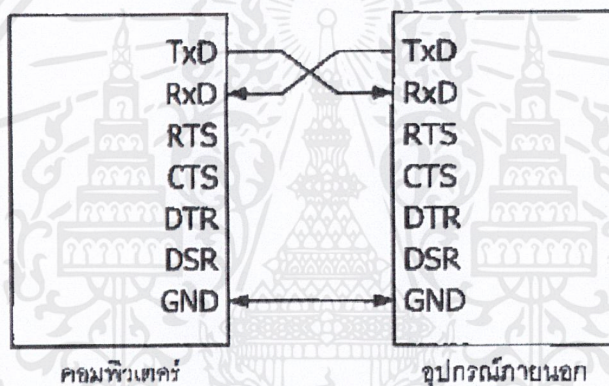
Requase To Send : RTS เป็นขาสำหรับสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อแบบ Null Modem 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อให้ให้การรับและการส่งข้อมูลเกิดขึ้นตลอดเวลา

Clear To Send : CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณ ได้ข้อมูลทีขา TxD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่

Ring Indicator : RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารทั่วไปขานี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มและโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น



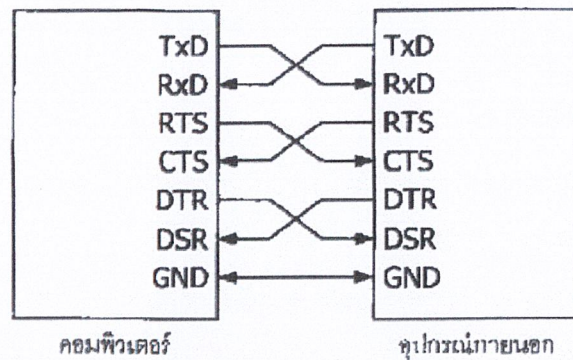
รูปที่ 2.13 (ก) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ Null Modem



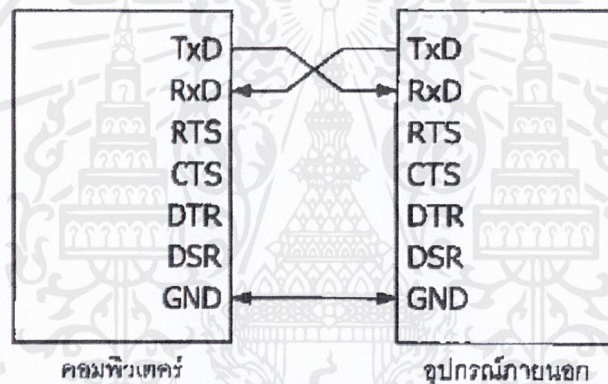
รูปที่ 2.13 (ข) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ RS-232
โดยใช้สัญญาณเพียง 3 เส้น

2.11.4 UART

UART มาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter ซึ่งหมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั่นเอง สำหรับการสื่อสารอนุกรมบนคอมพิวเตอร์ แล้ว UART ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการสื่อสารแบบอนุกรม หน้าที่หลักของ UART คือทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่อยู่ในแบบขนานจากคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบของแบบอะซิงโครนัสแล้วส่งออกไป แล้วทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนุกรมแบบซิงโครนัสที่ป้อนเข้ามายัง UART ให้เป็นแบบขนานก่อนที่จะส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งนอกจาก UART จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แล้ว ยังแจ้งข้อมูลอื่นๆ ให้คอมพิวเตอร์รับทราบด้วยเช่น อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (บอดเรต) รูปแบบการส่งข้อมูล ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายถอดข้อมูล (ผิดพลาดจากพาริตี, เฟรมข้อมูล, โอเวอร์รัน) เป็นต้น



รูปที่ 2.13 (ก) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ Null Modem



รูปที่ 2.13 (ข) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ RS-232
โดยใช้สัญญาณเพียง 3 เส้น

2.11.4 UART

UART มาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter ซึ่งหมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั่นเอง สำหรับการสื่อสารอนุกรมบนคอมพิวเตอร์ แล้ว UART ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการสื่อสารแบบอนุกรม หน้าที่หลักของ UART คือทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่อยู่ในแบบขนานจากคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบของแบบอะซิงโครนัสแล้วส่งออกไป แล้วทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนุกรมแบบซิงโครนัสที่ป้อนเข้ามายัง UART ให้เป็นแบบขนานก่อนที่จะส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งนอกจาก UART จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แล้ว ยังแจ้งข้อมูลอื่น ๆ ให้คอมพิวเตอร์รับทราบด้วยเช่น อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (บอดเรต) รูปแบบการส่งข้อมูล ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล (ผิดพลาดจากพาริตี, เฟรมข้อมูล, โอเวอร์รัน) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใน UART จะมีส่วนของวงจรถอดเรตแบบโปรแกรมได้ (Programable Baudrate Generator) โดยการกำหนดค่าตัวหารให้กับสัญญาณนาฬิกาของ UART โดยตัวหารนี้มีขนาด 16 บิต ดังนั้นจึงสามารถกำหนดตัวหารอยู่ในช่วง 1-65,535 UART สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex) และฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) โดยการส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์เป็นการส่งแบบทิศทางเดียว ส่วนการส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์นั้นสามารถรับและส่งได้ในคราวเดียวกัน

2.11.5 ชนิดของ UART

ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปมี UART ที่ใช้งานกันอยู่ 2 เบอร์ คือ 8250 ซึ่งเป็น UART มาตรฐานที่ใช้กันมายาวนาน UART เบอร์นี้จะมียุติเฟอ์สำหรับรับและส่งข้อมูลตำแหน่งเดียวกัน ทำให้การรับและส่งข้อมูลถูกจำกัดความเร็วอยู่ที่ 57.6 กิโลบิตต่อวินาทีเท่านั้น แต่ UART ตัวนี้ก็ถือว่าเป็นต้นแบบของ UART ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์ทุก ๆ รุ่นจะต้องสนับสนุนการทำงานตามรูปแบบของ UART เบอร์นี้

UART อีกเบอร์หนึ่งคือ 16450 มีความสามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็ว 115,200 บิตต่อวินาที และเพิ่มรีจิสเตอร์สำหรับพักข้อมูลสำหรับ UART นอกจากนี้ยังเพิ่มชิพรีจิสเตอร์แบบ FIFO (First IN First Out) ขนาด 16 ไบต์เข้าไป ทำให้สามารถสนับสนุนความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 256 กิโลบิตต่อวินาทีได้ โดยคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันใช้ UART เบอร์นี้หรือใหม่กว่าเช่น TL16C750 ซึ่งมีรีจิสเตอร์แบบ FIFO ขนาด 64 ไบต์ ทำงานได้ระดับแรงดัน +5V และ +3V มีโหมดประหยัดพลังงาน สามารถรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1 เมกะบิตต่อวินาทีเมื่อใช้สัญญาณนาฬิกา 16 MHz

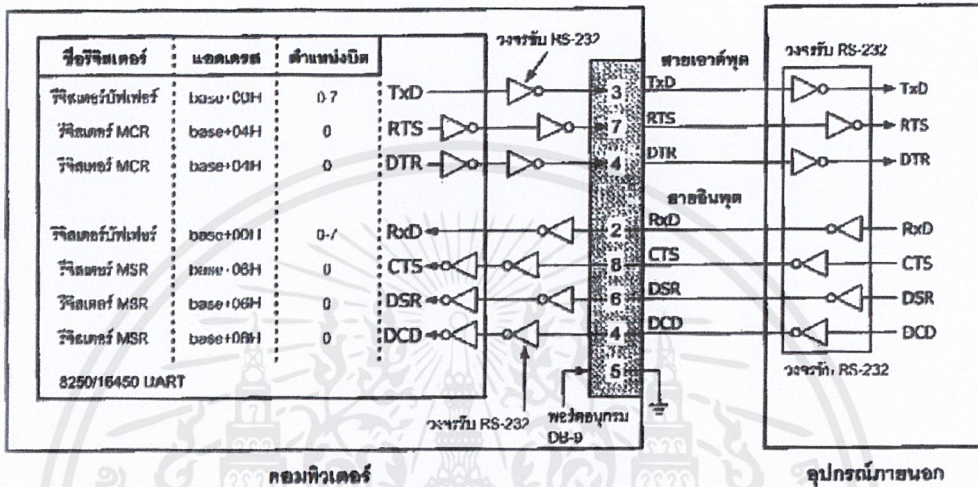
อย่างไรก็ตาม ความเร็วมากมายที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล UART เบอร์ใหม่ ๆ ก็ไม่ได้ช่วยให้การรับส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์เร็วขึ้น เนื่องจากว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ยังใช้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาแปลงข้อมูลเพียง 1.8432 MHz เท่านั้น

2.11.6 ลักษณะสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของพอร์ต RS-232

สัญญาณเอาต์พุตที่ใช้ควบคุม (RTS และ DTR) และสัญญาณแสดงสถานะอินพุต (CTS, DSR และ DCD) ของพอร์ตอนุกรม RS-232 จะถูกกลับสถานะภายในตัว UART ส่วนสัญญาณข้อมูลทั้งภาครับและส่งจะไม่ถูกกลับสถานะ UART จะได้รับสัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นแบบทวิตแอลเท่านั้น ดังนั้นเมื่อสัญญาณถูกส่งออกมาจาก UART จะต้องส่งเข้าสู่วงจรเพื่อปรับระดับแรงดันให้ระดับสัญญาณเป็นไปตามมาตรฐาน RS-232 ก่อนส่งออกไปจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ สำหรับอุปกรณ์เชื่อมต่อปลายทางก็จะต้องมีวงจรขับในลักษณะนี้เช่นเดียวกันเพื่อให้ได้ระดับสัญญาณเดียวกัน แต่วงจรขับที่ใช้ภายในคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อเชื่อมปลายทางนั้นจะถูกกลับสถานะ ดังแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.9



รูปที่ 2.14 ไดอะแกรมโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของพอร์ตอนุกรม

2.11.7 แอดเดรสของพอร์ตอนุกรม

แอดเดรสพื้นฐานของพอร์ตอนุกรมมี 4 ตำแหน่งคือ ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของพอร์ตอนุกรม

- COM1:3F8H
- COM2:2F8H
- COM3:3E8H
- COM4:2E8H

เมื่อเริ่มเปิดเครื่องเพื่อใช้งานคอมพิวเตอร์ ไบออส ภายในคอมพิวเตอร์จะทำการตรวจสอบแอดเดรสของพอร์ตอนุกรมทั้งหมด ถ้าไบออส ตรวจสอบพบแอดเดรสของพอร์ตอนุกรม ไบออส จะนำแอดเดรสที่ตรวจพบไปเก็บไว้ในหน่วยความจำขนาด 2 ไบต์ สำหรับพอร์ตอนุกรม COM1 จะเก็บไว้ที่แอดเดรส 000:0400 และ 000:0403H ส่วนตำแหน่งอื่น ๆ มีดังนี้

- COM2=0000:0402H-0000:0403H
- COM3=0000:0404H-0000:0405H
- COM4=0000:0406H-0000:0407H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้หน่วยความจำแอดเดรส 0000:0411H ยังใช้สำหรับการแสดงจำนวนพอร์ตอนุกรมที่มีชื่ออยู่ในคอมพิวเตอร์อีกด้วยโดยมีรายละเอียดดังในตาราง 3.3

บิต 3	บิต 2	บิต 1	จำนวนพอร์ต
0	0	0	ไม่มีพอร์ตอนุกรม
0	0	1	มีพอร์ตอนุกรม 1 พอร์ต
0	1	0	มีพอร์ตอนุกรม 2 พอร์ต
0	1	1	มีพอร์ตอนุกรม 3 พอร์ต
1	0	0	มีพอร์ตอนุกรม 4 พอร์ต

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลในแอดเดรส 0000:0411 ที่ชี้แจงจำนวนพอร์ตอนุกรม

2.12 คอนโทรล MSComm

สำหรับการใช้งาน Visual Basic ตั้งแต่เวอร์ชัน 2 เป็นต้นมา ใน Visual Basic ได้สร้างคัสตอมคอนโทรลสำหรับการสื่อสารอนุกรมผ่านทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์มาให้โดยใน Visual Basic เวอร์ชัน 2 และ 3 จะใช้ชื่อว่า MSCOMM.VBX ส่วนเวอร์ชัน 4 ใช้ชื่อว่า MSCOMM16.OCX สำหรับการงานระบบการทำงาน 16 บิต และ MSCOMM32.OCX สำหรับการงานของระบบปฏิบัติการ 32 บิต สำหรับใน Visual Basic เวอร์ชัน 5 จะมีเพียง MSCOMM32.OCX เท่านั้นเพราะถูกออกแบบมาให้ใช้งานกับระบบปฏิบัติการ 32 บิต

MSComm จัดเตรียมทางเลือกไว้ 2 ทางเพื่อความสะดวกในการสื่อสารข้อมูล ทางแรกคือ การสื่อสารข้อมูลที่กระตุ้นด้วยเหตุการณ์ (Event-Driven Communications) เป็นรูปแบบการใช้งานที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการตอบสนองแบบทันทีทันใด เช่นเมื่อตัวอักษรถูกส่งมาที่พอร์ตอนุกรมหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ขา DDC หรือขา RTS เหตุการณ์ Oncomm ของ MSComm จะสามารถตรวจจับสัญญาณนั้นได้ทันที ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อคุณสมบัติ CommEvent ต่อไป ส่วนทางเลือกที่สองเป็นการคอยตรวจสอบค่าเหตุการณ์และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นด้วยการดูค่าที่เปลี่ยนแปลงภายในคุณสมบัติ CommEvent หลังจากให้โปรแกรมทำงานในฟังก์ชันต่าง ๆ ไปเรียบร้อยแล้วซึ่งวิธีนี้ใช้งานได้ดีในกรณีที่โปรแกรมมีขนาดเล็ก

คอนโทรล MSComm 1 ตัวสามารถควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมได้ 1 พอร์ต

ถ้าในโปรแกรมที่ใช้งานต้องการติดต่อกับพอร์ตอนุกรมมากกว่า 1 พอร์ต จะต้องใช้คอนโทรลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MSComm มากกว่า 1 ตัว เพื่อควบคุมพอร์ตอนุกรมในแต่ละพอร์ต แอดเดรสของพอร์ตอนุกรม และแอดเดรสของการอินเตอร์รัปต์สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการแก้ไขค่าที่ Control Panel

2.12.1 ค่าคงที่คุณสมบัติของคอนโทรล MSComm

ค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติ Handshake

ค่าคงที่	ค่า	รายละเอียด
comNone	0	ไม่ใช้การตรวจสอบแฮนด์เชก
comXonXoff	1	ไม่ใช้การตรวจสอบแฮนด์เชกแบบ Xon/Xoff
comRTS	2	ใช้การตรวจสอบแฮนด์เชกผ่านทางขา RTS และ CTS
comRTSXonXoff	3	กำหนดการตรวจสอบแฮนด์เชกทั้งแบบ RTS,CTS และ Xon/Xoff

ค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติ OnComm

ค่าคงที่	ค่า	รายละเอียด
comEvSend	1	ส่งค่าเหตุการณ์ (send event)
comEVReceive	2	รับค่าเหตุการณ์ (receive event)
comEVCTS	3	มีการเปลี่ยนแปลงที่ขา CTS
comEVDSR	4	มีการเปลี่ยนแปลงที่ขา DSR
comEVDCD	5	มีการเปลี่ยนแปลงที่ขา DCD
comEVRing	6	ตรวจจับสัญญาณกระดิ่งของโทรศัพท์
comEVEOF	7	ตรวจพบตำแหน่งสุดท้ายของไฟล์ (End of file)

ค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติ Error

ค่าคงที่	ค่า	รายละเอียด
comEventBreak	1001	ได้รับสัญญาณ Break
comEventCTSTO	1002	ขา CTS เกิดไทม์เอาต์
comEventDSRTO	1003	ขา DSR เกิดไทม์เอาต์
comEventFrame	1004	เกิดข้อผิดพลาดที่เฟรมข้อมูล(Framing error)
comEventOverrun	1006	พอร์ตอนุกรมเกิดโอเวอร์รัน(Port overrun)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

comEventCDTO	1007	ขา DCD เกิดไหมเอادت
comEventRxOver	1008	บัฟเฟอร์รับข้อมูลเกิดโอเวอร์โฟลว์
comEventRxParity	1009	เกิดข้อผิดพลาดที่พาริตี(parity error)
comEventTxFull	1010	บัฟเฟอร์ส่งข้อมูลเต็ม

ค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติ InputMode

ค่าคงที่	ค่า	รายละเอียด
comInputModeText	0	ข้อมูลที่รับมีคุณสมบัติเป็นข้อความ(ค่าปกติ)
comInputModeBinary	1	ข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นข้อมูลไบนารี

2.12.2 การใช้ MSComm เพื่อการติดต่อฮาร์ดแวร์

จากรายละเอียดของ MSComm ที่กล่าวไปตอนต้นนั้น จะเห็นได้ว่าวิธีการที่จะอ่านค่าหรือเขียนค่าไปยังสถานะและควบคุมพอร์ตอนุกรมสามารถทำได้ง่ายตายมาก โดยใช้คำสั่งเหล่านี้

DTREnable	สำหรับสั่งให้ขา DTR มีลอจิก "0" หรือ "1"
RTSEnable	สำหรับสั่งให้ขา RTS มีลอจิก "0" หรือ "1"
CTSHolding	สำหรับอ่านค่าสถานะจากขา CTS มีลอจิก "0" หรือ "1"
CDHolding	สำหรับอ่านค่าสถานะจากขา DCD มีลอจิก "0" หรือ "1"
DSRHolding	สำหรับอ่านค่าสถานะจากขา DSR มีลอจิก "0" หรือ "1"
Break	สำหรับสั่งให้ขา Txd มีลอจิก "0" หรือ "1"

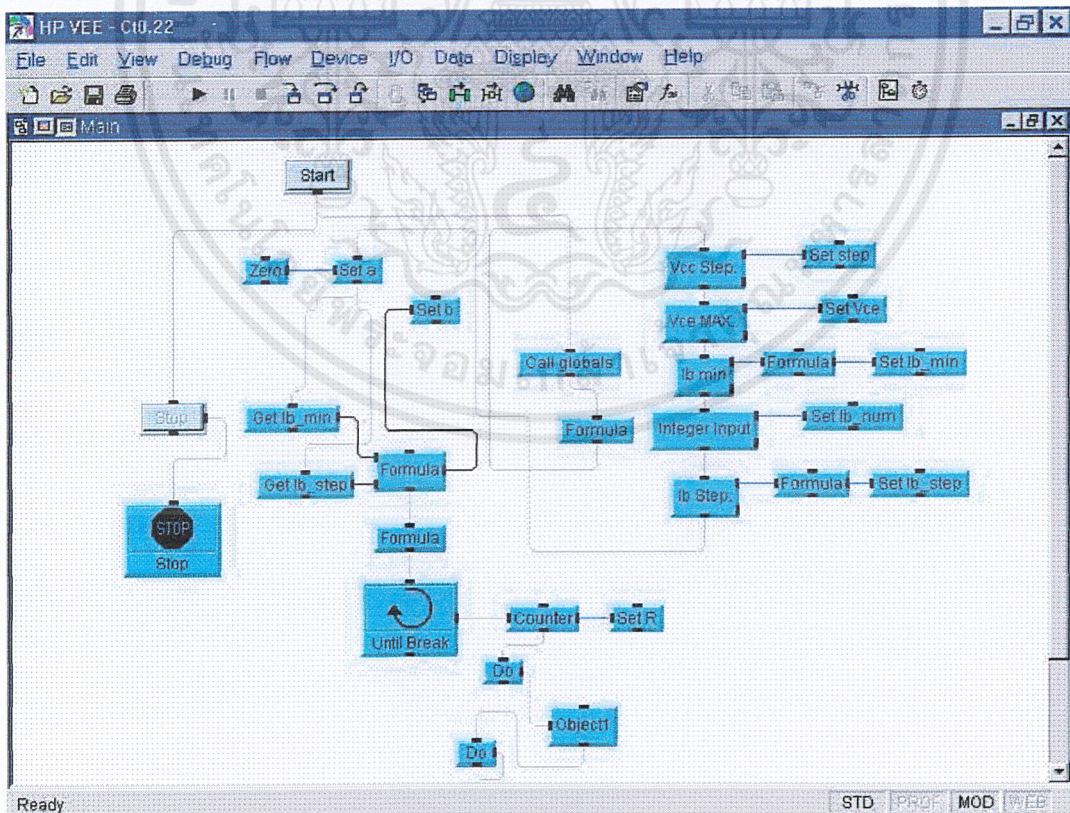
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของทรานซิสเตอร์

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์ เช่น กราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์บอกอะไรบ้าง เรื่องใดที่สอดคล้องกับกราฟดังกล่าว และสามารถนำกราฟไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง

3.2 ศึกษาและทดลองโดยใช้โปรแกรม HP VEE

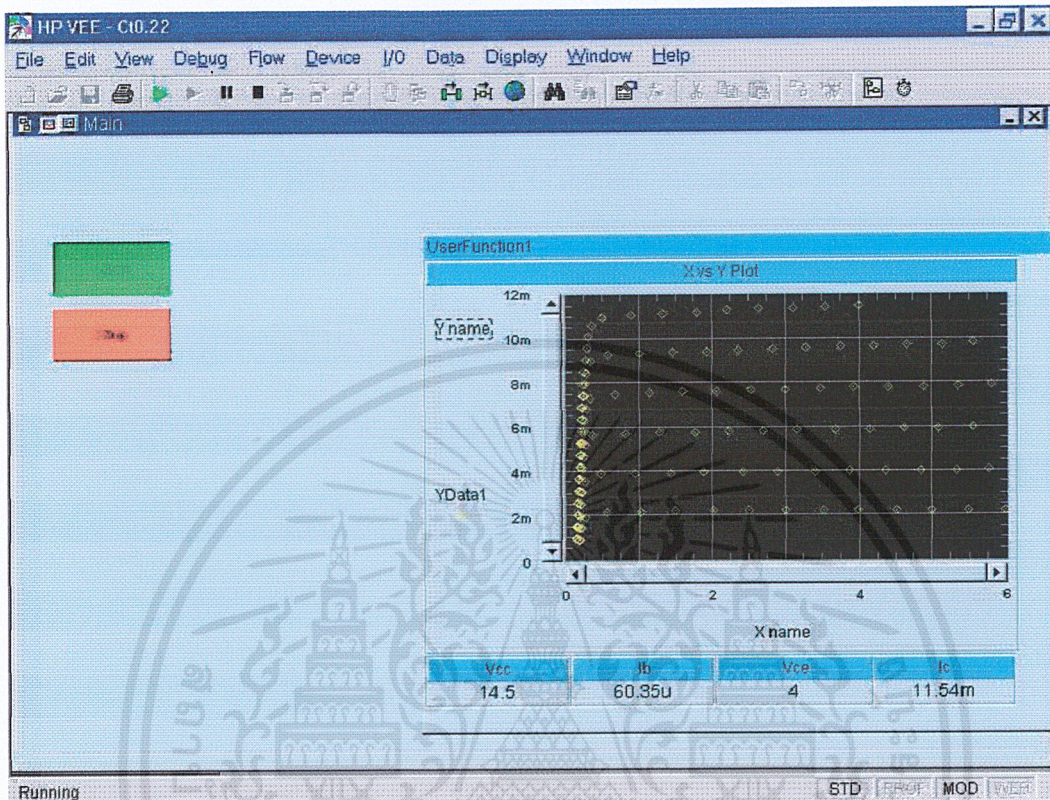
ในการทดลองขั้นแรกนี้จะอาศัยโปรแกรม HP VEE ซึ่งสามารถควบคุมอุปกรณ์ซึ่งได้แก่ แหล่งจ่ายไฟฟ้า(Power supply) และ ADC ที่ใช้ในการทดลอง และเก็บข้อมูล กลับมาแสดงผลในรูปของกราฟ แล้วส่งข้อมูลที่เก็บมาได้บันทึกลงในโปรแกรมเอ็กเซล(EXCEL) โดยรูปแบบของการเขียนโปรแกรม จะคล้ายกับการเขียนโดอะแกรม เรียงต่อกันตามลำดับคำสั่ง



รูปที่ 3.1 แสดงหน้าต่างโปรแกรม HP VEE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

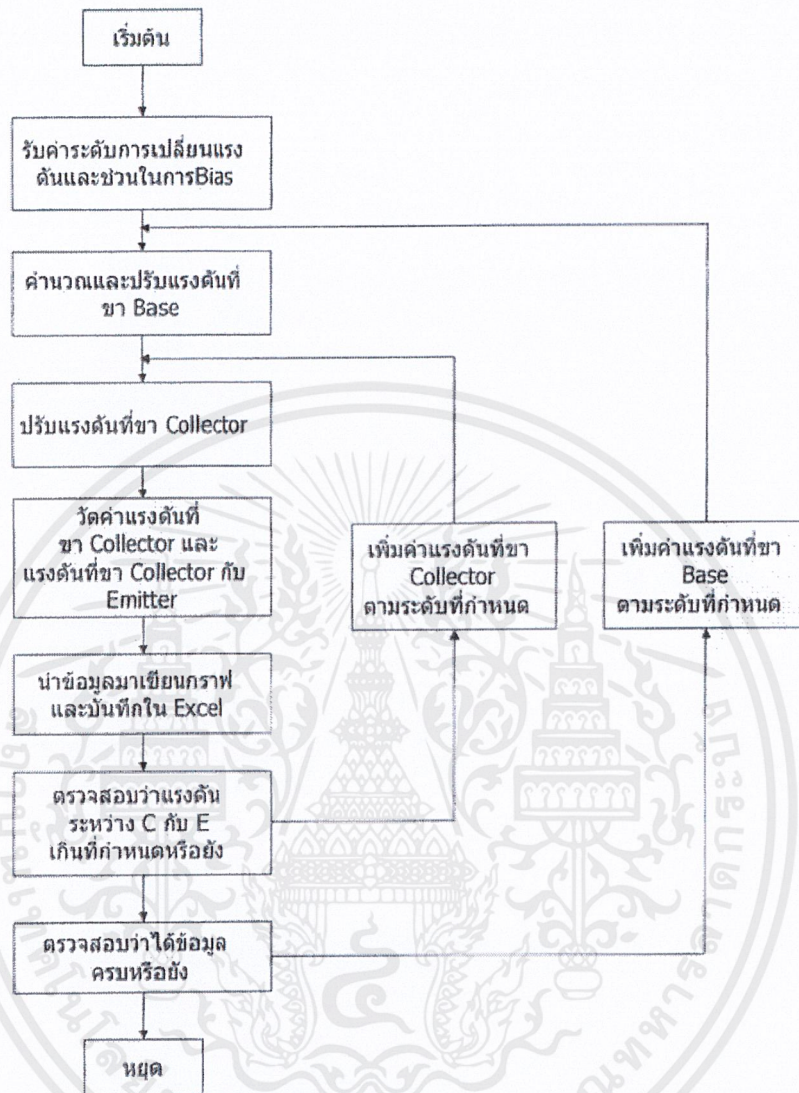
มีหน้าต่างที่ใช้รับคำสั่งและ ทำหน้าที่แสดงผลในรูปของกราฟ อีกหน้าต่างหนึ่ง



รูปที่ 3.2 แสดงหน้าต่างโปรแกรม HP VEE ขณะทำการทดลอง

โดยเมื่อมีการสั่งให้เริ่มการทำงาน โปรแกรมจะให้เราป้อนช่วงในการใช้บันทึกค่า ซึ่งได้แก่ ช่วงในการเพิ่มระดับ V_{CC} , V_{CE} สูงสุดที่ต้องการวัด , กระแส I_B ต่ำสุดที่ต้องการวัด , ระดับในการเพิ่มกระแส I_B และ จำนวนระดับ I_B จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณ เพื่อไปปรับแรงดันที่ Supply ใน CH1 เพื่อให้กับ R_B เป็นการควบคุม จากนั้นจะเริ่มทำการเพิ่มแรงดันจาก Supply ใน CH2 เพื่อเพิ่ม V_{CC} แล้วจึงทำการเก็บข้อมูล ซึ่งก็ได้แก่ V_{CC} และ V_{CE} จาก ADC มาทำการคำนวณ ให้เป็น I_C นำมาเขียนกราฟระหว่าง I_C กับ V_{CE} แล้วส่งข้อมูลไปบันทึกใน EXCEL และมีขั้นตอนการทำงาน เป็นแผนผังดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



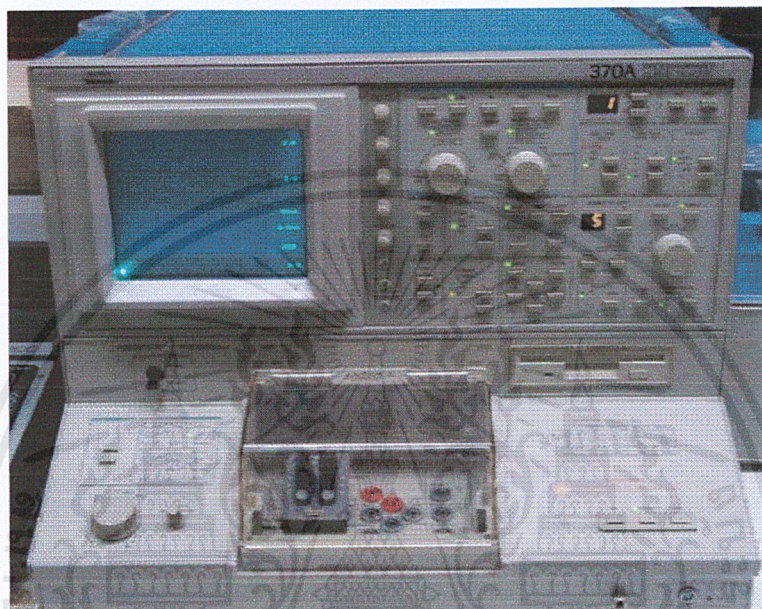
รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม HP VEE

จากนั้นจะทำการตรวจสอบว่าค่า V_{CE} ที่เก็บมาได้เกิน V_{CE} ที่กำหนดหรือยัง ถ้ายังก็จะกลับไปทำการเพิ่มแรงดันและเก็บข้อมูลต่อไป แต่ถ้าเกินที่กำหนดแล้ว จะทำการเพิ่มแรงดันที่จ่ายให้กับ R_B ตามระดับที่กำหนดไว้ เพื่อเป็นการเพิ่มกระแส I_B จากนั้นก็จะทำการเพิ่ม V_{CC} และเก็บข้อมูลต่อไป ทำอย่างนี้ต่อไปเรื่อยๆ จนสามารถตรวจสอบได้ว่า ได้เก็บข้อมูลตามจำนวนข้อมูลที่กำหนดแล้วจึงหยุดการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ศึกษาและทดลองโดยใช้เครื่อง Curve Tracer

การทดลองโดยวัดด้วยเครื่อง Curve Tracer 370A ซึ่งสามารถจ่ายแรงดันที่ V_{cc} ได้สูงสุด 100 V และกำหนดกำลังสูงสุดที่จะจ่าย (เปลี่ยนค่าความต้านทาน) กำหนดกระแสที่ไบอัสที่ขาเบสเพิ่มขึ้นได้ตั้งแต่ครั้งละ 10 nA – 50 μ A สามารถคำนวณหาค่าเบตาให้ได้



รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องวัดลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์

3.4 วิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม HP VEE และเครื่อง Curve Tracer โดยทดลองกับทรานซิสเตอร์ที่มีค่าเบตาต่างกันสามเบอร์ ว่ากราฟเหมือนหรือแตกต่างกัน และเก็บไว้เปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง

3.5 ศึกษาและออกแบบวงจรของเครื่องมือวัด

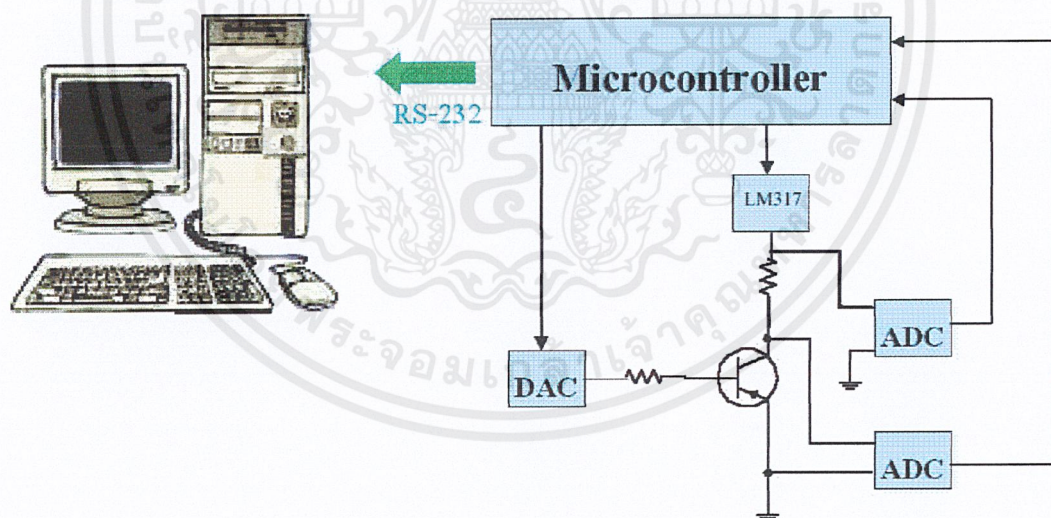
สำหรับเครื่องมือที่เราจะสร้างขึ้นมาในการวัดหากราฟลักษณะของทรานซิสเตอร์ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวควบคุมการทำงานและสั่งการทำงานต่างๆ และต้องอาศัย DAC (Digital to Analog Converter) ให้ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้กับทั้ง 2 รอยต่อของทรานซิสเตอร์ ในการวัดค่าก็จะใช้ ADC (Analog to Digital converter) ทำหน้าที่ในการวัดค่ากลับมายังไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นค่าที่วัดออกมาได้ จะถูกส่งมายังคอมพิวเตอร์ โดยติดต่อผ่านทาง RS-232 เมื่อคอมพิวเตอร์ได้รับข้อมูลมาก็จะทำการคำนวณ แสดงผลในรูปของกราฟ แล้วจึงบันทึกข้อมูลที่เก็บมาได้ จึงต้องรวบรวมข้อมูลและเลือกเบอร์ที่เหมาะสมต่อการใช้ในการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เราจะใช้ก็คือ 89c52 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ชนิด CMOS มีหน่วยความจำชนิดแฟลชขนาด 8 กิโลไบต์ สามารถลบด้วยสัญญาณไฟฟ้าชุดคำสั่งและขาสัญญาณเข้ากันได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ผลิตโดย Intel จุดเด่นของ 89c52 คือ มีหน่วยความจำโปรแกรมชนิด แฟลชขนาด 8 กิโลไบต์ หน่วยความจำข้อมูล 256 ไบต์ อินพุท เอาท์พุท 32 เส้น มีตัวตั้งเวลาและตัวนับขนาด 16 บิต สามตัว อินเทอร์รัพท์ 6 ตำแหน่ง มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

การทำงานจะต้องมีการ Fetch (ดึงข้อมูล) และ Execute (ประมวลผล) หรือพูดง่ายๆคือ จะต้องอ่านคำสั่งที่เก็บในหน่วยความจำมาถอดรหัส และกำเนิดสัญญาณควบคุมขึ้นอยู่กับคำสั่งให้ไปทำอะไร มีการจัดหน่วยความจำ โดยแยกพื้นที่ของโปรแกรมและข้อมูลออกจากกัน กล่าวคือ หน่วยความจำโปรแกรมจะไม่สามารถเขียนข้อมูลลงได้ ใช้เป็นพื้นที่เก็บรหัสคำสั่ง ในขณะที่หน่วยความจำข้อมูลจะใช้เก็บตัวแปร และข้อมูลต่างๆ สามารถเขียนและอ่านได้

ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องวัดแสดงดังแผนผังข้างล่าง



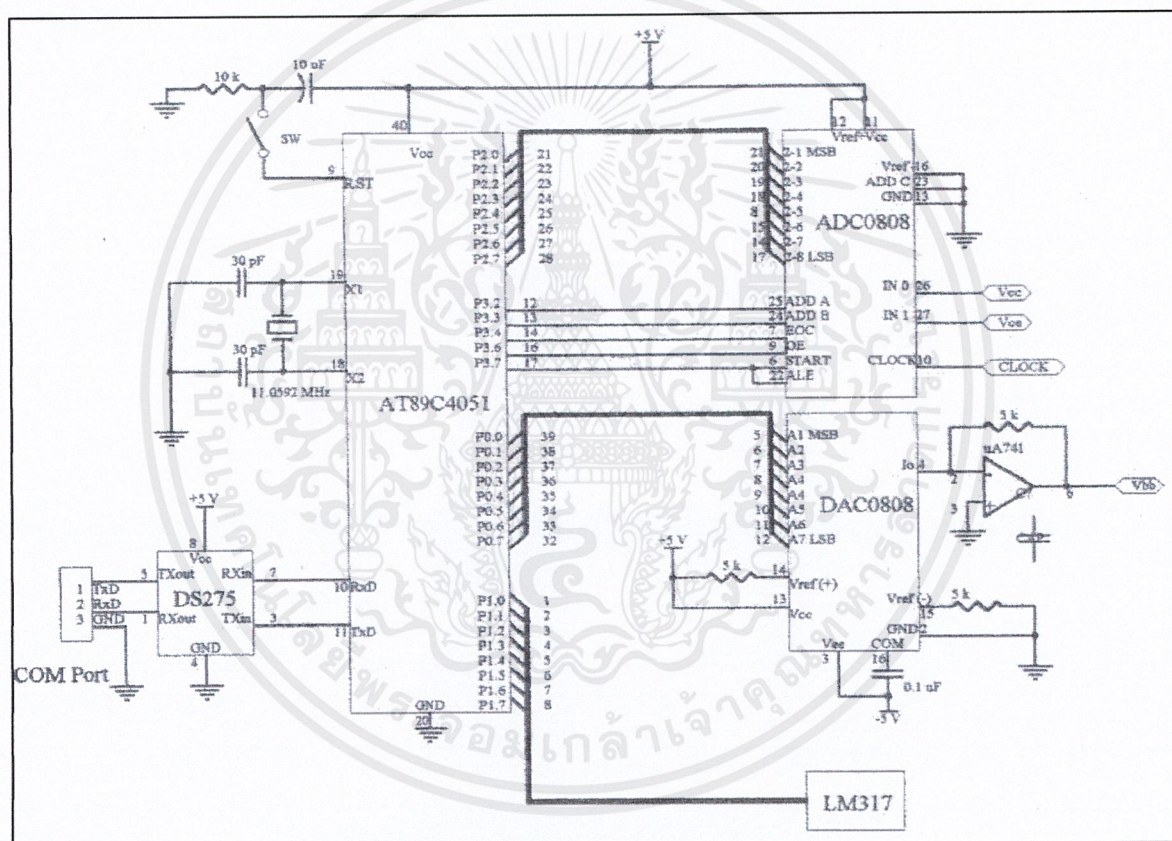
รูปที่ 3.5 หลักการทำงานของเครื่องวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การทำงานของวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.6.1 ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

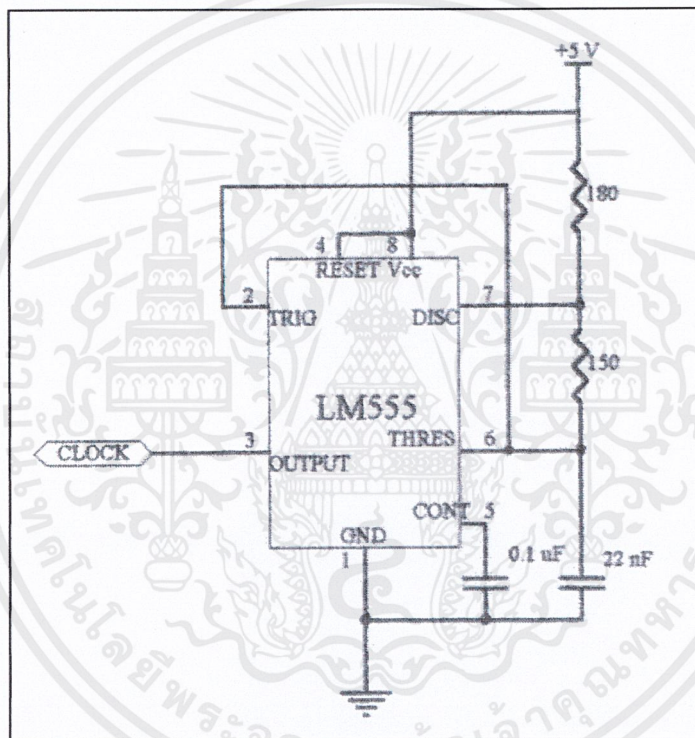
หน้าที่ของภาคไมโครคอนโทรลเลอร์คือทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ ADC0808 ที่ทำหน้าที่วัดความต่างศักย์ทั้งสองจุด , DAC0808 ที่ทำหน้าที่ไบอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์ที่ขาเบส , LM317 ที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันให้แก่ทรานซิสเตอร์ที่ขาคอลเลคเตอร์ และรับส่งข้อมูลกับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม



รูปที่ 3.6 วงจรภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการการทำงานของวงจรคือควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C4052 ซึ่งจะทำกรับข้อมูลเงื่อนไขในการไบอัส และจำนวนข้อมูลที่ต้องการจะวัดจากไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำการสั่งให้ DAC0808 และ LM317 ทำการไบอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์ที่ค่าแรงดันต่างๆ จากนั้น ADC0808 จะทำการวัดความต่างศักย์ที่ตำแหน่ง V_{cc} และ V_{cc} กลับมาให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในการทำงานจะต้องอาศัยสัญญาณเวลาจาก LM555 ในการกำเนิดสัญญาณเวลานี้ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลที่วัดได้ต่อไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม

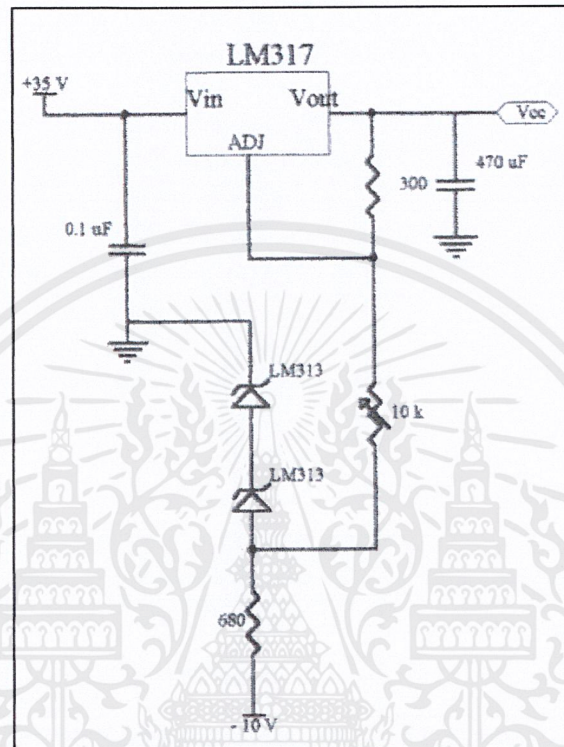


รูปที่ 3.7 วงจรตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกา LM555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 ภาคจ่ายแรงดันให้แก่ขาคอลเลคเตอร์

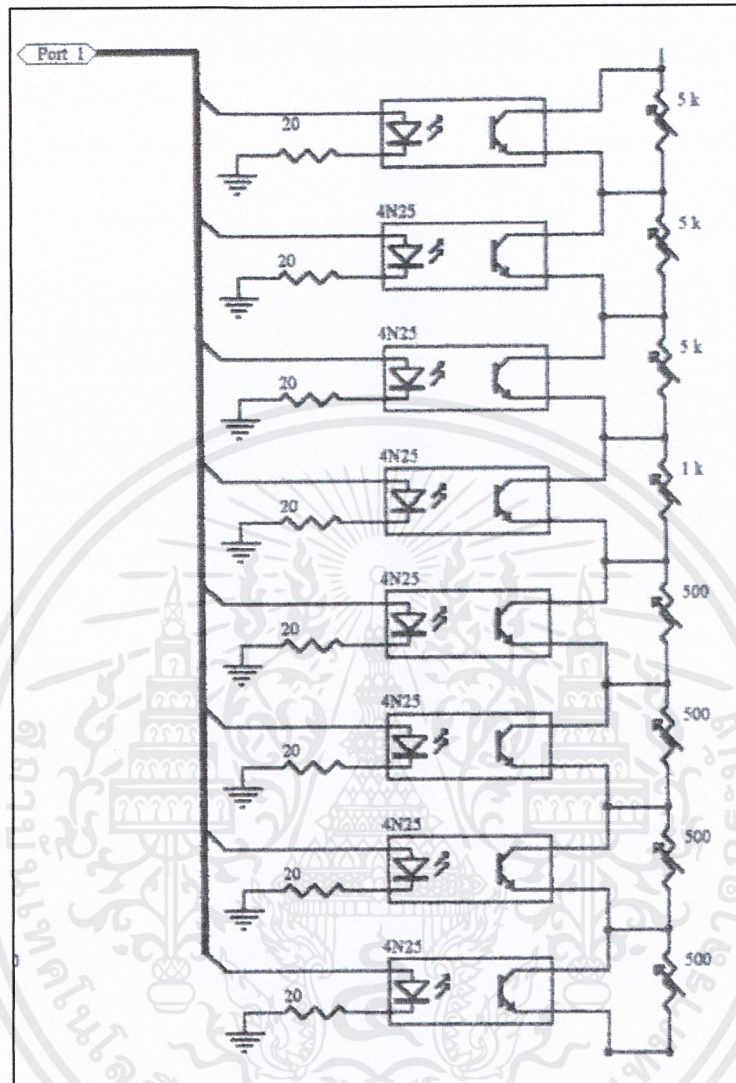
ทำหน้าที่จ่ายแรงดันให้แก่ขาคอลเลคเตอร์ โดยใช้ LM317



รูปที่ 3.8 วงจรภาคจ่ายแรงดันให้แก่ขาคอลเลคเตอร์

การทำงานจะอาศัย LM317 ซึ่งเป็นเรกูเลเตอร์ชนิดปรับค่าได้ สามารถปรับค่าได้ในช่วง 0 – 30 โวลต์ ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างความต้านทาน R_1 (30Ω) และ R_2 ($10K\Omega$) ซึ่งการปรับค่าความต้านทานนี้จะต่อถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



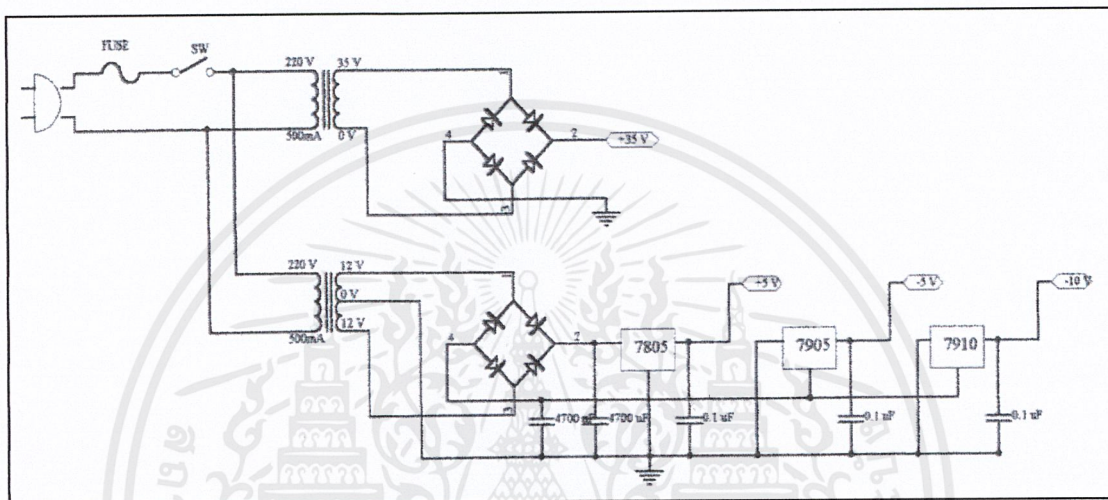
รูปที่ 3.9 วงจรส่วนปรับความต้านทาน

ในการปรับค่าความต้านทานนี้จะเป็นการปรับค่าในช่วง $0 - 10K\Omega$ การควบคุมจะอาศัย
 ทรานซิสเตอร์ 4N25 ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ในการปรับค่าความต้านทาน โดยนำความต้านทานที่มีค่าต่าง
 กันเป็นจำนวนเท่า ต่ออนุกรมกัน เพื่อให้มีค่านัยสำคัญต่างกัน แล้วใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิทช์เลือกค่า
 ความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 ภาคจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ภาคจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์และภาคจ่ายแรงดันให้ทรานซิสเตอร์

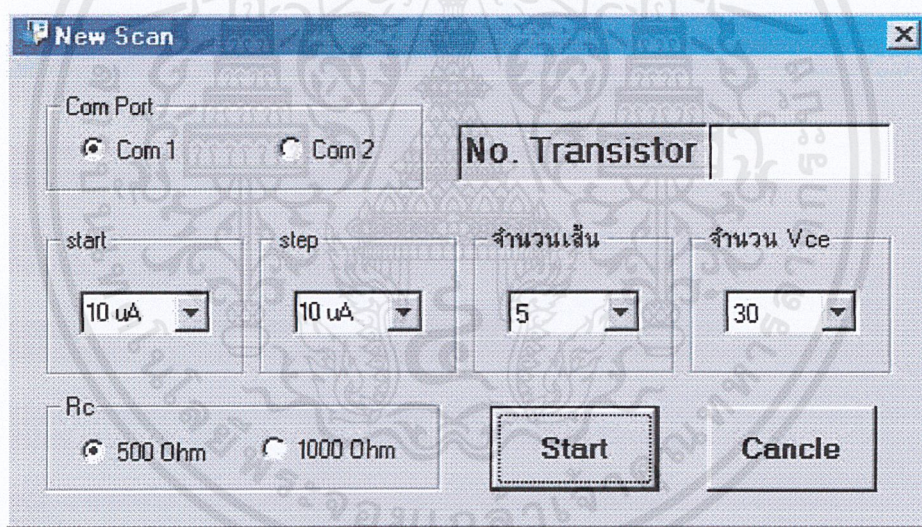


รูปที่ 3.10 ภาคจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

หลักการทำงานของวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคือจะทำการลดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ให้เหลือ 12 V สำหรับภาคไมโครคอนโทรลเลอร์ และ 35 V สำหรับภาคจ่ายแรงดันให้แก่ขาคอลเลคเตอร์ โดยทั้งคู่จะถูกทำให้เป็นกระแสตรงโดยใช้ บริดจ์ไดโอด และกรองให้เรียบด้วยตัวเก็บประจุ กระแสไฟฟ้าที่จะจ่ายให้กับภาคไมโครคอนโทรลเลอร์จะผ่านเรกูเลเตอร์เบอร์ 7805 , 7905 , 7910 เพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรงมีระดับแรงดันคงที่ 5 V , -5 V , -10 V ตามลำดับ

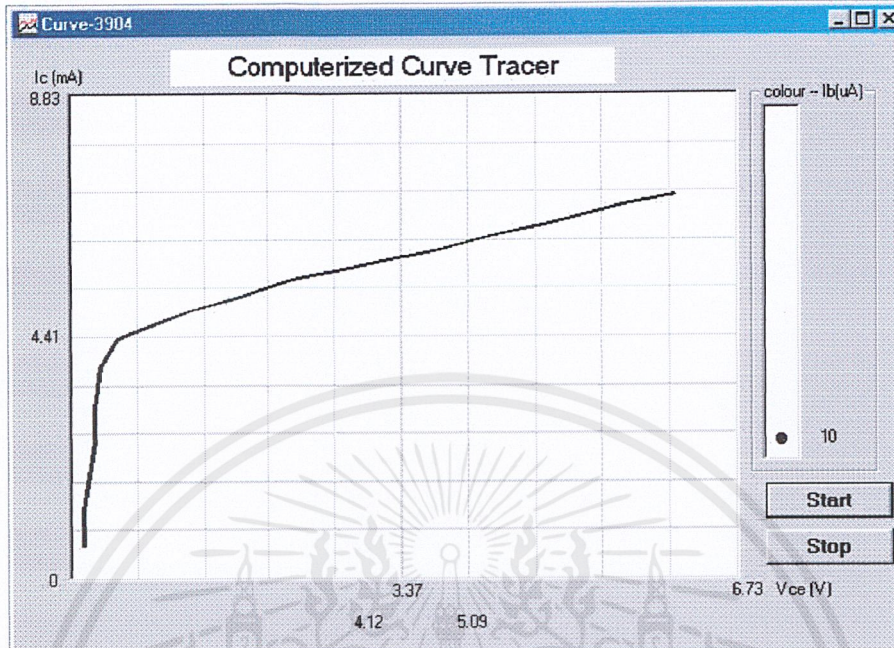
3.7 เขียนโปรแกรม visual Basic เพื่อควบคุมการวัด

เขียนโปรแกรมที่จะเป็นคำสั่งในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ และโปรแกรม Visual Basic ที่จะดำเนินการบนคอมพิวเตอร์ โดยการรับค่าแล้วแสดงผล โดยใช้คอนโทรล Mscomm เป็นตัวช่วยรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม โดยสามารถเลือกค่า I_b เริ่มต้นและระดับขั้นของการเพิ่ม I_b ได้ ซึ่งหน้าจอที่ใช้เลือกแสดงดังรูปที่ 3.11 เมื่อรับข้อมูลมาแล้วจะทำการแยกข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยข้อมูลชุดแรกที่แยกออกมาคือ V_{CE} ส่วนข้อมูลชุดที่ 2 คือ V_{CC} หลังจากนั้นจึงคำนวณหาค่า I_C โดยใช้สมการ $V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C$ ซึ่งในการทดลองได้ใช้ตัวต้านทาน (R_C) เท่ากับ $1 \text{ k}\Omega$ เมื่อได้ค่า V_{CE} และ I_C ออกมาแล้ว จึงนำไปวาดกราฟ พร้อมทั้งนำข้อมูลที่ได้ส่งตาราง โดยหน้าจอขณะวาดกราฟแสดงดังรูปที่ 3.12 และหน้าจอข้อมูลแสดงดังรูป 3.13



รูปที่ 3.11 แสดงหน้าจอเลือกค่า I_b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงหน้าจอบนระนาบกราฟ

	Ic 10.00 uA		Ic 20.00 uA		Ic 30.00 uA		Ic 40.00 uA	
	Vce (V)	Ic (mA)	Vce (V)	Ic (mA)	Vce (V)	Ic (mA)	Vce (V)	Ic (mA)
1	0.115	0.575	0.462	0.229	0.231	0.459	0.173	0.517
2	0.115	1.265	0.173	1.207	0.115	1.265	0.115	1.265
3	0.173	1.898	0.173	1.898	0.173	1.898	0.173	1.898
4	0.231	2.530	0.173	2.588	0.173	2.588	0.173	2.588
5	0.231	3.105	0.231	3.105	0.173	3.163	0.173	3.163
6	0.289	3.853	0.231	3.911	0.231	3.911	0.231	4.026
7	0.462	4.370	0.289	4.543	0.231	4.601	0.231	4.601
8	0.866	4.656	0.462	5.175	0.346	5.291	0.289	5.348
9	1.212	4.885	0.693	5.404	0.404	5.808	0.289	5.924
10	1.674	5.114	1.097	5.691	0.635	6.267	0.404	6.498
11	2.251	5.457	1.731	5.976	1.154	6.553	0.693	7.015

รูปที่ 3.13 แสดงหน้าจอตารางข้อมูล

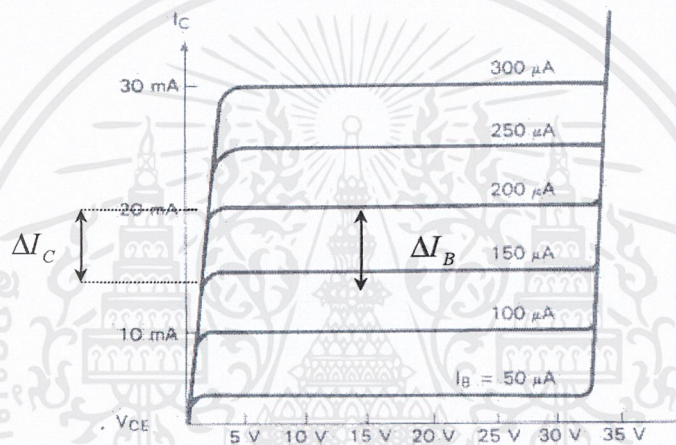
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 ทดลองและวิเคราะห์

นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ เปรียบเทียบกับคู่มือของทรานซิสเตอร์ หาค่า เบตาของทรานซิสเตอร์จากกราฟได้ดังนี้

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

ΔI_B ซึ่งค่า ΔI_C นั้นคือผลต่างของค่ากระแสคอลเลคเตอร์ที่กระแสเบสต่างกัน และ ΔI_B คือผลต่างของค่ากระแสเบส ณ บริเวณแอกทีฟ



รูปที่ 3.14 แสดงการคำนวณค่า ΔI_B และ ΔI_C

จากรูปค่า ΔI_B มีค่าเท่ากับ $200 \mu A - 150 \mu A$ คือ $50 \mu A$

และค่า ΔI_C เท่ากับ $20 \text{ mA} - 15 \text{ mA}$ คือ 5 mA

จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{5 \text{ mA}}{50 \mu A} \\ &= 100\end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นค่าเบตาของทรานซิสเตอร์ตัวนี้มีค่า 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

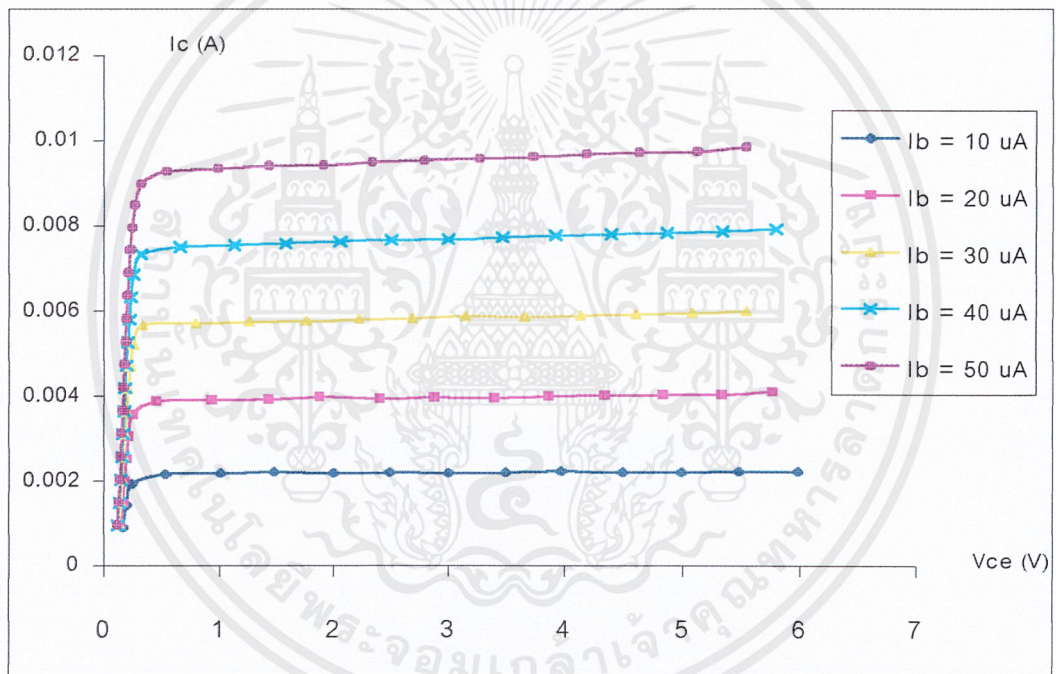
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองเมื่อทดลองด้วยโปรแกรม HP VEE

4.1.1 ทดลองกับทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904

เมื่อนำข้อมูลที่เก็บไว้ในโปรแกรมเอ็กเซลมาวิเคราะห์จะได้กราฟลักษณะสมบัติ

ดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ 2N3904 ที่ได้จากการทดลอง

และจะสามารถหาค่าเบตาของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904 ได้ดังนี้

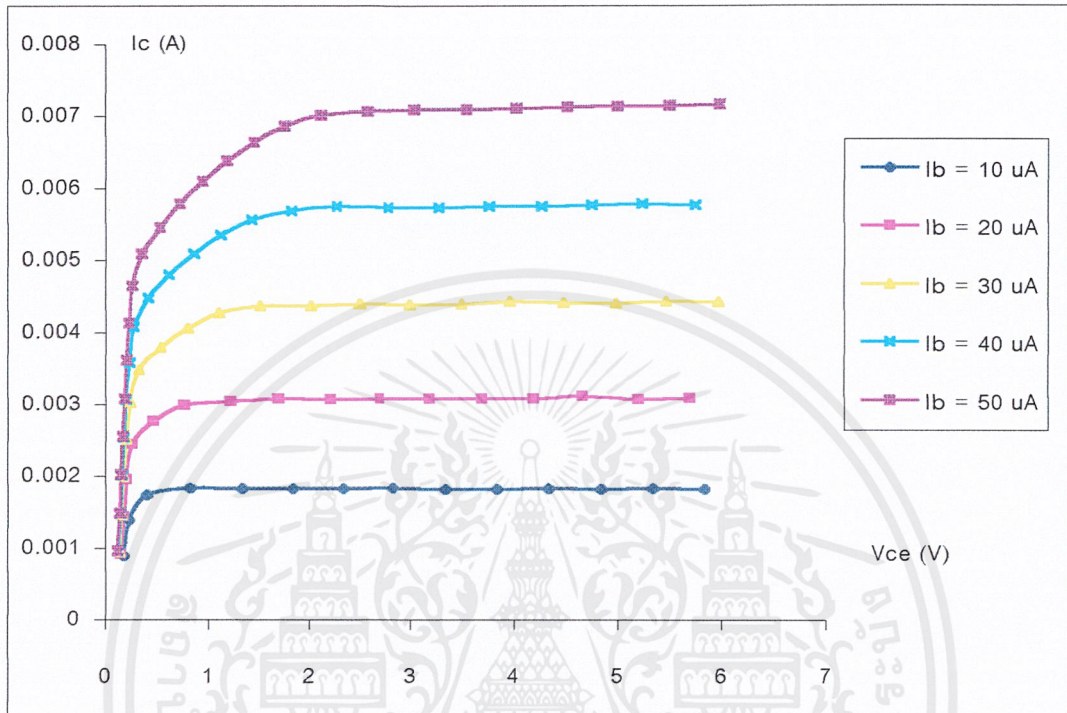
$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

ΔI_C มีค่าประมาณ 1.9 mA และ ΔI_B มีค่าประมาณ 10 μA เพราะฉะนั้นค่าเบตาจะเท่ากับ 1.9 mA หารด้วย 10 μA ซึ่งจะมีค่าประมาณ 190

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ทดลองกับทรานซิสเตอร์เบอร์ 3415

ซึ่งเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์จะได้กราฟดังรูป



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ 3415 ที่ได้จากการทดลอง

และจะสามารถหาค่าเบตาของทรานซิสเตอร์เบอร์ 3415 ได้ดังนี้

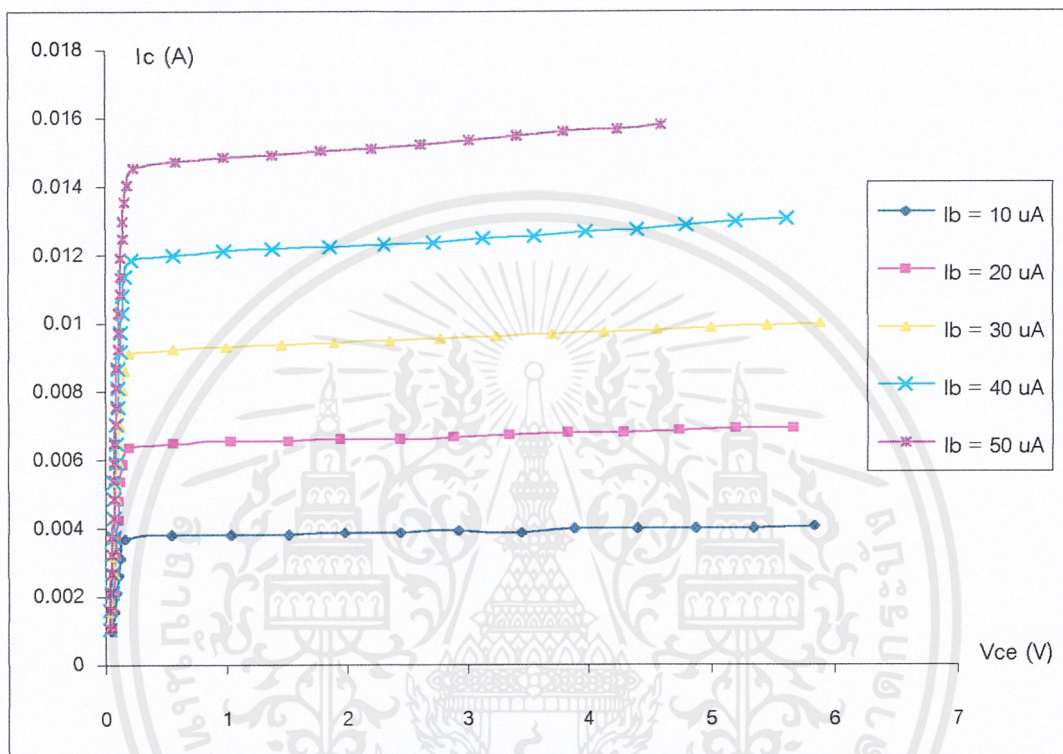
$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

ΔI_C มีค่าประมาณ 1.2 mA และ ΔI_B มีค่าประมาณ 10 μA เพราะฉะนั้นค่าเบตาจะเท่ากับ 1.9 mA หารด้วย 10 μA ซึ่งจะมีค่าประมาณ 120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ทดลองกับทรานซิสเตอร์เบอร์ bc33825

ซึ่งเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์จะได้กราฟดังรูป



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ bc33825 ที่ได้จากการทดลอง

และจะสามารถหาค่าเบตาของทรานซิสเตอร์เบอร์ 3415 ได้ดังนี้

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

ΔI_C มีค่าประมาณ 2.5 mA และ ΔI_B มีค่าประมาณ 10 μA เพราะฉะนั้นค่าเบตาจะเท่ากับ 1.9 mA ทหารด้วย 10 μA ซึ่งจะมีค่าประมาณ 250

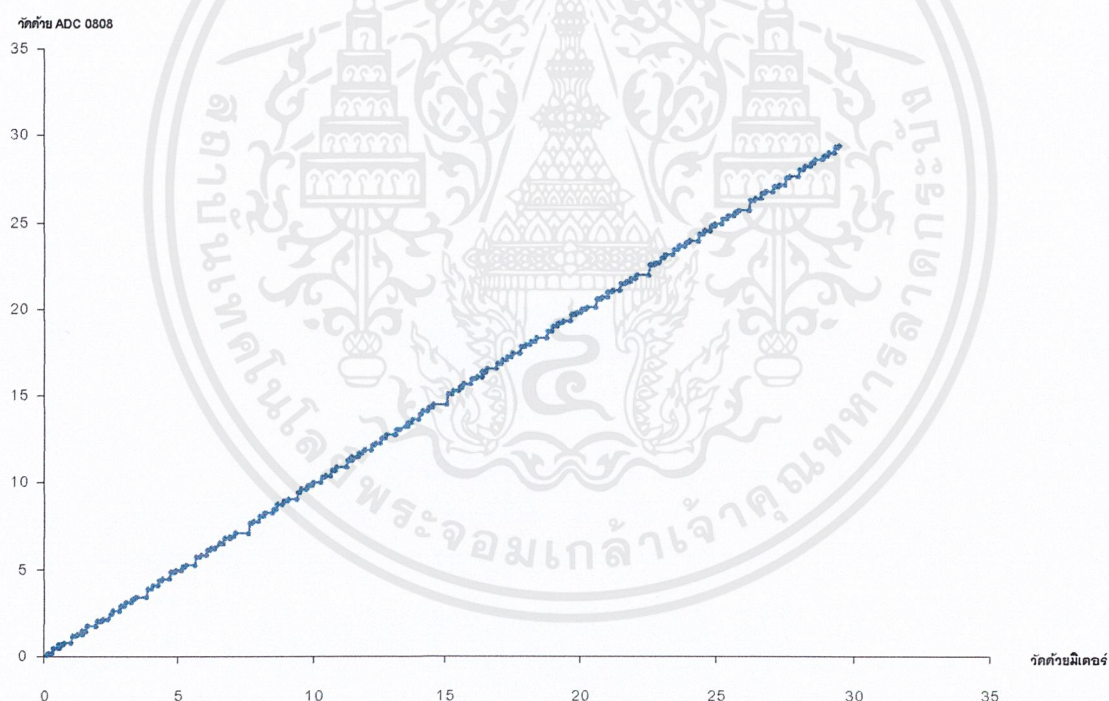
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อทดลองหากราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ที่มีค่าเบตาต่างกัน แต่ให้ ΔV_B มีค่าเท่ากัน พบว่า ทรานซิสเตอร์ตัวที่มีค่าเบตามาก ค่า ΔV_C ก็จะมีมากหรือระยะห่างระหว่างเส้นกราฟแต่ละเส้นบริเวณช่วงแอกทีฟมีค่ามาก แต่ทรานซิสเตอร์ตัวที่มีค่าเบตาน้อยกว่า ค่า ΔV_C ก็จะน้อยกว่าหรือระยะห่างระหว่างเส้นกราฟแต่ละเส้นบริเวณช่วงแอกทีฟมีค่าน้อยกว่าเช่นกัน

4.2 ผลการวัดความต่างศักย์ที่ได้จากเครื่องวัดลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์

4.2.1 ผลการวัดความต่างศักย์ของ LM317 ในแต่ค่าที่สั่ง ด้วยโวลต์มิเตอร์กับวัดด้วย ADC0808



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันของ LM317 ที่วัดด้วยโวลต์มิเตอร์กับวัดด้วย ADC0808

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	meter	ADC	No.	meter	ADC	No.	Meter	ADC	No.	meter	ADC
0	0.10	0.109	31	3.43	3.45	62	7.05	6.90	93	10.71	10.70
1	0.20	0.23	32	3.82	3.45	63	7.11	7.13	94	10.81	10.70
2	0.31	0.23	33	3.88	3.91	64	7.58	7.13	95	10.87	10.93
3	0.36	0.46	34	3.99	3.91	65	7.64	7.71	96	11.26	10.93
4	0.54	0.46	35	4.04	4.14	66	7.75	7.71	97	11.32	11.27
5	0.59	0.69	36	4.22	4.14	67	7.80	7.82	98	11.43	11.27
6	0.70	0.69	37	4.28	4.37	68	7.99	7.82	99	11.48	11.50
7	0.76	0.81	38	4.38	4.37	69	8.04	8.05	100	11.66	11.50
8	1.01	0.81	39	4.44	4.49	70	8.15	8.05	101	11.72	11.73
9	1.07	1.15	40	4.69	4.49	71	8.20	8.28	102	11.	11.73
10	1.17	1.15	41	4.74	4.83	72	8.45	8.28	103	11.88	11.85
11	1.23	1.27	42	4.85	4.83	73	8.51	8.51	104	12.13	11.85
12	1.41	1.27	43	4.91	4.95	74	8.62	8.51	105	12.18	12.19
13	1.46	1.50	44	5.09	4.95	75	8.67	8.74	106	12.29	12.19
14	1.57	1.50	45	5.18	5.18	76	8.85	8.74	107	12.35	12.31
15	1.63	1.73	46	5.25	5.18	77	8.91	8.97	108	12.53	12.31
16	1.95	1.73	47	5.31	5.29	78	9.02	8.97	109	12.58	12.54
17	2.00	2.07	48	5.62	5.29	79	9.07	9.09	110	12.69	12.54
18	2.11	2.07	49	5.68	5.75	80	9.39	9.09	111	12.75	12.77
19	2.17	2.19	50	5.79	5.75	81	9.44	9.43	112	13.06	12.77
20	2.35	2.19	51	5.84	5.87	82	9.55	9.43	113	13.12	13.11
21	2.46	2.42	52	6.02	5.87	83	9.61	9.66	114	13.23	13.11
22	2.51	2.42	53	6.08	6.10	84	9.79	9.66	115	13.46	13.23
23	2.56	2.65	54	6.19	6.10	85	9.84	9.89	116	13.49	13.23
24	2.81	2.65	55	6.24	6.21	86	9.95	9.89	117	13.52	13.46
25	2.87	2.88	56	6.38	6.21	87	10.01	10.01	118	13.63	13.46
26	2.98	2.88	57	6.55	6.56	88	10.25	10.01	119	13.69	13.69
27	3.03	3.11	58	6.65	6.56	89	10.31	10.35	120	13.93	13.69
28	3.21	3.11	59	6.71	6.79	90	10.42	10.35	121	13.99	13.92
29	3.27	3.34	60	6.89	6.79	91	10.47	10.47	122	14.10	13.92
30	3.37	3.34	61	6.94	6.90	92	10.65	10.47	123	14.15	14.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

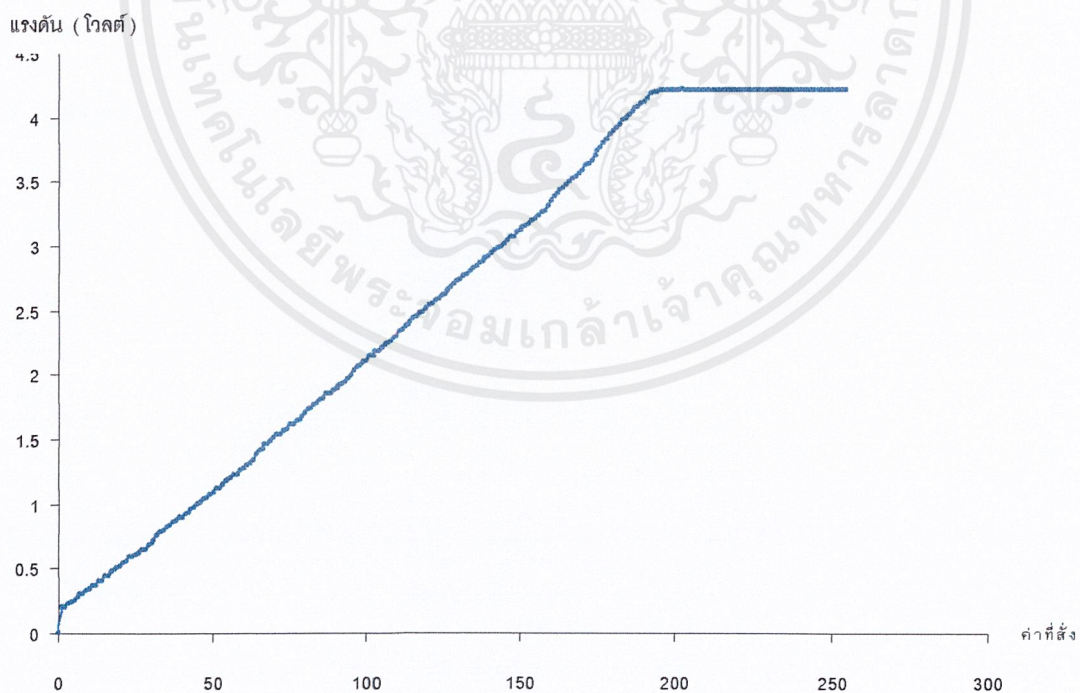
No.	meter	ADC	No.	meter	ADC	No.	meter	ADC	No.	meter	ADC
124	14.33	14.15	155	17.97	17.95	186	21.59	21.40	217	25.23	25.19
125	14.39	14.38	156	18.15	17.95	187	21.65	21.51	218	25.34	25.19
126	14.50	14.38	157	18.20	18.18	188	21.82	21.51	219	25.40	25.31
127	14.56	14.49	158	18.31	18.18	189	21.88	21.74	220	25.58	25.31
128	15.07	14.49	159	18.37	18.29	190	21.99	21.74	221	25.64	25.54
129	15.13	15.07	160	18.75	18.29	191	22.05	21.97	222	25.74	25.54
130	15.25	15.07	161	18.81	18.75	192	22.51	21.97	223	25.80	25.65
131	15.30	15.30	162	18.92	18.75	193	22.57	22.55	224	26.18	25.65
132	15.48	15.30	163	18.97	18.98	194	22.68	20.55	225	26.24	26.23
133	15.54	15.53	164	19.15	18.98	195	22.73	22.66	226	26.35	26.23
134	15.65	15.53	165	19.21	19.21	196	22.85	22.66	227	26.40	26.34
135	15.70	15.65	166	19.32	19.21	197	22.97	22.89	228	26.58	26.34
136	15.95	15.65	167	19.37	19.33	198	23.07	22.89	229	26.64	26.57
137	16.01	15.99	168	19.62	19.33	199	23.13	23.12	230	26.74	26.57
138	16.11	15.99	169	19.68	19.67	200	23.38	23.12	231	26.80	26.69
139	16.17	16.11	170	19.79	19.67	201	23.43	23.35	232	27.05	26.69
140	16.35	16.11	171	19.84	19.79	202	23.55	23.35	233	27.11	27.03
141	16.40	16.34	172	20.02	19.79	203	23.60	23.58	234	27.21	27.03
142	16.51	16.34	173	20.08	20.02	204	23.78	23.58	235	27.27	27.15
143	16.57	16.57	174	20.19	20.02	205	23.84	23.81	236	27.45	27.15
144	16.88	16.57	175	20.24	20.13	206	23.94	23.81	237	27.51	27.49
145	16.94	16.91	176	20.55	20.13	207	24.00	23.93	238	27.62	27.49
146	17.05	16.91	177	20.61	20.59	208	24.31	23.93	239	27.67	27.61
147	17.10	17.03	178	20.72	20.59	209	24.37	24.27	240	27.98	27.61
148	17.28	17.03	179	20.78	20.71	210	24.48	24.27	241	28.03	27.95
149	17.34	17.26	180	20.96	20.71	211	24.53	24.50	242	28.15	27.95
150	17.45	17.26	181	21.01	20.94	212	24.71	24.50	243	28.20	28.18
151	17.50	17.49	182	21.12	20.94	213	24.77	24.73	244	28.38	28.18
152	17.75	17.49	183	21.18	21.05	214	24.88	24.73	245	28.44	28.41
153	17.81	17.83	184	21.42	21.05	215	24.93	24.85	246	28.55	28.41
154	17.91	17.83	185	21.48	21.40	216	25.18	24.85	247	28.61	28.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	meter	ADC
248	28.85	28.53
249	28.91	28.76
250	29.02	28.76
251	29.08	28.99
252	29.25	28.99
253	29.31	29.22
254	29.42	29.22
255	29.48	29.33

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จาก LM317

4.2.2 ผลทดลองผลการวัดความต่างศักย์ของ DAC0808 ในแต่ค่าที่สั่ง ด้วยโวลต์ มิเตอร์



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันของ DAC 0808 ที่วัดด้วยโวลต์มิเตอร์กับค่าที่สั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	meter	No.	meter	No.	Meter	No.	meter
0	0.01	31	0.73	62	1.32	93	1.96
1	0.21	32	0.77	63	1.35	94	1.98
2	0.22	33	0.79	64	1.40	95	2.00
3	0.24	34	0.81	65	1.43	96	2.04
4	0.25	35	0.83	66	1.44	97	2.07
5	0.27	36	0.84	67	1.47	98	2.08
6	0.29	37	0.87	68	1.48	99	2.11
7	0.31	38	0.88	69	1.50	100	2.12
8	0.31	39	0.91	70	1.52	101	2.15
9	0.34	40	0.91	71	1.55	102	2.16
10	0.35	41	0.93	72	1.55	103	2.19
11	0.38	42	0.95	73	1.57	104	2.19
12	0.38	43	0.97	74	1.59	105	2.22
13	0.41	44	0.98	75	1.62	106	2.24
14	0.42	45	1.01	76	1.63	107	2.26
15	0.45	46	1.02	77	1.65	108	2.27
16	0.46	47	1.04	78	1.67	109	2.30
17	0.49	48	1.06	79	1.69	110	2.31
18	0.50	49	1.09	80	1.71	111	2.34
19	0.52	50	1.10	81	1.74	112	2.36
20	0.53	51	1.13	82	1.75	113	2.38
21	0.55	52	1.14	83	1.78	114	2.4
22	0.57	53	1.16	84	1.79	115	2.42
23	0.60	54	1.18	85	1.81	116	2.44
24	0.60	55	1.20	86	1.83	117	2.46
25	0.62	56	1.21	87	1.86	118	2.48
26	0.63	57	1.23	88	1.86	119	2.5
27	0.66	58	1.24	89	1.89	120	2.52
28	0.66	59	1.27	90	1.90	121	2.54
29	0.69	60	1.28	91	1.93	122	2.56
30	0.71	61	1.31	92	1.94	123	2.58

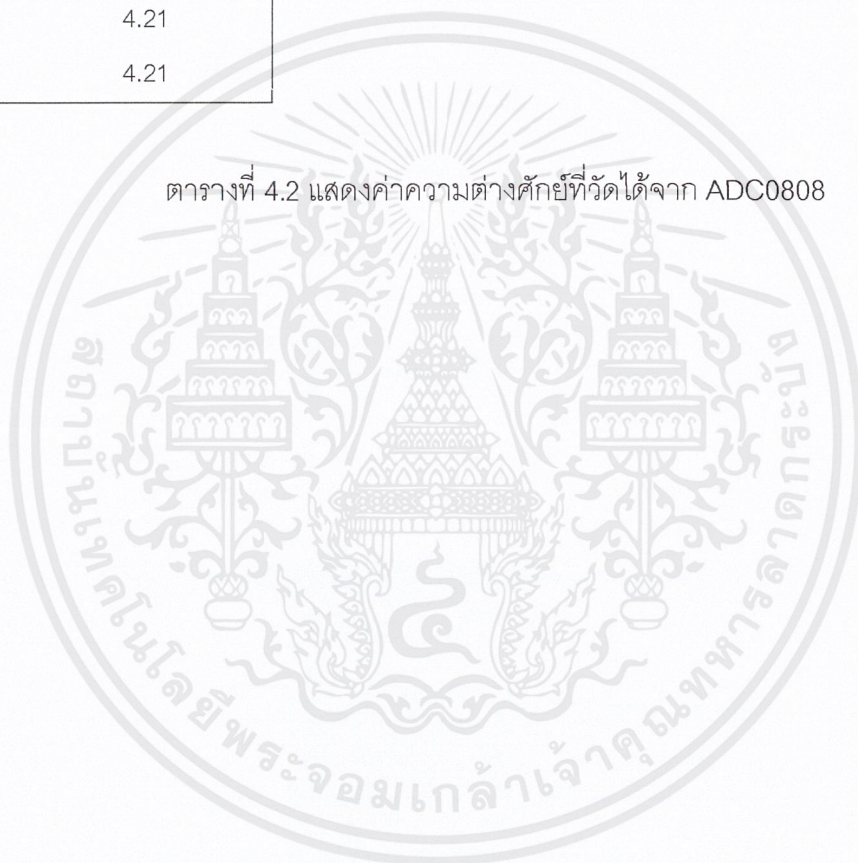
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	meter	No.	meter	No.	meter	No.	meter
124	2.6	155	3.22	186	4.04	217	4.21
125	2.62	156	3.24	187	4.07	218	4.21
126	2.64	157	3.27	188	4.08	219	4.21
127	2.66	158	3.28	189	4.11	220	4.21
128	2.68	159	3.32	190	4.12	221	4.21
129	2.71	160	3.35	191	4.15	222	4.21
130	2.73	161	3.39	192	4.18	223	4.21
131	2.75	162	3.41	193	4.20	224	4.21
132	2.77	163	3.44	194	4.20	225	4.21
133	2.79	164	3.45	195	4.21	226	4.21
134	2.81	165	3.48	196	4.21	227	4.21
135	2.83	166	3.50	197	4.21	228	4.21
136	2.85	167	3.53	198	4.22	229	4.21
137	2.87	168	3.54	199	4.21	230	4.21
138	2.89	169	3.57	200	4.21	231	4.21
139	2.91	170	3.59	201	4.21	232	4.21
140	2.92	171	3.63	202	4.21	233	4.21
141	2.95	172	3.64	203	4.21	234	4.21
142	2.97	173	3.67	204	4.21	235	4.21
143	2.99	174	3.70	205	4.21	236	4.21
144	3	175	3.74	206	4.21	237	4.21
145	3.03	176	3.77	207	4.21	238	4.21
146	3.05	177	3.81	208	4.21	239	4.21
147	3.07	178	3.83	209	4.21	240	4.21
148	3.08	179	3.87	210	4.21	241	4.21
149	3.11	180	3.89	211	4.21	242	4.21
150	3.13	181	3.92	212	4.21	243	4.21
151	3.15	182	3.95	213	4.21	244	4.21
152	3.16	183	3.98	214	4.21	245	4.21
153	3.18	184	3.99	215	4.21	246	4.21
154	3.2	185	4.02	216	4.21	247	4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	meter
248	4.21
249	4.21
250	4.21
251	4.21
252	4.21
253	4.21
254	4.21
255	4.21

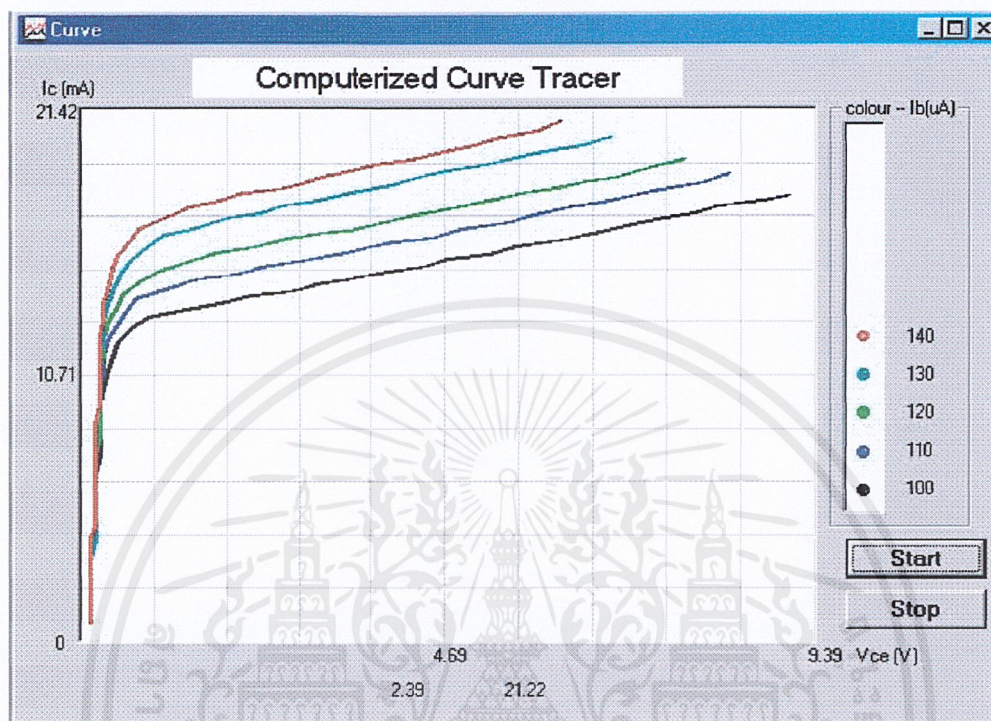
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จาก ADC0808



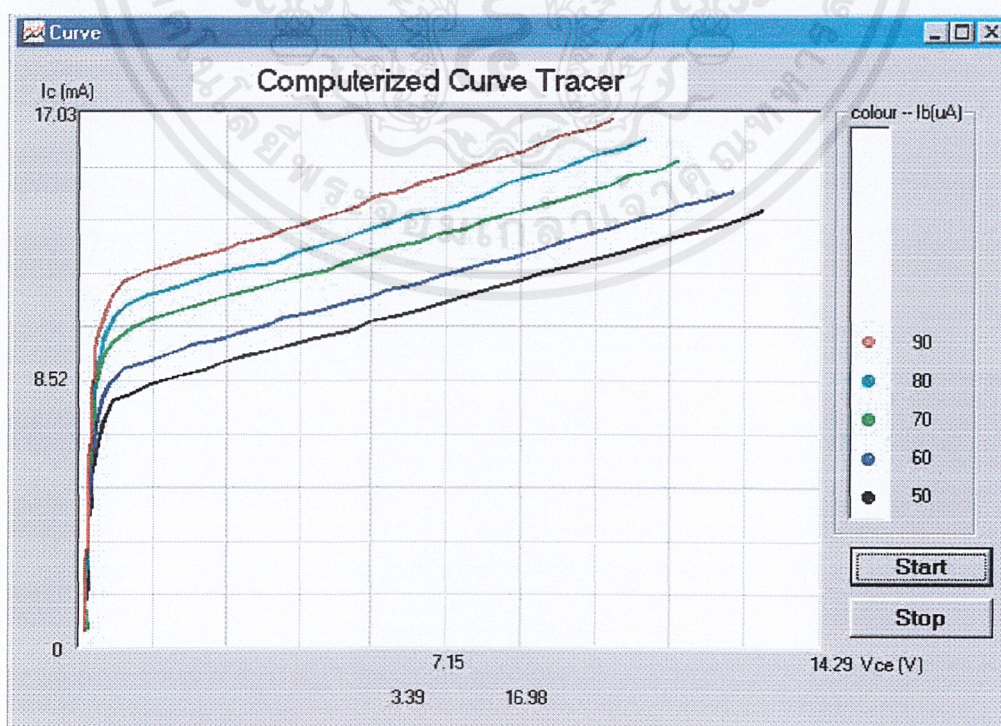
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองวัดลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์

4.3.1 ผลการทดลองของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904 ($\beta = 200$)

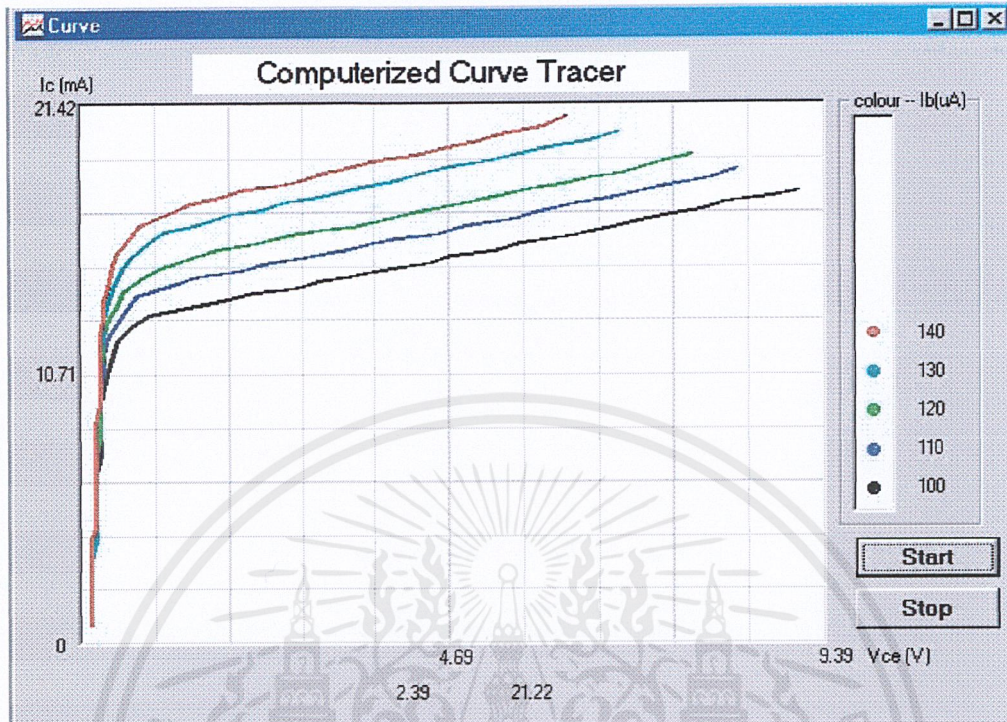


รูปที่ 4.6 แสดงกราฟที่ $R_c = 1\text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $10\text{ }\mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $10\text{ }\mu\text{A}$ จำนวน 5 เส้น

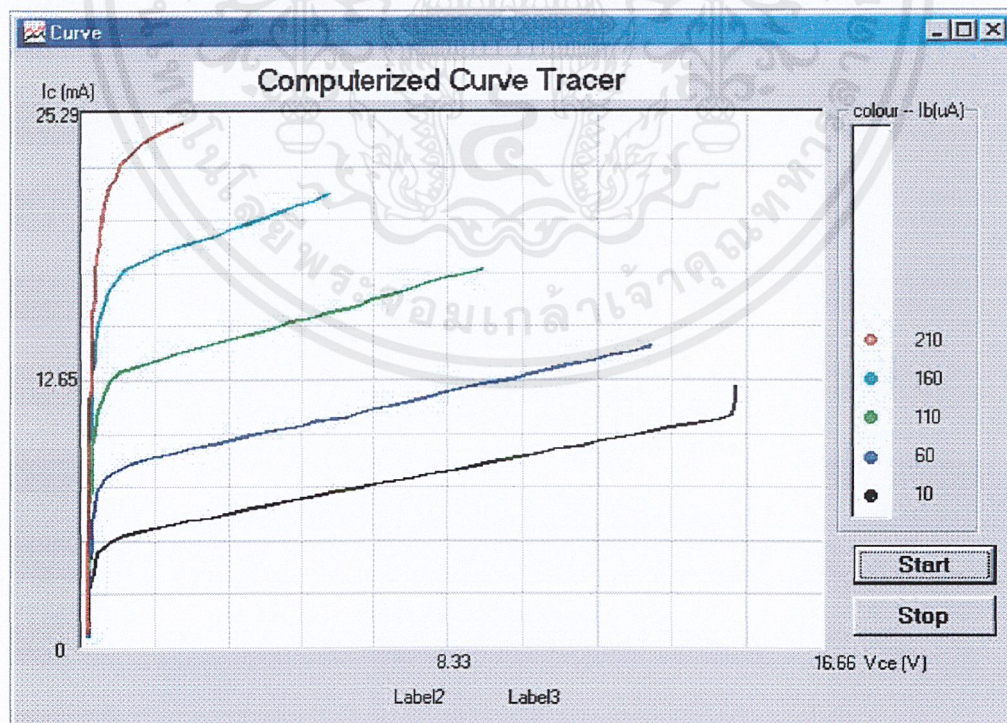


รูปที่ 4.7 แสดงกราฟที่ $R_c = 1\text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $50\text{ }\mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $10\text{ }\mu\text{A}$ จำนวน 5 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

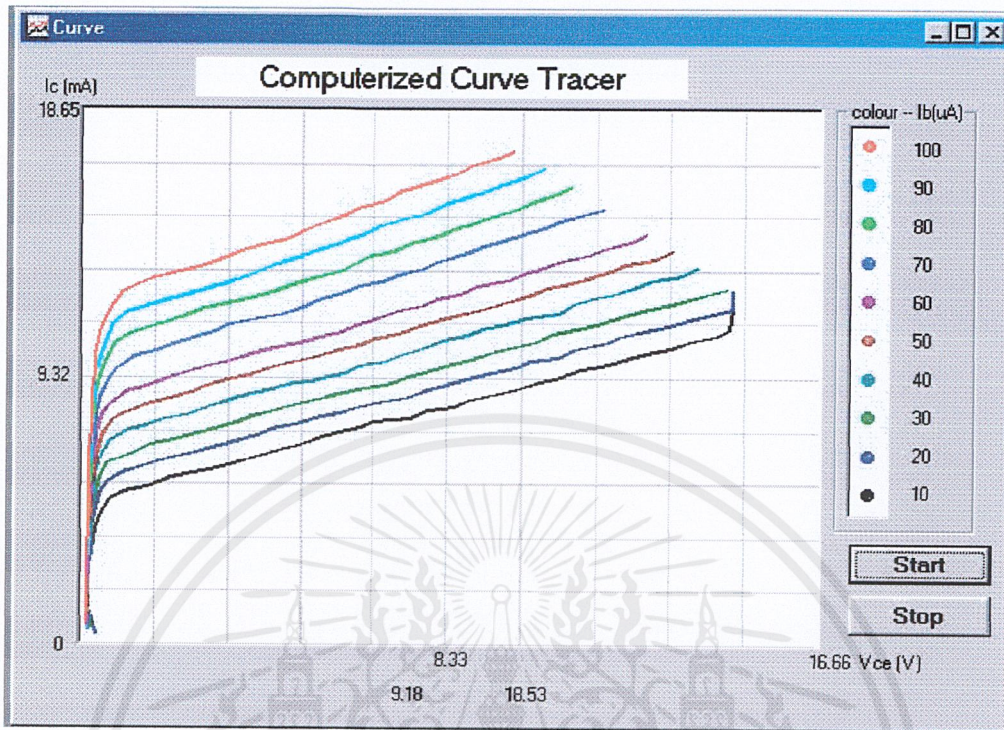


รูปที่ 4.8 แสดงกราฟที่ $R_C = 1\text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ 100 μA เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 μA จำนวน 5 เส้น



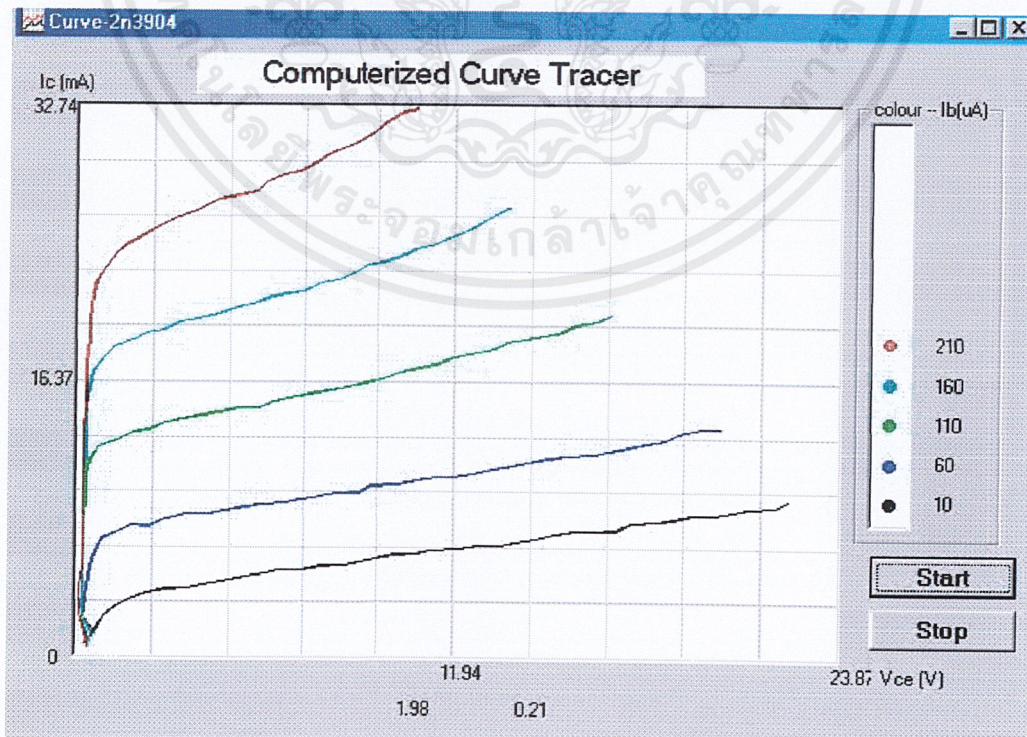
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟที่ $R_C = 1\text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ 10 μA เพิ่มขึ้นครั้งละ 50 μA จำนวน 5 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



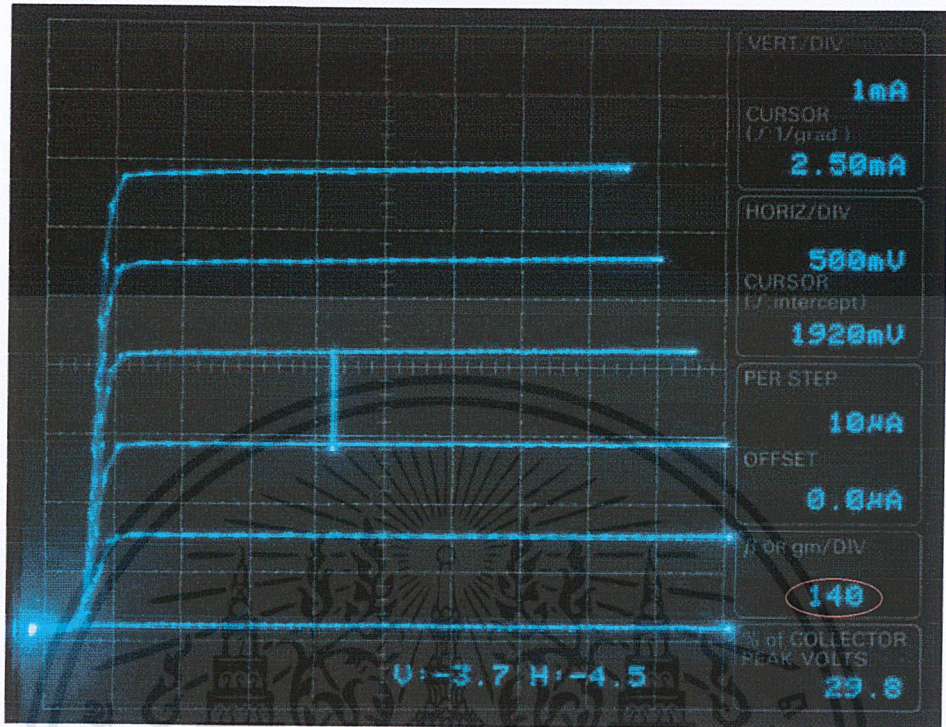
รูปที่ 4.10 แสดงกราฟที่ $R_C = 1\text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $10\text{ }\mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $10\text{ }\mu\text{A}$ จำนวน 10 เส้น

ผลการทดลองเมื่อ R_C เท่ากับ 500Ω

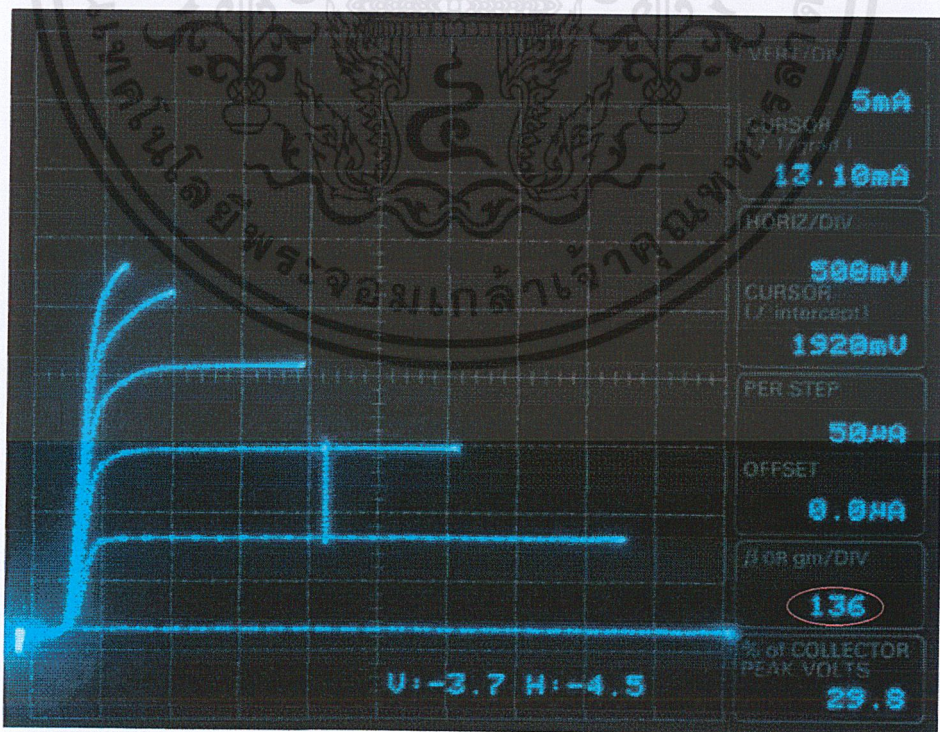


รูปที่ 4.11 แสดงกราฟที่ $R_C = 500\Omega$ เริ่มต้นที่ $10\text{ }\mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $10\text{ }\mu\text{A}$ จำนวน 10 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



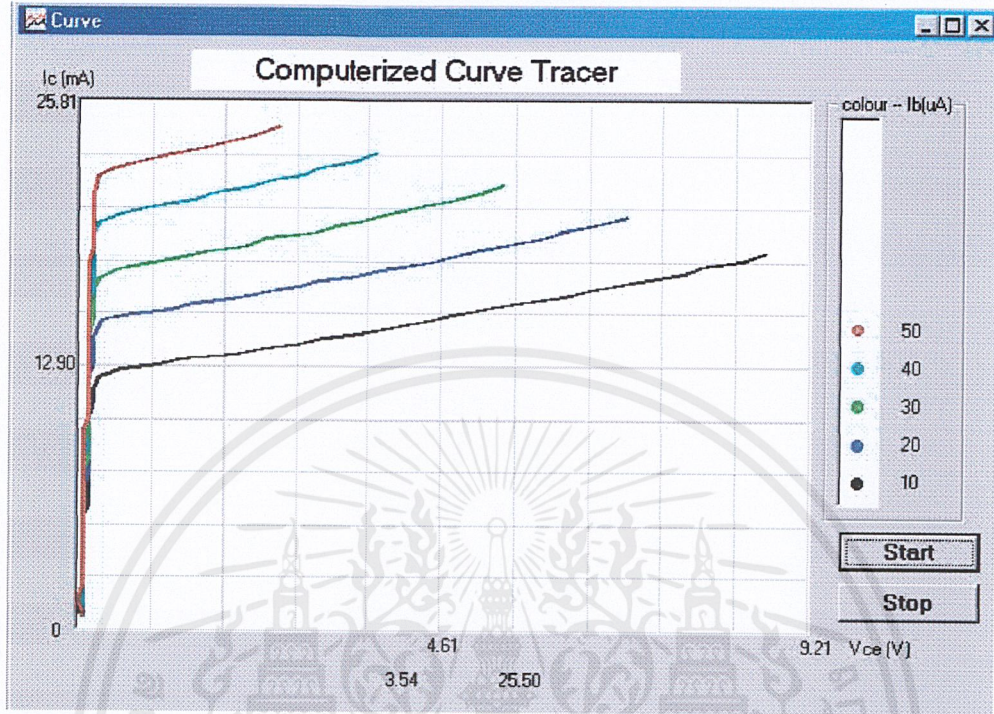
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 μA จำนวน 5 เส้น ได้ค่าเบตา 140



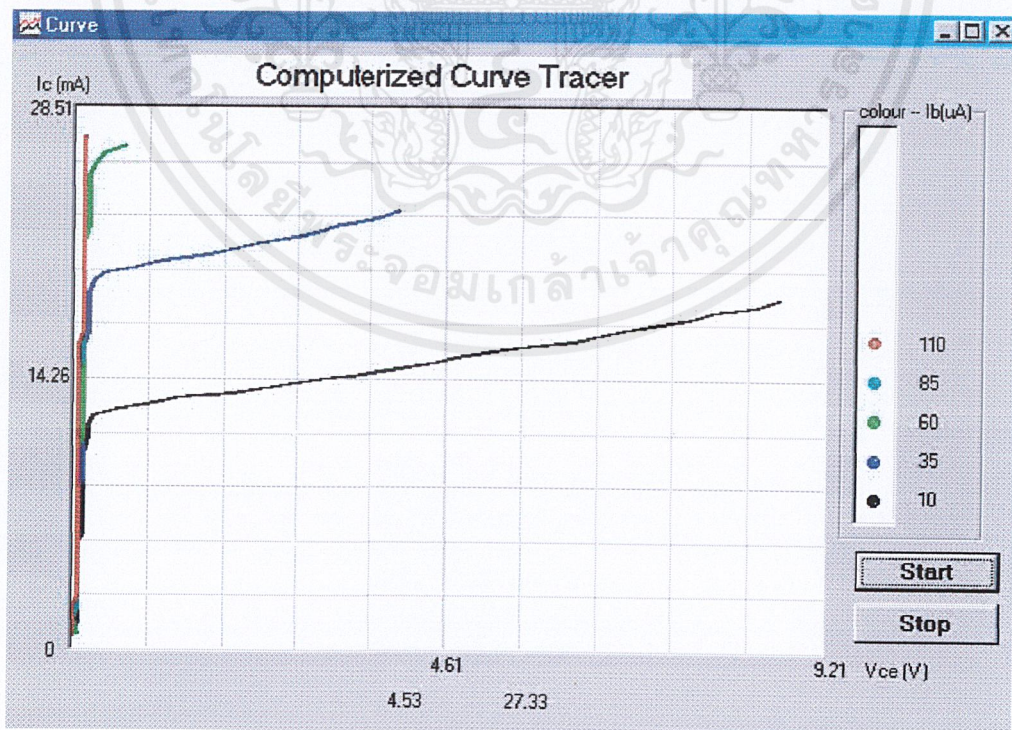
รูปที่ 4.13 แสดงกราฟที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 50 μA จำนวน 5 เส้น ได้ค่าเบตา 136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดลองของทรานซิสเตอร์เบอร์ bc33825 ($\beta = 250$)

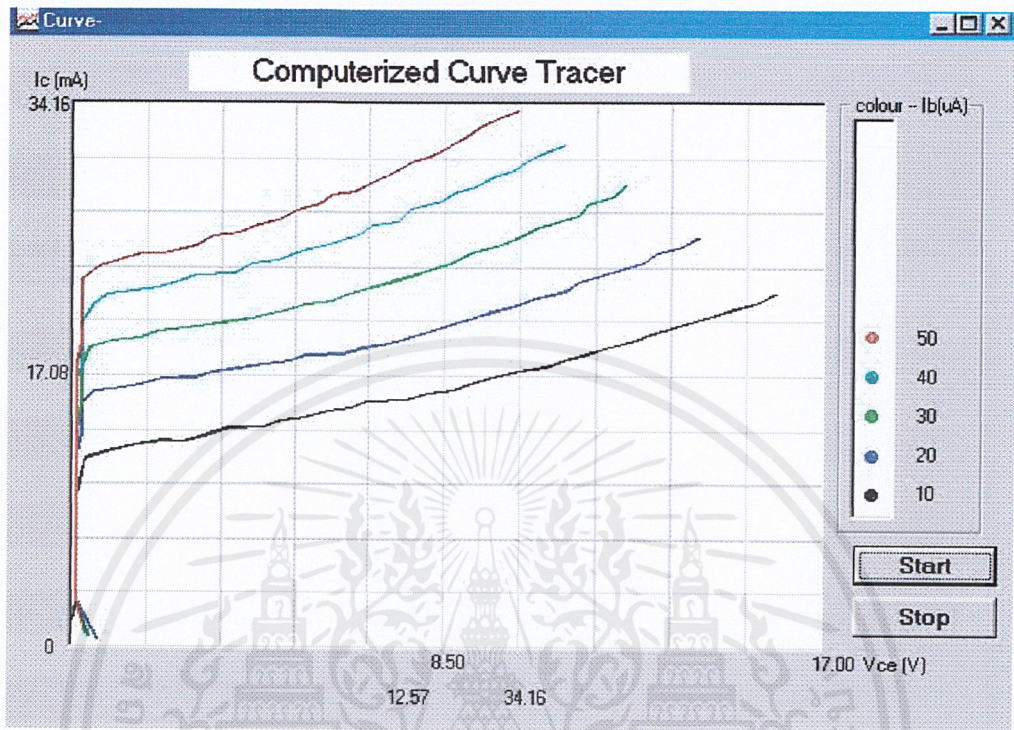


รูปที่ 4.14 แสดงกราฟที่ $R_C = 1\text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $10\ \mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $10\ \mu\text{A}$ จำนวน 5 เส้น

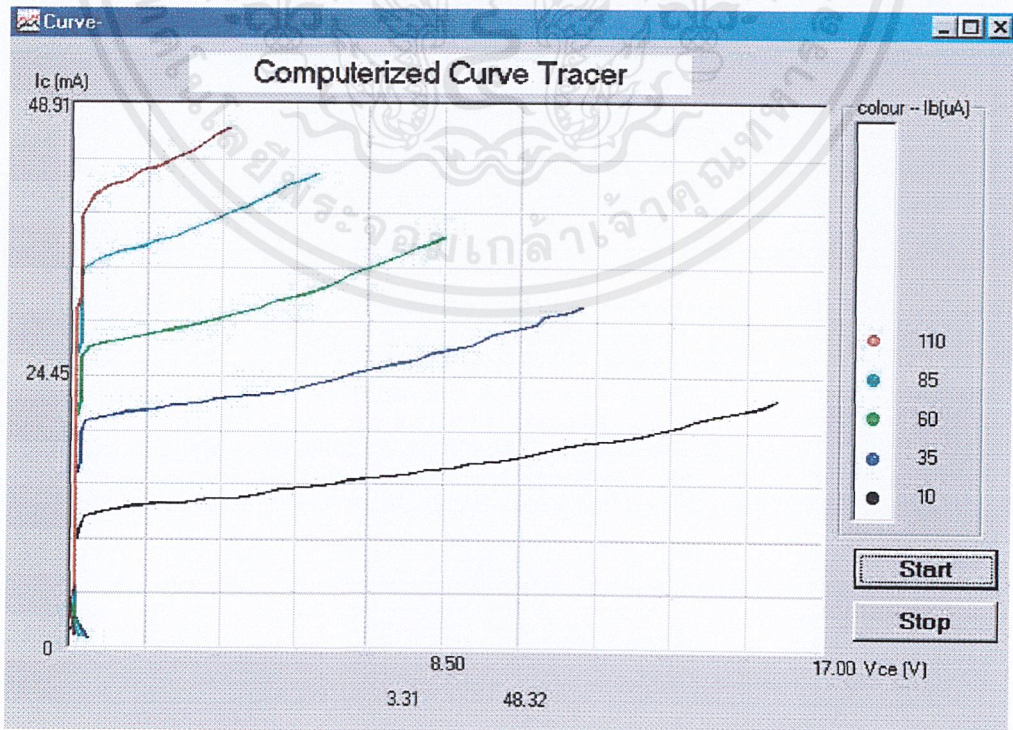


รูปที่ 4.15 แสดงกราฟที่ $R_C = 1\text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $10\ \mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $25\ \mu\text{A}$ จำนวน 5 เส้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนค่า R_C เป็น 500Ω

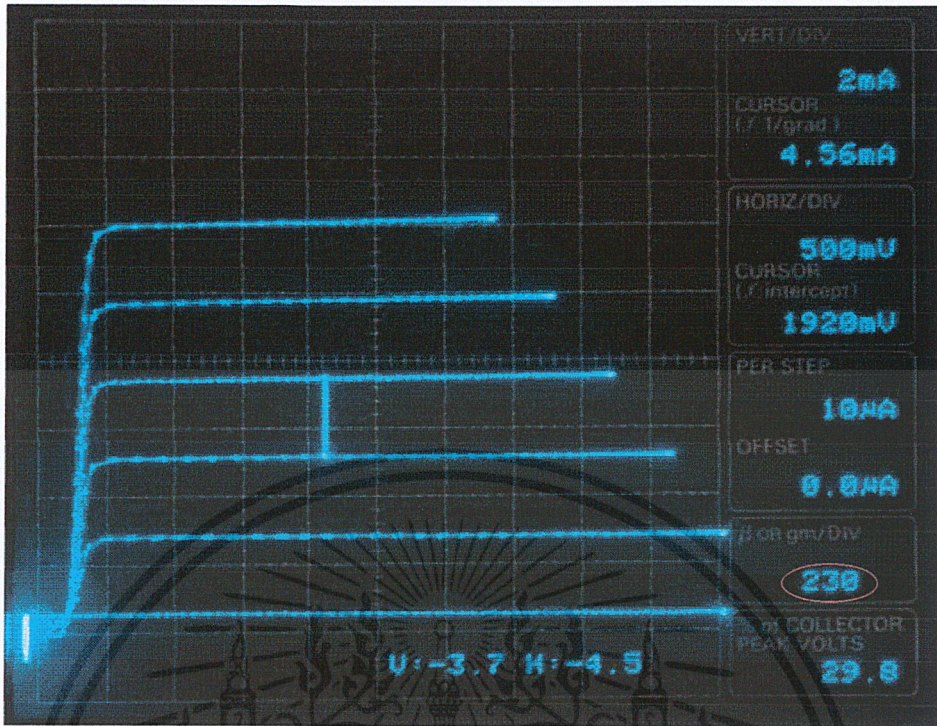


รูปที่ 4.16 แสดงกราฟที่ $R_C = 0.5 \text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $10 \mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $10 \mu\text{A}$ จำนวน 5 เส้น

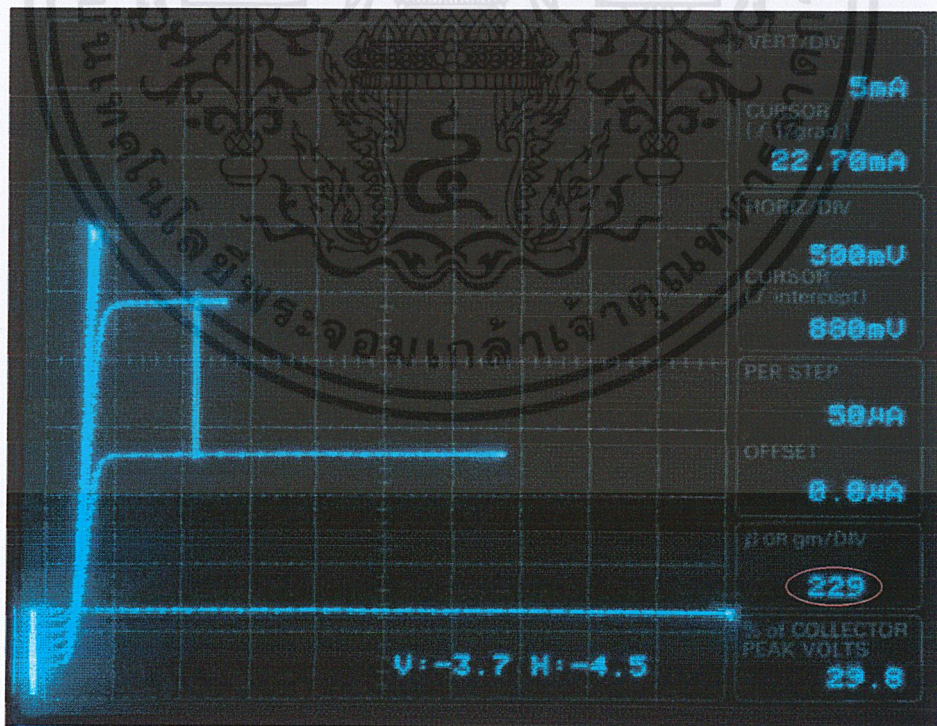


รูปที่ 4.17 แสดงกราฟที่ $R_C = 0.5 \text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $10 \mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $25 \mu\text{A}$ จำนวน 5 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



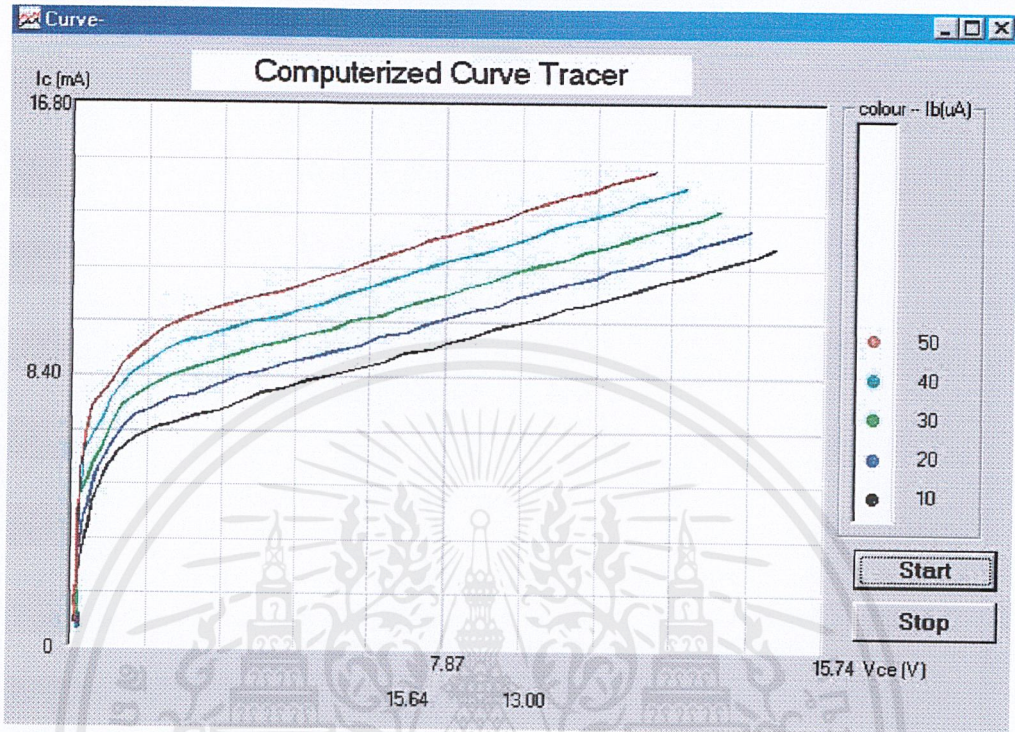
รูปที่ 4.18 แสดงกราฟที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 μ A จำนวน 5 เส้น ได้ค่าเบตา 230



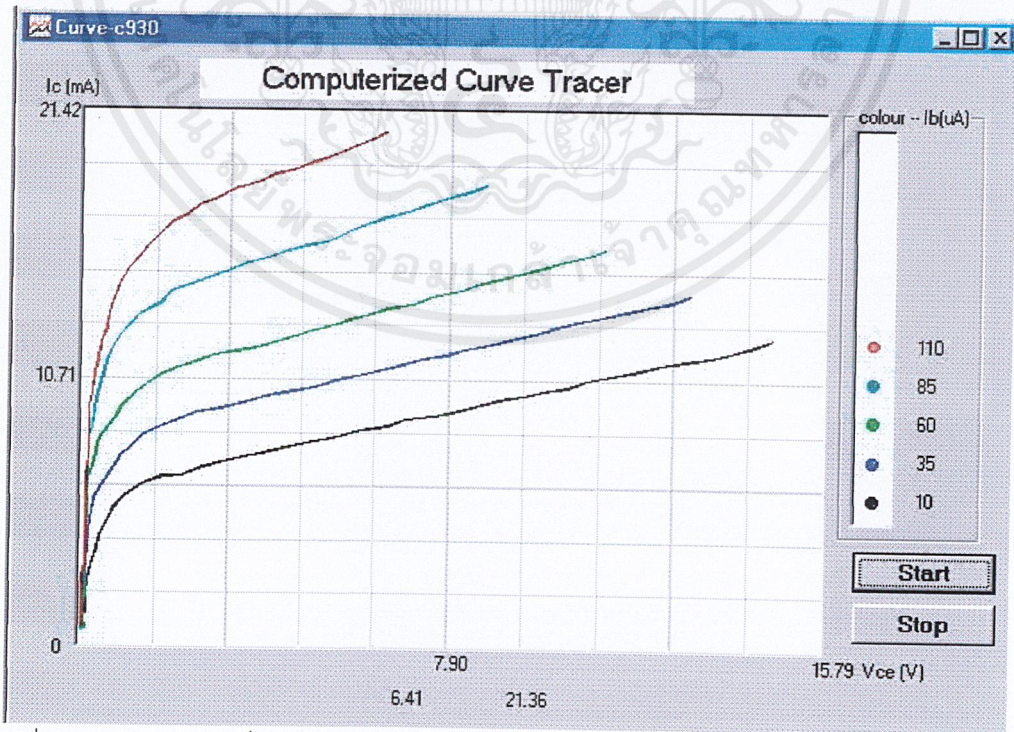
รูปที่ 4.19 แสดงกราฟที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 50 μ A จำนวน 5 เส้น ได้ค่าเบตา 229

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการทดลองของทรานซิสเตอร์เบอร์ c930 ($\beta = 70$)

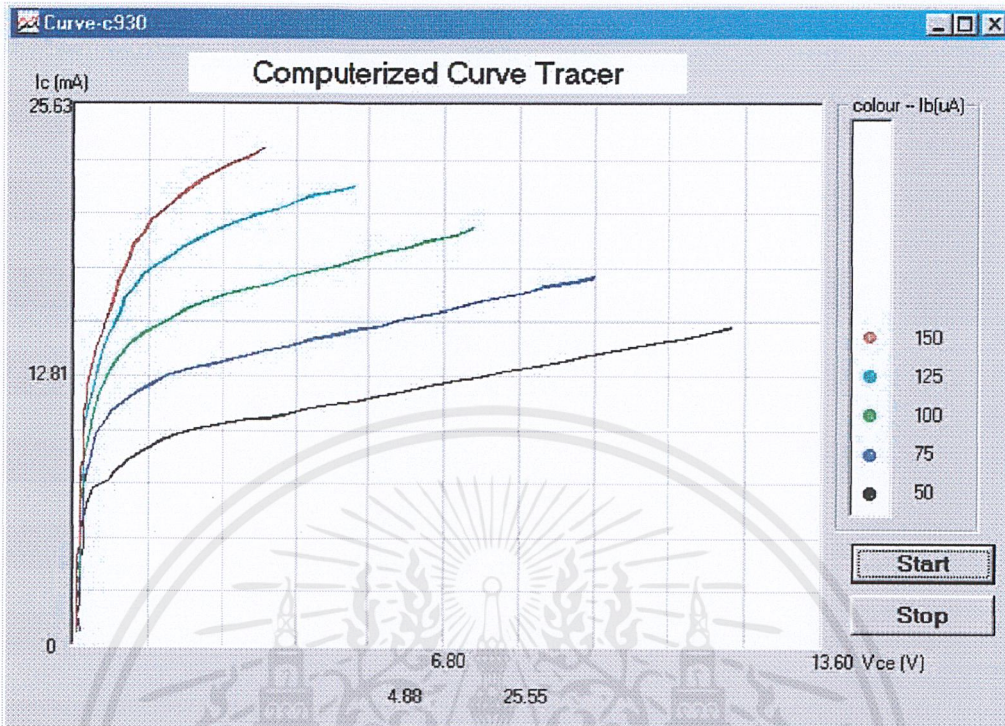


รูปที่ 4.20 แสดงกราฟที่ $R_C = 1\text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $10\text{ }\mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $10\text{ }\mu\text{A}$ จำนวน 5 เส้น

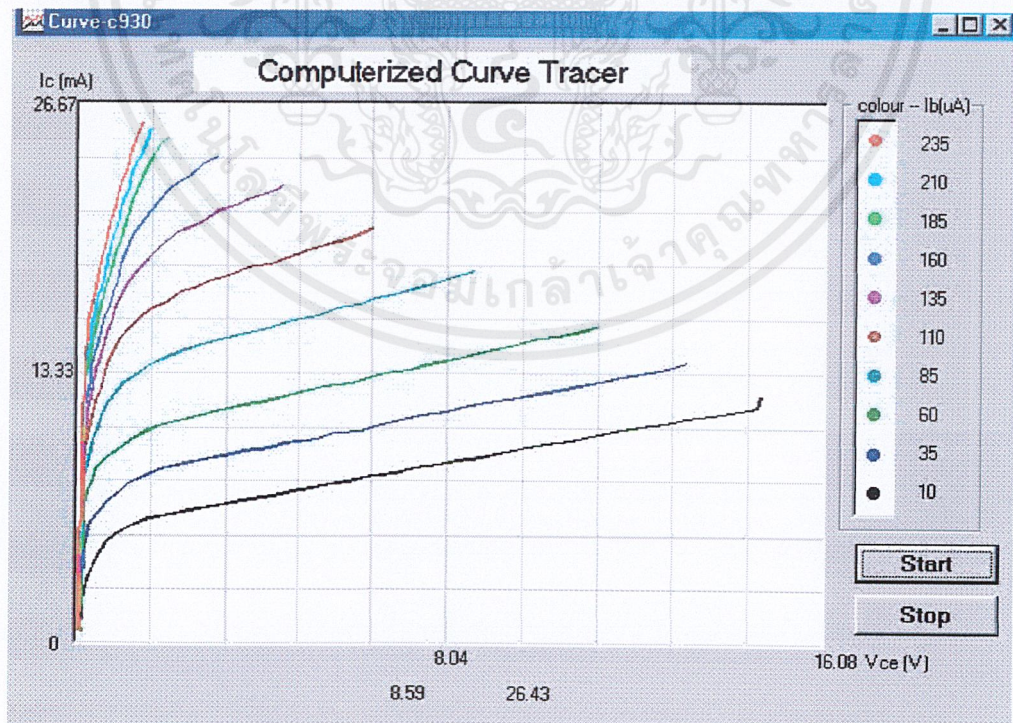


รูปที่ 4.21 แสดงกราฟที่ $R_C = 1\text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $10\text{ }\mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $25\text{ }\mu\text{A}$ จำนวน 5 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



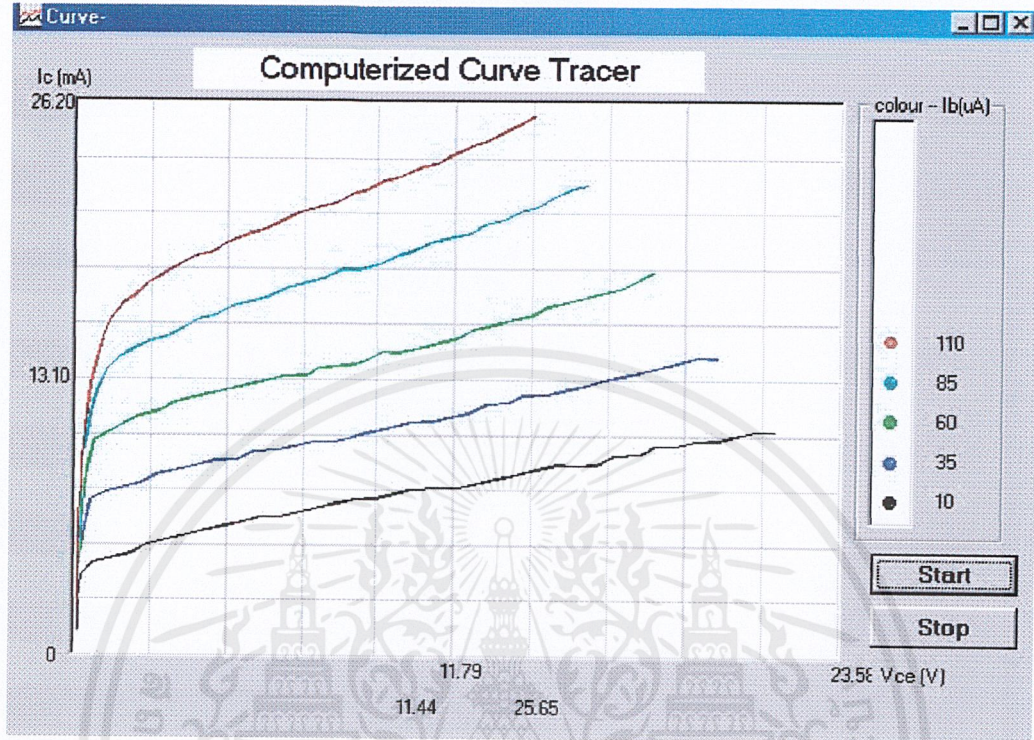
รูปที่ 4.22 แสดงกราฟที่ $R_c = 1 \text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $50 \text{ }\mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $25 \text{ }\mu\text{A}$ จำนวน 5 เส้น



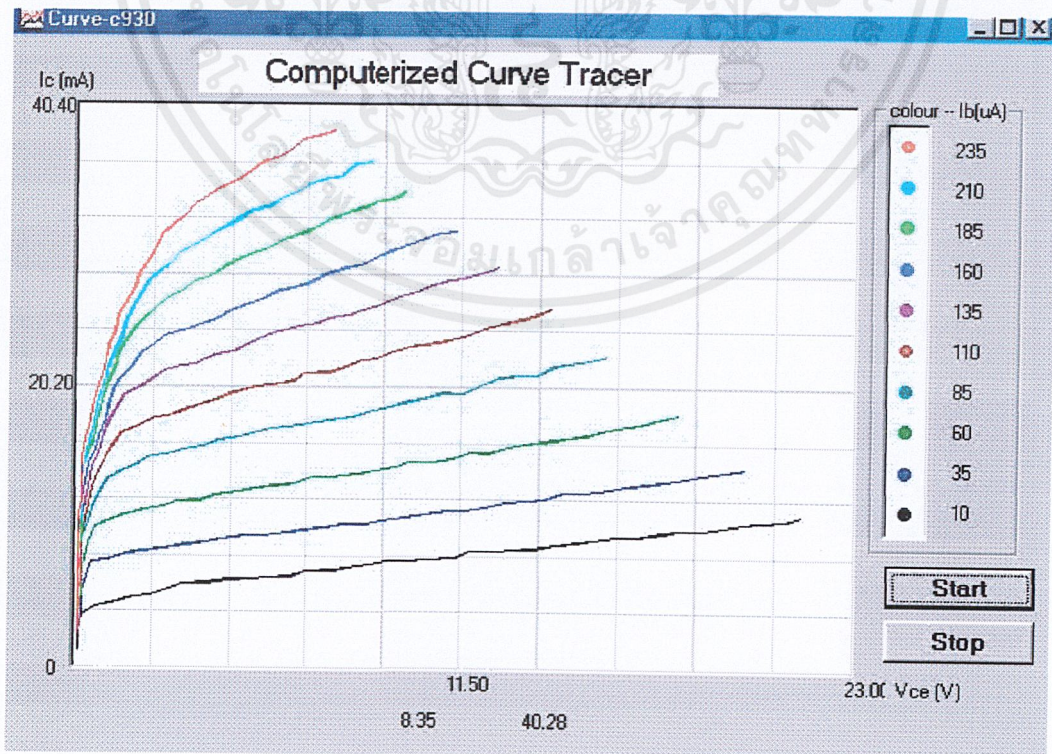
รูปที่ 4.23 แสดงกราฟที่ $R_c = 1 \text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $10 \text{ }\mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $25 \text{ }\mu\text{A}$ จำนวน 10 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนค่า R_c เป็น 500Ω

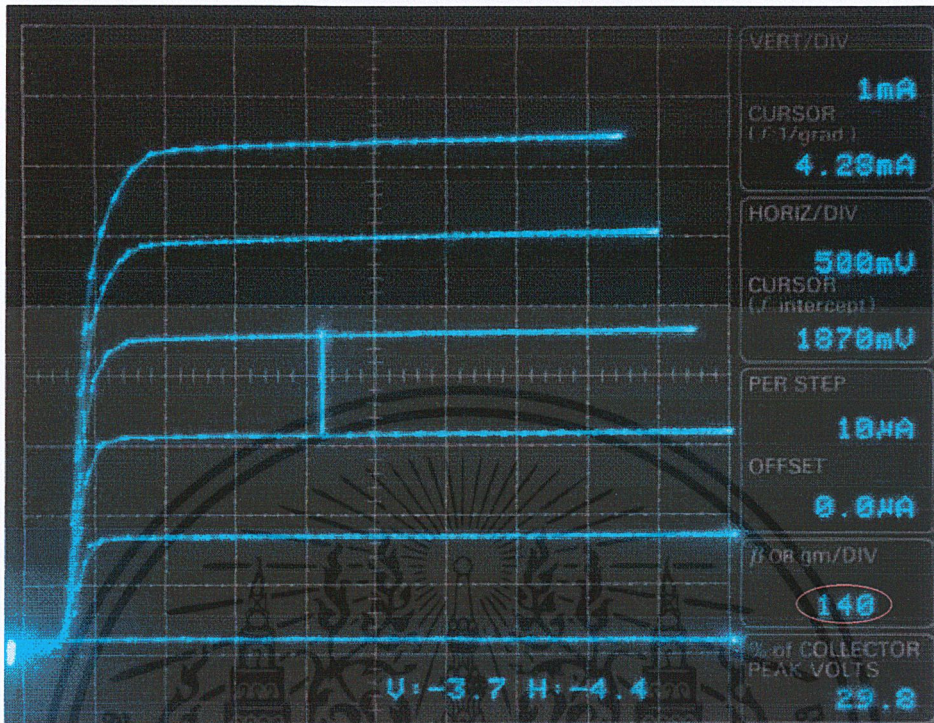


รูปที่ 4.24 แสดงกราฟที่ $R_c = 0.5 \text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $10 \mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $25 \mu\text{A}$ จำนวน 5 เส้น

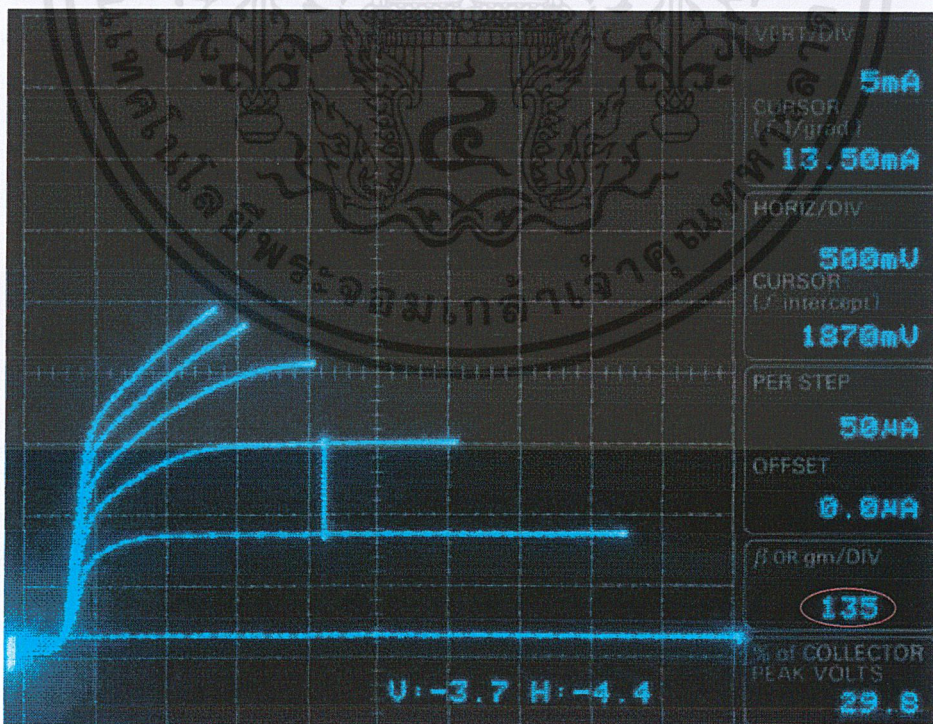


รูปที่ 4.25 แสดงกราฟที่ $R_c = 0.5 \text{ k}\Omega$ เริ่มต้นที่ $10 \mu\text{A}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $25 \mu\text{A}$ จำนวน 10 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงกราฟที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 μA จำนวน 5 เส้น ได้ค่าเบตา 140



รูปที่ 4.27 แสดงกราฟที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 50 μA จำนวน 5 เส้น ได้ค่าเบตา 135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปการทำงานและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปการทำงาน

งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือเพื่อที่จะใช้หากกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการเพิ่มของ V_{BB} และ V_{CC} ผ่านทางอุปกรณ์แปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นอนาลอก(Digital-to-Analog Converter : DAC) และ LM317 ซึ่งเป็นเรกกูเลเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้ โดยใช้ DAC เป็นแหล่งจ่ายไฟที่ V_{BB} ส่วน LM317 จะใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้ V_{CC} และวัดค่า V_{CE} เข้ามาทางอุปกรณ์แปลงข้อมูลอนาลอกเป็นดิจิทัล(Analog-to-Digital Converter : ADC) เพื่อเข้ามาคำนวณ I_C และเก็บข้อมูลต่างๆไว้ และใช้โปรแกรม Visual Basic (VB) นำข้อมูลมาเขียนเป็นกราฟเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ ซึ่งผลการทดลองได้แสดงออกมาในรูปของกราฟ

5.2 ประสิทธิภาพของเครื่องวัดลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์

- ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟทางด้าน V_{BB} มีค่าอยู่ในช่วง 0.01 – 4.21 โวลต์
- ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟทางด้าน V_{CC} มีค่าอยู่ในช่วง 0.10 – 29.48 โวลต์
- ประสิทธิภาพของ DAC0808 ที่วัดด้าน V_{CC} มีค่าอยู่ในช่วง 0.1- 29.33 โวลต์
- ประสิทธิภาพของ DAC0808 ที่วัดด้าน V_{CE} มีค่าอยู่ในช่วง 0.1- 14.69 โวลต์
- ประสิทธิภาพของเครื่องวัดสามารถวัดที่ I_B ได้ตั้งแต่ 10 – 210 μA
- ส่วนแสดงผลแบ่งเป็น
 - ภาพแสดงกราฟระหว่าง V_{CE} กับ I_C ที่ค่า I_B ต่างๆ
 - ตารางผลข้อมูล V_{CE} กับ I_C ที่ค่า I_B ต่างๆ

5.3 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองวัดลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ด้วยเครื่องวัด กับทรานซิสเตอร์ 3 เบอร์ ได้แก่ 2N3904 , BC33825 , C930 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และหาค่าเบตาของทรานซิสเตอร์แต่ละเบอร์ได้ดังนี้

2N3904 หาค่าเบตาได้ 95 ซึ่งตามคู่มือค่าเบตา คือ 100 โดยค่าผิดพลาดเท่ากับ 5%

BC33825 หาค่าเบตาได้ 215 ซึ่งตามคู่มือค่าเบตา คือ 250 โดยค่าผิดพลาดเท่ากับ 14%

C930 หาค่าเบตาได้ 77 ซึ่งตามคู่มือค่าเบตา คือ 70 โดยค่าผิดพลาดเท่ากับ 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากผลการทดลองพบว่าเมื่อวัตทรานซิสเตอร์ที่ค่าเบตามากๆ จะได้เส้นกราฟที่สั้นที่กระแสเบสสูงๆ เช่นที่ กระแสเบสมากกว่า $100 \mu\text{A}$ ขึ้นไป จึงได้แก้ไขโดยการลดค่าความต้านทาน R_C ลงเป็น 500Ω จึงสามารถวัดได้ที่กระแสเบสสูงขึ้น แต่ต้องเพิ่มช่วงการวัด V_{CE} ขึ้นเป็น 25 โวลต์จึงทำให้ความละเอียดในการวัดลดลง กราฟที่ได้จึงไม่เรียบ และผิดพลาดมาก ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องปรับปรุงต่อไป

5.4 ข้อเสนอแนะ

- ทำให้วัดได้ทั้งทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ PNP
- ทำให้สามารถวัดได้ในช่วงที่กว้างกว่านี้
- เพิ่มความละเอียดในการวัดให้มากขึ้น





ภาคผนวก ก

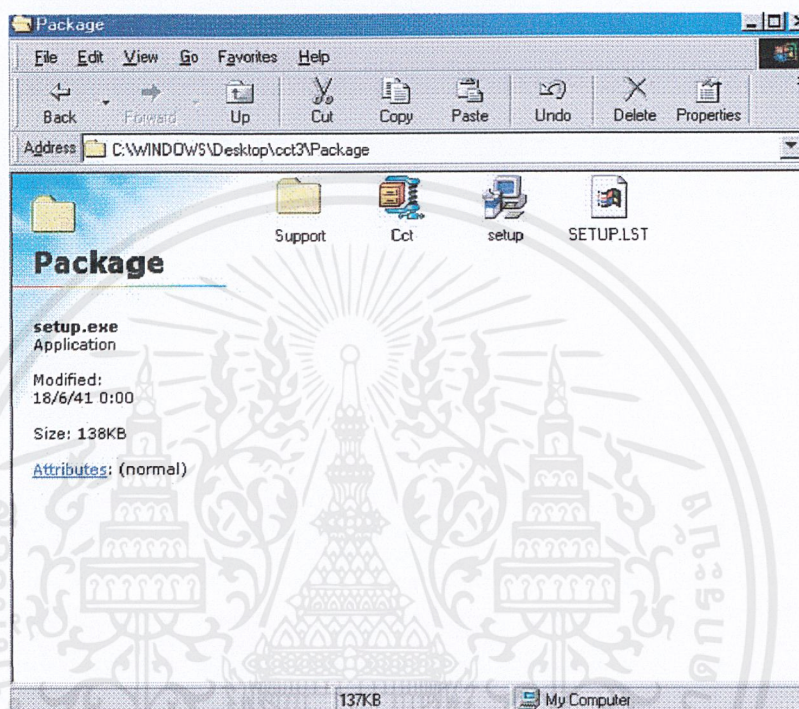
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งและใช้งานโปรแกรม

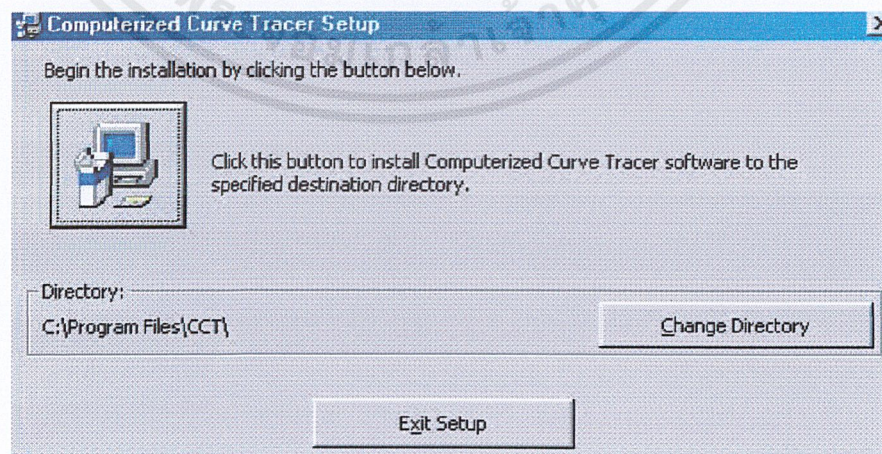
1. การติดตั้งโปรแกรม Cct

1.1 ไล่แผ่นโปรแกรม Cct ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์

1.2 เลือก Setup แล้วทำตามขั้นตอนการติดตั้งดังรูป



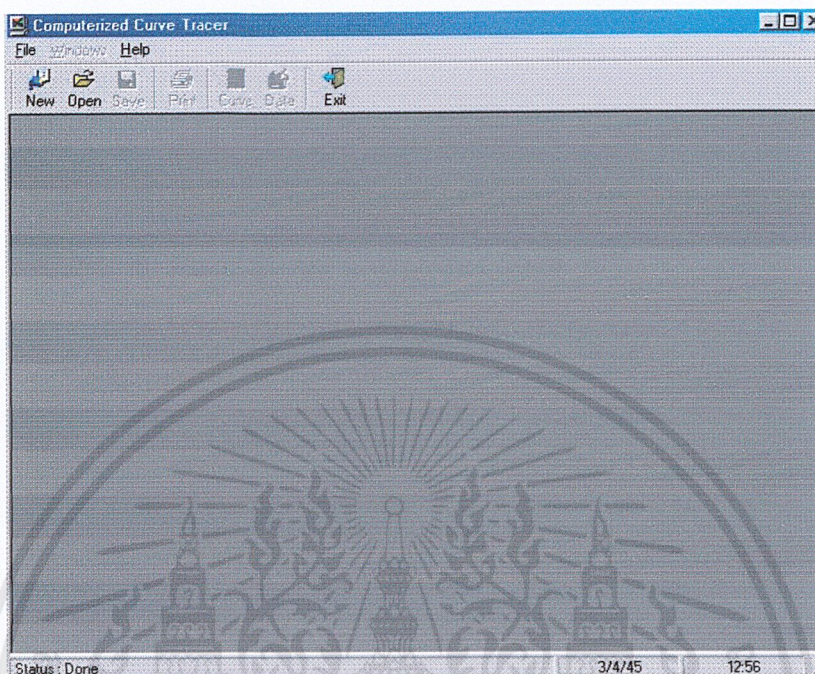
รูปที่ 1 โปรแกรม Cct



รูปที่ 2 การติดตั้งโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การใช้งานโปรแกรม Cct



รูปที่ 3 หน้าต่างหลักของโปรแกรม

ประกอบไปด้วยปุ่มต่างๆ ดังนี้

ปุ่ม New ใช้สำหรับเลือกเพื่อเก็บข้อมูลใหม่

ปุ่ม Open ใช้สำหรับเลือกเพื่อนำข้อมูลเก่ามาดูได้ โดยจะเป็นข้อมูลประเภท cct File (*.cct)

ปุ่ม Save ใช้สำหรับเลือกเพื่อบันทึกข้อมูลโดยจะแบ่งเป็น

ข้อมูลประเภทรูปภาพ bmp File (*.bmp)

ข้อมูลประเภท cct File (*.cct)

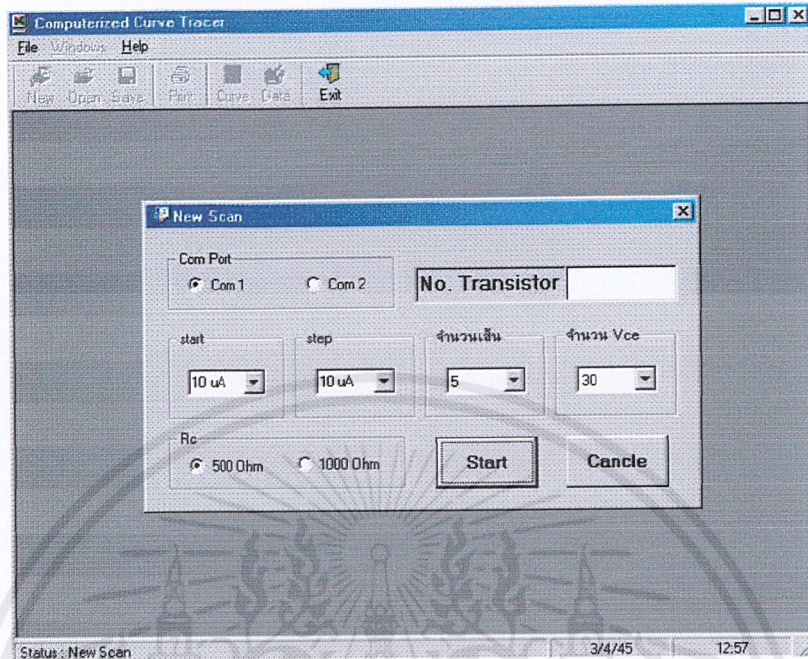
ปุ่ม Print ใช้สำหรับเลือกเพื่อพิมพ์ตารางหรือรูปภาพออกทางเครื่องพิมพ์

ปุ่ม Curve ใช้สำหรับเลือกเพื่อดูหน้าต่างกราฟ

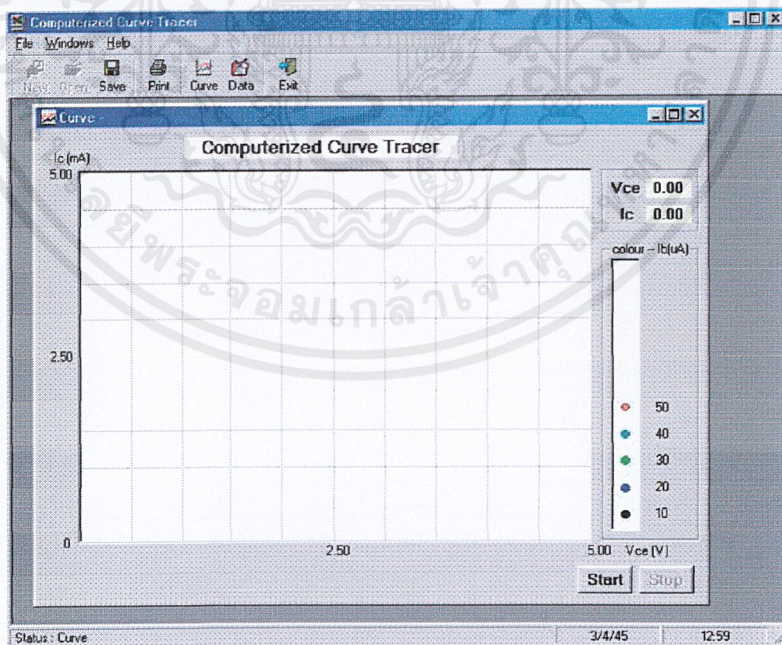
ปุ่ม Data ใช้สำหรับเลือกเพื่อดูหน้าต่างตาราง

ปุ่ม Exit ใช้สำหรับเลือกเพื่อออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 การเลือกค่าเริ่มต้นต่างๆ



รูปที่ 5 หน้าต่างกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Beta	10.00 uA		20.00 uA		30.00 uA		40.00 uA	
0	Vce (V)	Ic (mA)	Vce (V)	Ic (mA)	Vce (V)	Ic (mA)	Vce (V)	Ic (mA)
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

รูปที่ 6 หน้าต่างตารางข้อมูล

About

Computerized Curve Tracer

งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือเพื่อที่จะใช้หา
ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ซึ่งควบคุมโดยคอมพิวเตอร์
ซึ่งจะรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม แล้วนำมาแยกข้อมูลตามที่เราต้องการ
หลังจากนั้นจึงมาเขียนเคอร์ฟ และนำข้อมูลไปแสดงตาราง
ซึ่งในโปรแกรมสามารถบันทึกข้อมูลเพื่อเรียกขึ้นมาดูได้
อีกทั้งยังสามารถพิมพ์ผลออกทางเครื่องพิมพ์ได้อีกด้วย

รูปที่ 7 About ของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอร์สโค้ดโปรแกรม

1.ซอร์สโค้ดโปรแกรม Visual Basic (Module 1)

Public st As Integer

Public st1 As String

Public strt As String

Public setx(11) As Single

Public sety(11) As Single

Public setyy(120) As Single

Public setib(11) As Single

Public datic(800) As Single

Public datvce(800) As Single

Public pae(0 To 120, 0 To 10) As Single

Public golf(0 To 120, 0 To 10) As Single

Public vce(0 To 15, 0 To 10) As Single

Public ic(0 To 15, 0 To 10) As Single

Public fname As String

Public step As Integer

Public step1 As String

Public numV As Integer

Public numVV As String

Public numVVV As String

Public numL As Single

Public numpro As Integer

Public numper As Integer

Public valdata1 As Integer

Public valdata1max As Integer

Public valdata2 As Integer

Public valdata2max As Integer

Public valPm As Integer

```

Public ib(10) As Single
Public com As Integer
Public DatCCT() As Integer
Public DatV_CCT As Integer
Public DatI_CCT As Integer
Public NumCCT As Integer
Public numdat As Integer
Public Numcount As Integer
Public jsel As Boolean
Public dataOpen As Single
Public Rc As Single
Dim xx, yy As Single
Public scah As Single, scaw As Single, scal As Single, scat As Single

Sub Main()
frmSplash.Show
End Sub

Sub datavce()
On Error Resume Next
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Select Case Form4.HScroll1.Value
Case 0
For i = 1 To 11
For j = 0 To 3
vce(i, j) = pae(i + Form4.VScroll1.Value, j)
Next j
Next i

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
For i = 0 To 10
Form4.Text1(i).Text = Format(vce(i + 1, 0), "0.000")
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text3(i).Text = Format(vce(i + 1, 1), "0.000")
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text5(i).Text = Format(vce(i + 1, 2), "0.000")
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text7(i).Text = Format(vce(i + 1, 3), "0.000")
```

```
Next i
```

```
Case 1
```

```
For i = 1 To 11
```

```
For j = 1 To 4
```

```
vce(i, j) = pae(i + Form4.VScroll1.Value, j)
```

```
Next j
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text1(i).Text = Format(vce(i + 1, 1), "0.000")
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text3(i).Text = Format(vce(i + 1, 2), "0.000")
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text5(i).Text = Format(vce(i + 1, 3), "0.000")
```

```
Next i
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

For i = 0 To 10
Form4.Text7(i).Text = Format(vce(i + 1, 4), "0.000")
Next i

```

Case 2

```

For i = 1 To 11
  For j = 2 To 5
    vce(i, j) = pae(i + Form4.VScroll1.Value, j)
  Next j
Next i

```

```

For i = 0 To 10
Form4.Text1(i).Text = Format(vce(i + 1, 2), "0.000")
Next i

```

```

For i = 0 To 10
Form4.Text3(i).Text = Format(vce(i + 1, 3), "0.000")
Next i

```

```

For i = 0 To 10
Form4.Text5(i).Text = Format(vce(i + 1, 4), "0.000")
Next i

```

```

For i = 0 To 10
Form4.Text7(i).Text = Format(vce(i + 1, 5), "0.000")
Next i

```

Case 3

```

For i = 1 To 11
  For j = 3 To 6
    vce(i, j) = pae(i + Form4.VScroll1.Value, j)
  Next j

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text1(i).Text = Format(vce(i + 1, 3), "0.000")
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text3(i).Text = Format(vce(i + 1, 4), "0.000")
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text5(i).Text = Format(vce(i + 1, 5), "0.000")
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text7(i).Text = Format(vce(i + 1, 6), "0.000")
```

```
Next i
```

```
Case 1
```

```
For i = 1 To 11
```

```
For j = 4 To 7
```

```
vce(i, j) = pae(i + Form4.VScroll1.Value, j)
```

```
Next j
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text1(i).Text = Format(vce(i + 1, 4), "0.000")
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text3(i).Text = Format(vce(i + 1, 5), "0.000")
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Form4.Text5(i).Text = Format(vce(i + 1, 6), "0.000")
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text7(i).Text = Format(vce(i + 1, 7), "0.000")
```

```
Next i
```

Case 5

```
For i = 1 To 11
```

```
For j = 5 To 8
```

```
vce(i, j) = pae(i + Form4.VScroll1.Value, j)
```

```
Next j
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text1(i).Text = Format(vce(i + 1, 5), "0.000")
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text3(i).Text = Format(vce(i + 1, 6), "0.000")
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text5(i).Text = Format(vce(i + 1, 7), "0.000")
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To 10
```

```
Form4.Text7(i).Text = Format(vce(i + 1, 8), "0.000")
```

```
Next i
```

Case 6

```
For i = 1 To 11
```

```
For j = 6 To 9
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

vce(i, j) = pae(i + Form4.VScroll1.Value, j)
Next j
Next i

For i = 0 To 10
Form4.Text1(i).Text = Format(vce(i + 1, 6), "0.000")
Next i
For i = 0 To 10
Form4.Text3(i).Text = Format(vce(i + 1, 7), "0.000")
Next i
For i = 0 To 10
Form4.Text5(i).Text = Format(vce(i + 1, 8), "0.000")
Next i
For i = 0 To 10
Form4.Text7(i).Text = Format(vce(i + 1, 9), "0.000")
Next i

End Select

Form4.MousePointer = 0
End Sub

```

```
Sub dataic()
```

```
On Error Resume Next
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim k As Integer
```

```
Dim j As Integer
```

```
Select Case Form4.HScroll1.Value
```

```
Case 0
```

```
For i = 1 To 11
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

For j = 0 To 3
    ic(i, j) = -golf(i + Form4.VScroll1.Value, j)
Next j
Next i

```

```

For j = 0 To 10
    Form4.Text2(j).Text = Format(ic(j + 1, 0), "0.000")
Next j

```

```

For j = 0 To 10
    Form4.Text4(j).Text = Format(ic(j + 1, 1), "0.000")
Next j

```

```

For j = 0 To 10
    Form4.Text6(j).Text = Format(ic(j + 1, 2), "0.000")
Next j

```

```

For j = 0 To 10
    Form4.Text8(j).Text = Format(ic(j + 1, 3), "0.000")
Next j

```

Case 1

```

For i = 1 To 11
    For j = 1 To 4
        ic(i, j) = -golf(i + Form4.VScroll1.Value, j)
    Next j
Next i

```

```

For j = 0 To 10
    Form4.Text2(j).Text = Format(ic(j + 1, 1), "0.000")
Next j
For j = 0 To 10

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Form4.Text4(j).Text = Format(ic(j + 1, 2), "0.000")
```

```
Next j
```

```
For j = 0 To 10
```

```
Form4.Text6(j).Text = Format(ic(j + 1, 3), "0.000")
```

```
Next j
```

```
For j = 0 To 10
```

```
Form4.Text8(j).Text = Format(ic(j + 1, 4), "0.000")
```

```
Next j
```

```
Case 2
```

```
For i = 1 To 11
```

```
For j = 2 To 5
```

```
ic(i, j) = -golf(i + Form4.VScroll1.Value, j)
```

```
Next j
```

```
Next i
```

```
For j = 0 To 10
```

```
Form4.Text2(j).Text = Format(ic(j + 1, 2), "0.000")
```

```
Next j
```

```
For j = 0 To 10
```

```
Form4.Text4(j).Text = Format(ic(j + 1, 3), "0.000")
```

```
Next j
```

```
For j = 0 To 10
```

```
Form4.Text6(j).Text = Format(ic(j + 1, 4), "0.000")
```

```
Next j
```

```
For j = 0 To 10
```

```
Form4.Text8(j).Text = Format(ic(j + 1, 5), "0.000")
```

```
Next j
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Case 3

For i = 1 To 11

For j = 3 To 6

ic(i, j) = -golf(i + Form4.VScroll1.Value, j)

Next j

Next i

For j = 0 To 10

Form4.Text2(j).Text = Format(ic(j + 1, 3), "0.000")

Next j

For j = 0 To 10

Form4.Text4(j).Text = Format(ic(j + 1, 4), "0.000")

Next j

For j = 0 To 10

Form4.Text6(j).Text = Format(ic(j + 1, 5), "0.000")

Next j

For j = 0 To 10

Form4.Text8(j).Text = Format(ic(j + 1, 6), "0.000")

Next j

Case 4

For i = 1 To 11

For j = 4 To 7

ic(i, j) = -golf(i + Form4.VScroll1.Value, j)

Next j

Next i

For j = 0 To 10

Form4.Text2(j).Text = Format(ic(j + 1, 4), "0.000")

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Next j
For j = 0 To 10
Form4.Text4(j).Text = Format(ic(j + 1, 5), "0.000")
Next j
For j = 0 To 10
Form4.Text6(j).Text = Format(ic(j + 1, 6), "0.000")
Next j
For j = 0 To 10
Form4.Text8(j).Text = Format(ic(j + 1, 7), "0.000")
Next j

Case 5
For i = 1 To 11
  For j = 5 To 8
    ic(i, j) = -golf(i + Form4.VScroll1.Value, j)
  Next j
Next i

For j = 0 To 10
Form4.Text2(j).Text = Format(ic(j + 1, 5), "0.000")
Next j
For j = 0 To 10
Form4.Text4(j).Text = Format(ic(j + 1, 6), "0.000")
Next j
For j = 0 To 10
Form4.Text6(j).Text = Format(ic(j + 1, 7), "0.000")
Next j
For j = 0 To 10
Form4.Text8(j).Text = Format(ic(j + 1, 8), "0.000")

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Next j
```

```
Case 6
```

```
For i = 1 To 11
```

```
  For j = 6 To 9
```

```
    ic(i, j) = -golf(i + Form4.VScroll1.Value, j)
```

```
  Next j
```

```
Next i
```

```
For j = 0 To 10
```

```
Form4.Text2(j).Text = Format(ic(j + 1, 6), "0.000")
```

```
Next j
```

```
For j = 0 To 10
```

```
Form4.Text4(j).Text = Format(ic(j + 1, 7), "0.000")
```

```
Next j
```

```
For j = 0 To 10
```

```
Form4.Text6(j).Text = Format(ic(j + 1, 8), "0.000")
```

```
Next j
```

```
For j = 0 To 10
```

```
Form4.Text8(j).Text = Format(ic(j + 1, 9), "0.000")
```

```
Next j
```

```
End Select
```

```
Form4.MousePointer = 0
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Public Sub PrintPic(Pic As PictureBox, LocX, LocY)

'LocX and LocY = Location(X,Y) for Start Print Picture in A4 Page

'PorL = 1 <Print Portrait>

'PorL = 2 <Print Landscape>

Printer.PaintPicture Pic.Image, CInt(LocX), CInt(LocY), Pic.Width, Pic.Height, 0, 0,
Pic.Width, Pic.Height, &HCC0020

End Sub

Public Sub SaveCCT(binaryname)

On Error Resume Next

Dim CountByte, DataByte As Byte

Dim iii As Integer

Open binaryname For Binary As #1

For iii = 1 To (NumCCT) Step 1

DataByte = DatCCT(iii)

Put #1, iii, DataByte

DoEvents

Next iii

Put #1, (NumCCT + 1), CByte(DatV_CCT)

Put #1, (NumCCT + 2), CByte(DatI_CCT)

Put #1, (NumCCT + 3), CByte(step)

Put #1, (NumCCT + 4), CByte(st)

Put #1, (NumCCT + 5), CByte(Numcount / 10)

Put #1, (NumCCT + 6), CByte(Rc)

Close #1

End Sub

Public Sub OpenCCT(binaryname)

On Error Resume Next

Dim CountByte, DataByte As Byte

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dim iii As Integer

ReDim DatCCT(0)

Open binaryname For Binary As #1

CountByte = LOF(1)

Get #1, (CountByte), DataByte

Rc = CInt(DataByte)

Get #1, (CountByte - 1), DataByte

NumCCT = CInt(DataByte) * 10

Get #1, (CountByte - 2), DataByte

st = CInt(DataByte)

Get #1, (CountByte - 3), DataByte

step = CInt(DataByte)

Get #1, (CountByte - 4), DataByte

Datl_CCT = CInt(DataByte)

numL = Datl_CCT - 4

Get #1, (CountByte - 5), DataByte

DatV_CCT = CInt(DataByte)

numV = DatV_CCT

ReDim DatCCT(NumCCT)

jsel = True

Numcount = DatV_CCT * Datl_CCT * 2

valdata1 = 0

valdata2 = 0

numdat = 0

numper = 0

numpro = 0

For iii = 1 To (NumCCT) Step 1

Get #1, iii, DataByte

```

DatCCT(iii) = DataByte
DoEvents

'=====
'select data
'=====

    numper = numper + 1
    If numper = (((numV / 10) * (numL + 4) / 10) * 2) Then
        numper = 0
        numpro = numpro + 1
    End If
    numdat = numdat + 1
    valdata1 = valdata1 + 1
dataOpen = (DatCCT(iii)) * 5 / 256
If jsel = True Then

    xx = dataOpen * 3.955
    pae(valdata1, valdata2) = xx
    datvce(numdat) = xx
    jsel = False
    valdata1 = valdata1 - 1
    numdat = numdat - 1

Else

    yyy! = dataOpen * 5.89
    yy = ((yyy!) - pae(valdata1, valdata2)) * Rc
    golf(valdata1, valdata2) = -yy
    datic(numdat) = -yy

    jsel = True

    If valdata1 > valdata1max Then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

valdata1max = valdata1
Else
valdata1max = valdata1max
End If
valdata2max = valdata2
If valdata1 = numV Then
valdata1 = 0
valdata2 = valdata2 + 1
End If

If pae(valdata1, valdata2) > scaw Then
scaw = pae(valdata1, valdata2) + 2
End If
If -golf(valdata1, valdata2) > scah Then
scah = -golf(valdata1, valdata2) + 2
End If

End If
-----
pro
Next iii

Close #1
Form5.MousePointer = 0
frmMain.MousePointer = 0
Unload Form5
com = 1
Form1.Command1.Visible = False

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Form1.Command2.Visible = False
Form1.ProgressBar1.Visible = False
Form1.Label14.Visible = False
Form1.Show
Form4.Show
End Sub

```

```

Sub pro()
frmMain.MousePointer = 11
Form5.MousePointer = 11
Form5.ProgressBar1.Value = numpro
Form5.Label1.Caption = numpro + 1 & "%"
End Sub

```

```

Sub PrnData1()
Printer.Print " "
Printer.Print " "
Printer.Print " "
Printer.Print " "; fname
Printer.Print " "
Printer.Print " Start(lb): "; st; " uA Step(lb): "; step; " uA"
Printer.Print " "
Printer.Print " "
Dim i As Integer
Printer.Print " "; ib(0); " uA "; ib(1); "
uA "; ib(2); " uA "; ib(3); " uA "; ib(4); "
uA"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Printer.Print "          "; " Vce "; "          "; " Ic "; "          "; " Vce "; "
"; " Ic "; "          "; " Vce "; "          "; " Ic "; "          "; " Vce "; "          "; " Ic "; "          "; "
Vce "; "          "; " Ic "
For i = 1 To numV
Printer.Print "          "; Format(setyy(i), "00"); "          "; Format(pae(i, 0),
"00.00"); "          "; Format(-golf(i, 0), "00.00"); "          "; Format(pae(i, 1), "00.00"); "          ";
Format(-golf(i, 1), "00.00"); "          "; Format(pae(i, 2), "00.00"); "          "; Format(-golf(i, 2),
"00.00"); "          "; Format(pae(i, 3), "00.00"); "          "; Format(-golf(i, 3), "00.00"); "          ";
Format(pae(i, 4), "00.00"); "          "; Format(-golf(i, 4), "00.00")
Next i
End Sub

Sub PrnData2()
Printer.Print " "
Printer.Print " "
Printer.Print " "
Printer.Print " "
Printer.Print "          "; fname
Printer.Print " "
Printer.Print "          Start(lb): "; st; " uA          Step(lb): "; step; " uA"
Printer.Print " "
Printer.Print " "

Dim i As Integer
Printer.Print "          "; ib(5); " uA          "; ib(6); "
uA          "; ib(7); " uA          "; ib(8); " uA          "; ib(9); "
uA"

Printer.Print "          "; " Vce "; "          "; " Ic "; "          "; " Vce "; "
"; " Ic "; "          "; " Vce "; "          "; " Ic "; "          "; " Vce "; "          "; " Ic "; "          "; "
Vce "; "          "; " Ic "

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ซอร์ซโคดโปรแกรม Visual Basic (Form 1)

Dim press As Boolean

Dim yy As Single

Dim xx As Single

Dim p As Single, r As Single

Dim q As Single

Dim ii As Integer, i As Integer

Dim data1 As String

Dim data2 As String

Dim ptop As Single, pleft As Single, pw As Single, ph As Single

Dim sh2, h2 As Single

Private Sub Command1_Click()

SetCom

frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Scan"

MSComm1.Output = "0"

ProgressBar1.Visible = True

Label14.Visible = True

ProgressBar1.Max = Numcount / (((numV / 10) * (numL + 4) / 10) * 2)

ProgressBar1.Value = numpro

Label14.Caption = numpro & "%"

Me.Command1.Enabled = False

Me.Command2.Enabled = True

End Sub

Private Sub Command2_Click()

frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Complete"

MSComm1.Output = "2"

Me.Command2.Visible = False

Me.Command1.Visible = False

```
Timer1.Interval = 500
```

```
Timer1.Enabled = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Activate()
```

```
frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Curve"
```

```
Form1.Caption = "Curve" & " - " & fname
```

```
frmMain.tbToolBar.Buttons(2).Enabled = False
```

```
frmMain.tbToolBar.Buttons(3).Enabled = False
```

```
frmMain.tbToolBar.Buttons(4).Enabled = True
```

```
frmMain.tbToolBar.Buttons(6).Enabled = True
```

```
frmMain.tbToolBar.Buttons(8).Enabled = True
```

```
frmMain.tbToolBar.Buttons(9).Enabled = True
```

```
frmMain.mnuNew.Enabled = False
```

```
frmMain.mnuOpen.Enabled = False
```

```
frmMain.mnuWin.Enabled = True
```

```
frmMain.mnuSave.Enabled = True
```

```
frmMain.mnuSaveall.Enabled = True
```

```
frmMain.mnuPrint.Enabled = True
```

```
frmMain.mnuPrintall.Enabled = True
```

```
valPrn = 1
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim ii As Integer
```

```
Form1.Caption = "Curve" & "-" & fname
```

```
Form1.Width = 9300
```

```
Form1.Height = 6885
```

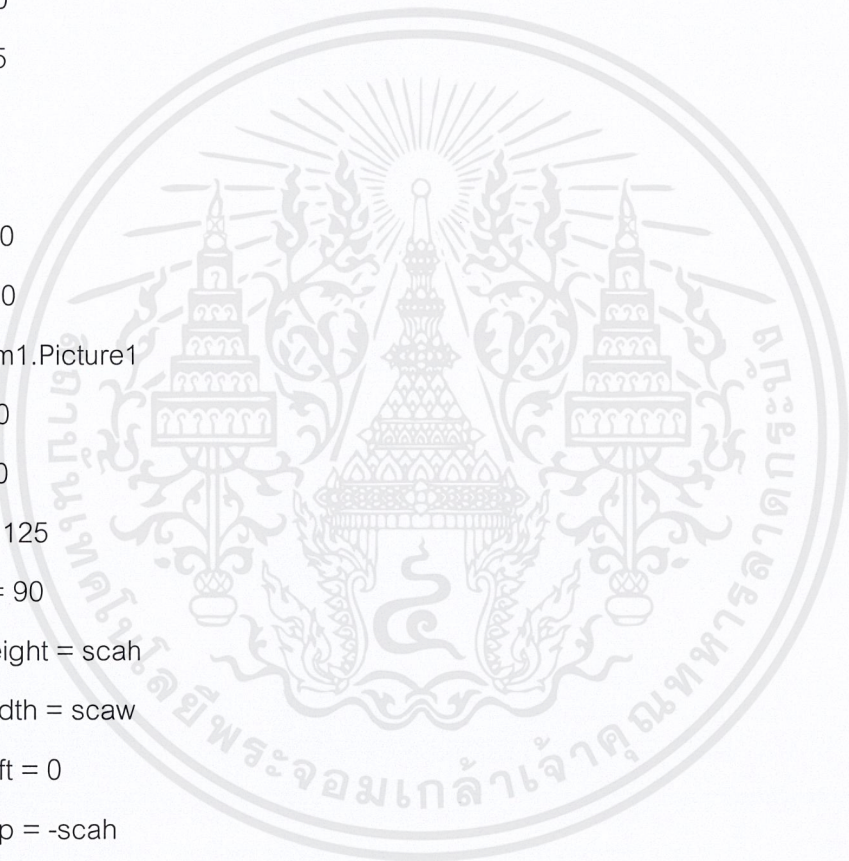
```
Form1.Top = 1000
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Form1.Left = 2200
ii = 0
r = 0.015
p = 0
q = 0
ptop = 10
pleft = 10
pw = 125
ph = 90
scal = 0
sh2 = 200
h2 = 3720
With Form1.Picture1
.Top = 10
.Left = 10
.Width = 125
.Height = 90
.ScaleHeight = scah
.ScaleWidth = scaw
.ScaleLeft = 0
.ScaleTop = -scah
End With
With Form1.Picture2
.ScaleHeight = sh2
.Height = h2
End With
Label2.Caption = "0.00"
Label3.Caption = "0.00"
Label4.Visible = False

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Label5.Visible = False
Label6.Visible = False
Label7.Visible = False
Label8.Visible = False
Label9.Visible = False
Label10.Visible = False
For i = 0 To 9
Label11(i).Visible = False
Next i
color.Left = pleft + 127
Frame1.Left = pleft + 127
Label2.Caption = "0.00"
Label3.Caption = "0.00"

Me.ProgressBar1.Visible = False
Me.Label14.Visible = False
Me.Command2.Enabled = False
plot
lbl
Timer1.Enabled = False
End Sub

```

```
Sub SetCom()
```

```

MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
MSComm1.CommPort = com
MSComm1.PortOpen = True
MSComm1.RThreshold = 1
MSComm1.InputLen = 0
MSComm1.Output = strt

```

```
MSComm1.Output = st1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MSComm1.Output = step1
MSComm1.Output = numVV
MSComm1.Output = numVVV
End Sub

```

```

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Done"
frmMain.tbToolBar.Buttons(2).Enabled = True
frmMain.tbToolBar.Buttons(3).Enabled = True
frmMain.tbToolBar.Buttons(4).Enabled = False
frmMain.tbToolBar.Buttons(6).Enabled = False
frmMain.tbToolBar.Buttons(8).Enabled = True
frmMain.tbToolBar.Buttons(9).Enabled = True
frmMain.mnuNew.Enabled = True
frmMain.mnuOpen.Enabled = True
frmMain.mnuWin.Enabled = True
frmMain.mnuSave.Enabled = False
frmMain.mnuSaveall.Enabled = False
frmMain.mnuPrint.Enabled = False
frmMain.mnuPrintall.Enabled = False
End Sub

```

```

Private Sub MSComm1_OnComm()
On Error Resume Next
MSComm1.InputMode = 0
NumCCT = NumCCT + 1
numper = numper + 1
If numper = (((numV / 10) * (numL + 4) / 10) * 2) Then
numper = 0
numpro = numpro + 1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End If

data1 = MSComm1.Input

DatCCT(NumCCT) = Asc(data1)

sel

End Sub

Private Sub Picture1_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)

press = True

Label2.Caption = Format(X, "0.00")

Label3.Caption = Format(-Y, "0.00")

End Sub

Private Sub Picture1_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)

If press Then

Label2.Visible = True

Label3.Visible = True

Label2.Caption = Format(X, "0.00")

Label3.Caption = Format(-Y, "0.00")

End If

End Sub

Sub plot()

Dim i As Integer

Dim j As Integer

Dim c As Integer

Dim l As Integer

Dim m As Integer

Dim k As Single

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Picture1.Cls

lbl

For l = 0 To numL + 3

If m = 6 Then

m = 9

End If

If m = 7 Then

m = 9

End If

If m = 8 Then

m = 9

End If

Do While k < 5

Picture2.Circle (14, sh2 - 11 - l * (sh2 / 10)), k, QBColor(m)

k = k + 0.5

Loop

k = 0

Label11(l).Visible = True

Label11(l).Caption = st + (l * step)

m = m + 1

Next l

For i = 1 To NumCCT

j = j + 1

If (datvce(i) < datvce(i - 1)) And (datic(i) > datic(i - 1)) Then

j = 1

c = c + 1

If c = 6 Then

c = 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

End If
If c = 7 Then
c = 9
End If
If c = 8 Then
c = 9
End If
Else
j = j
End If
Picture1.DrawMode = 13
If j = 1 Then
Picture1.PSet (datvce(i), datic(i)), QBColor(c)
Picture1.PSet (datvce(i) - r, datic(i)), QBColor(c)
Picture1.PSet (datvce(i) + r, datic(i)), QBColor(c)
Picture1.PSet (datvce(i), datic(i) - r), QBColor(c)
Picture1.PSet (datvce(i), datic(i) + r), QBColor(c)

Else
Picture1.Line (datvce(i - 1), datic(i - 1))-(datvce(i), datic(i)), QBColor(c)
Picture1.Line (datvce(i - 1) - r, datic(i - 1))-(datvce(i) - r, datic(i)), QBColor(c)
Picture1.Line (datvce(i - 1) + r, datic(i - 1))-(datvce(i) + r, datic(i)), QBColor(c)
Picture1.Line (datvce(i - 1), datic(i - 1) - r)-(datvce(i), datic(i) - r), QBColor(c)
Picture1.Line (datvce(i - 1), datic(i - 1) + r)-(datvce(i), datic(i) + r), QBColor(c)
End If
Next i
End Sub

```

Sub lbl()

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Dim i As Single
For i = 0 To 10 Step 1
Picture1.DrawMode = 9
Picture1.Line (0, -i * (scah / 10))- (scaw, -i * (scah / 10)), QBColor(7)
Picture1.Line (i * (scaw / 10), 0)- (i * (scaw / 10), -scah), QBColor(7)
Next i
With Label4
.Caption = Format(scach, "0.00")
.Left = pleft - 7
.Top = ptop - 1
.Alignment = 0
.Visible = True
End With
With Label5
.Caption = Format(scach / 2, "0.00")
.Left = pleft - 7
.Top = ((ph + ptop) / 2) + 3
.Alignment = 0
.Visible = True
End With
With Label6
.Caption = 0
.Left = pleft - 4
.Top = ph + ptop - 2
.Alignment = 0
.Visible = True
End With
With Label7
.Alignment = 2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
.Caption = Format(scaw / 2, "0.00")
```

```
.Left = (pw + pleft) / 2 + 3
```

```
.Top = ph + ptop
```

```
.Visible = True
```

```
End With
```

```
With Label8
```

```
.Alignment = 2
```

```
.Caption = Format(scaw, "0.00")
```

```
.Left = (pw + pleft) - 2
```

```
.Top = ph + ptop
```

```
.Visible = True
```

```
End With
```

```
With Label9
```

```
.Alignment = 2
```

```
.Caption = "Ic (mA)"
```

```
.Left = pleft - 7
```

```
.Top = ptop - 5
```

```
.Visible = True
```

```
End With
```

```
With Label10
```

```
.Alignment = 2
```

```
.Caption = "Vce (V)"
```

```
.Left = (pw + pleft) + 6
```

```
.Top = ph + ptop
```

```
.Visible = True
```

```
End With
```

```
End Sub
```

Private Sub Picture1_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

press = False
Label2.Caption = "0.00 V"
Label3.Caption = "0.00 mA"
End Sub

```

```

Sub sel()

```

```

    numdat = numdat + 1
    valdata1 = valdata1 + 1

```

```

dataOpen = (DatCCT(NumCCT)) * 5 / 256

```

```

'Debug.Print dataOpen

```

```

If jsel = True Then

```

```

    xx = dataOpen * 3.955
    pae(valdata1, valdata2) = xx
    datvce(numdat) = xx
    jsel = False
    valdata1 = valdata1 - 1
    numdat = numdat - 1

```

```

Else

```

```

    yyy! = dataOpen * 5.89
    yy = ((yyy!) - pae(valdata1, valdata2)) * Rc
    golf(valdata1, valdata2) = -yy
    datic(numdat) = -yy
    'Debug.Print datvce(numdat); datic(numdat)
    'Debug.Print pae(valdata1, valdata2); golf(valdata1, valdata2)
    jsel = True

```

```

If valdata1 > valdata1max Then

```

```

    valdata1max = valdata1

```

```

Else

```

```

    valdata1max = valdata1max

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

End If
valdata2max = valdata2
If valdata1 = numV Then
valdata1 = 0
valdata2 = valdata2 + 1
End If

```

```

If pae(valdata1, valdata2) > scaw Then
scaw = pae(valdata1, valdata2) + 2
With Form1.Picture1
.Top = 10
.Left = 10
.Width = 125
.Height = 90
.ScaleHeight = scah
.ScaleWidth = scaw
.ScaleLeft = 0
.ScaleTop = -scah
End With
Picture1.Cls
lbl
End If

```

```

If -golf(valdata1, valdata2) > scah Then
scah = -golf(valdata1, valdata2) + 2
With Form1.Picture1
.Top = 10
.Left = 10
.Width = 125
.Height = 90

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

.ScaleHeight = scah
.ScaleWidth = scaw
.ScaleLeft = 0
.ScaleTop = -scah
End With
Picture1.Cls
lbl
End If
pro
plot
If valdata2 = numL + 4 Then
MSComm1.Output = "2"
Me.Command2.Visible = False
Me.Command1.Visible = False
frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Complete"
Timer1.Interval = 500
Timer1.Enabled = True
Else
MSComm1.Output = "0"
End If
End If
End Sub

Sub pro()
ProgressBar1.Value = numpro
Label14.Caption = numpro & "%"
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()

```

```
Me.ProgressBar1.Visible = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Me.Label14.Visible = False

frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Curve"

Timer1.Enabled = False

Form4.Show

End Sub



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ซอร์ทโคดโปรแกรม Visual Basic (Form 2)

Private Sub Combo1_Click()

If Combo1.Text = "10 uA" Then

Combo2.Clear

Combo2.AddItem "10 uA"

Combo2.AddItem "25 uA"

Combo2.AddItem "50 uA"

Combo2.Text = "10 uA"

Elseif Combo1.Text = "50 uA" Then

Combo2.Clear

Combo2.AddItem "10 uA"

Combo2.AddItem "25 uA"

Combo2.AddItem "50 uA"

Combo2.Text = "10 uA"

Elseif Combo1.Text = "100 uA" Then

Combo2.Clear

Combo2.AddItem "10 uA"

Combo2.AddItem "25 uA"

Combo2.Text = "10 uA"

Elseif Combo1.Text = "150 uA" Then

Combo2.Clear

Combo2.AddItem "10 uA"

Combo2.Text = "10 uA"

End If

End Sub

Private Sub Combo2_Click()

If Combo2.Text = "10 uA" Then

 If Combo1.Text = "10 uA" Then

 Combo3.Clear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Combo3.AddItem 5

Combo3.AddItem 6

Combo3.AddItem 7

Combo3.AddItem 8

Combo3.AddItem 9

Combo3.AddItem 10

Combo3.Text = 5

End If

If Combo1.Text = "50 uA" Then

Combo3.Clear

Combo3.AddItem 5

Combo3.AddItem 6

Combo3.AddItem 7

Combo3.AddItem 8

Combo3.AddItem 9

Combo3.AddItem 10

Combo3.Text = 5

End If

If Combo1.Text = "100 uA" Then

Combo3.Clear

Combo3.AddItem 5

Combo3.AddItem 6

Combo3.AddItem 7

Combo3.AddItem 8

Combo3.AddItem 9

Combo3.AddItem 10

Combo3.Text = 5

End If

If Combo1.Text = "150 uA" Then

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Combo3.Clear
Combo3.AddItem 5
Combo3.AddItem 6
Combo3.AddItem 7
Combo3.AddItem 8
Combo3.AddItem 9
Combo3.AddItem 10
Combo3.Text = 5
End If
End If
If Combo2.Text = "25 uA" Then
  If Combo1.Text = "10 uA" Then
    Combo3.Clear
    Combo3.AddItem 5
    Combo3.AddItem 6
    Combo3.AddItem 7
    Combo3.AddItem 8
    Combo3.AddItem 9
    Combo3.AddItem 10
    Combo3.Text = 5
  End If
  If Combo1.Text = "50 uA" Then
    Combo3.Clear
    Combo3.AddItem 5
    Combo3.AddItem 6
    Combo3.AddItem 7
    Combo3.AddItem 8
    Combo3.AddItem 9
    Combo3.AddItem 10
  
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Combo3.Text = 5
End If
If Combo1.Text = "100 uA" Then
Combo3.Clear
Combo3.AddItem 5
Combo3.Text = 5
End If
End If
If Combo2.Text = "50 uA" Then
If Combo1.Text = "10 uA" Then
Combo3.Clear
Combo3.AddItem 5
Combo3.AddItem 6
Combo3.AddItem 7
Combo3.AddItem 8
Combo3.AddItem 9
Combo3.AddItem 10
Combo3.Text = 5
End If
If Combo1.Text = "50 uA" Then
Combo3.Clear
Combo3.AddItem 5
Combo3.Text = 5
End If
End If
End Sub

```

Private Sub Command1_Click()

Unload Me

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
If Combo3 = "" Then
```

```
Exit Sub
```

```
End If
```

```
If Combo4 = "" Then
```

```
Exit Sub
```

```
End If
```

```
numV = Combo4
```

```
numVV = Chr$(240 / Combo4)
```

```
numVVV = Chr$(Combo4)
```

```
numL = Val(Combo3) - 4
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Activate()
```

```
frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "New Scan"
```

```
frmMain.tbToolBar.Buttons(2).Enabled = False
```

```
frmMain.tbToolBar.Buttons(3).Enabled = False
```

```
frmMain.tbToolBar.Buttons(4).Enabled = False
```

```
frmMain.tbToolBar.Buttons(6).Enabled = False
```

```
frmMain.tbToolBar.Buttons(8).Enabled = False
```

```
frmMain.tbToolBar.Buttons(9).Enabled = False
```

```
frmMain.mnuNew.Enabled = False
```

```
frmMain.mnuOpen.Enabled = False
```

```
frmMain.mnuWin.Enabled = False
```

```
frmMain.mnuSave.Enabled = False
```

```
frmMain.mnuSaveall.Enabled = False
```

```
frmMain.mnuPrint.Enabled = False
```

```
frmMain.mnuPrintall.Enabled = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End Sub

Private Sub Form_Load()

frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "New Scan"

form2.Width = 6720

form2.Height = 3750

form2.Left = 2000

form2.Top = 2000

Setcombo

End Sub

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)

frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Done"

frmMain.tbToolbar.Buttons(2).Enabled = True

frmMain.tbToolbar.Buttons(3).Enabled = True

frmMain.tbToolbar.Buttons(4).Enabled = False

frmMain.tbToolbar.Buttons(6).Enabled = False

frmMain.tbToolbar.Buttons(8).Enabled = False

frmMain.tbToolbar.Buttons(9).Enabled = False

frmMain.mnuNew.Enabled = True

frmMain.mnuOpen.Enabled = True

frmMain.mnuWin.Enabled = False

frmMain.mnuSave.Enabled = False

frmMain.mnuSaveall.Enabled = False

frmMain.mnuPrint.Enabled = False

frmMain.mnuPrintall.Enabled = False

End Sub

Private Sub start_Click()

scaw = 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

scah = 5
fname = Text1.Text
strt = Chr$(&H31)
If com1.Value Then
    com = 1
Else
    com = 2
End If
If Combo1.Text = "10 uA" Then
    st = 10
    st1 = Chr$(&H23)
Elseif Combo1.Text = "50 uA" Then
    st = 50
    st1 = Chr$(&H37)
Elseif Combo1.Text = "100 uA" Then
    st = 100
    st1 = Chr$(&H50)
Elseif Combo1.Text = "150 uA" Then
    st = 150
    st1 = Chr$(&H69)
End If
If Combo2.Text = "10 uA" Then
    step = 10
    step1 = Chr$(&H5)
Elseif Combo2.Text = "25 uA" Then
    step = 25
    step1 = Chr$(&HC)
Elseif Combo2.Text = "50 uA" Then
    step = 50

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

step1 = Chr$(&H19)
End If
If rc5.Value Then
Rc = 2
Else
Rc = 1
End If
numV = Combo4
numVV = Chr$(240 / Combo4)
numVVV = Chr$(Combo4)
numL = Combo3 - 4
value_v = numV
value_j = numL + 4
ReDim DatCCT(0)
DatV_CCT = value_v 'Value of data Voltage
DatI_CCT = value_j 'Value of data Current
Numcount = DatV_CCT * DatI_CCT * 2
ReDim DatCCT(Numcount)

NumCCT = 0
numper = 0
numdat = 0
numpro = 0
valdata1 = 0
valdata2 = 0
jsel = True
numdat = 0
Dim i As Integer
Dim j As Integer

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Dim k As Integer
For j = 0 To value_i
For i = 0 To value_v
pae(i, j) = 0
golf(i, j) = 0
Next i
Next j
For k = 0 To Numcount
DatCCT(k) = 0
Next k
For i = 0 To (Numcount / 2)
datvce(i) = 0
datic(i) = 0
Next i
Form1.Show
Unload Me
End Sub

```

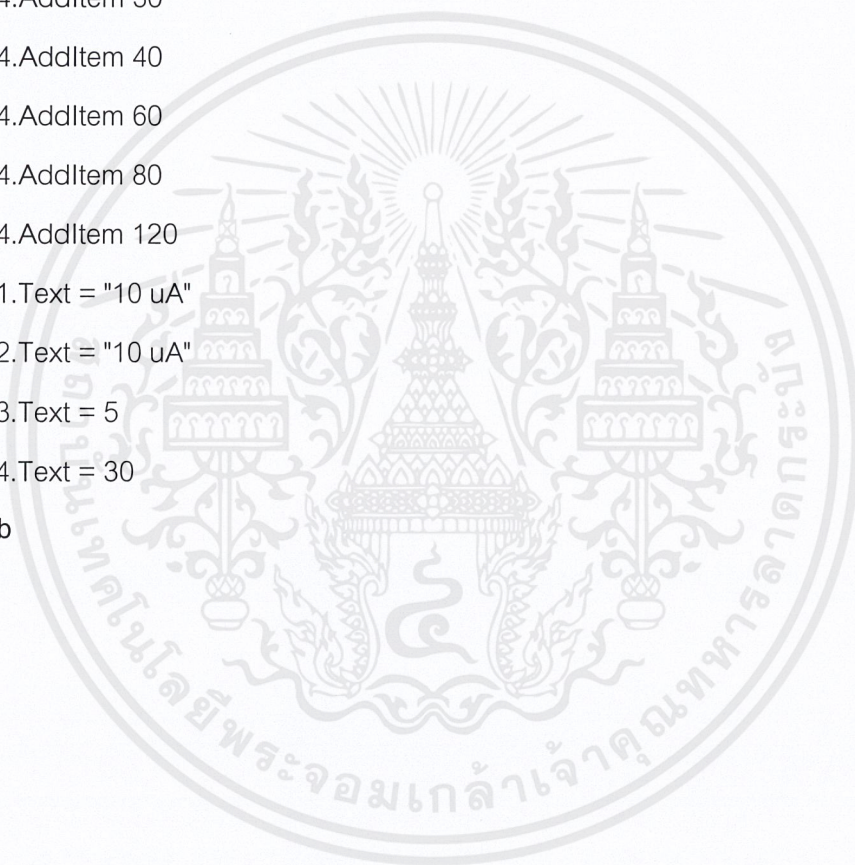
```

Sub Setcombo()
Combo1.Clear
Combo2.Clear
Combo3.Clear
Combo4.Clear
Combo1.AddItem "10 uA"
Combo1.AddItem "50 uA"
Combo1.AddItem "100 uA"
Combo1.AddItem "150 uA"
Combo2.AddItem "10 uA"
Combo2.AddItem "25 uA"
Combo2.AddItem "50 uA"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Combo3.AddItem 5  
Combo3.AddItem 6  
Combo3.AddItem 7  
Combo3.AddItem 8  
Combo3.AddItem 9  
Combo3.AddItem 10  
Combo4.AddItem 30  
Combo4.AddItem 40  
Combo4.AddItem 60  
Combo4.AddItem 80  
Combo4.AddItem 120  
Combo1.Text = "10 uA"  
Combo2.Text = "10 uA"  
Combo3.Text = 5  
Combo4.Text = 30  
End Sub
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ซอร์ซโคดโปรแกรม Visual Basic (Form 3)

```
Private Sub Form_Activate()
```

```
frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "About"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Form3.Height = 5500
```

```
Form3.Width = 9800
```

```
Form3.Top = 1800
```

```
Form3.Left = 2300
```

```
Timer1.Interval = 5000
```

```
Timer1.Enabled = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
```

```
frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Done"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

5. ซอร์สโค้ดโปรแกรม Visual Basic (Form 4)

Option Explicit

Private Sub Form_Activate()

frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Data"

Form4.Caption = "Data" & "-" & fname

frmMain.tbToolBar.Buttons(2).Enabled = False

frmMain.tbToolBar.Buttons(3).Enabled = False

frmMain.tbToolBar.Buttons(4).Enabled = True

frmMain.tbToolBar.Buttons(6).Enabled = True

frmMain.tbToolBar.Buttons(8).Enabled = True

frmMain.tbToolBar.Buttons(9).Enabled = True

frmMain.mnuNew.Enabled = False

frmMain.mnuOpen.Enabled = False

frmMain.mnuWin.Enabled = True

frmMain.mnuSave.Enabled = True

frmMain.mnuSaveall.Enabled = True

frmMain.mnuPrint.Enabled = True

frmMain.mnuPrintall.Enabled = True

valPrn = 2

set_x

set_y

datavce

dataic

Dim i As Integer

Dim avr As Single

Dim avr1 As Single

Dim beta As Single

For i = 1 To numL + 3

avr = (-golf(numV, 1)) - (-golf(numV, 0))

avr1 = avr1 + avr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Next i
beta = avr1 / (numL + 3) / step * 1000
Debug.Print avr1; beta; step
Text23.Text = Format(beta, "0")
End Sub

```

```

Private Sub Form_Load()
Form4.Height = 7000
Form4.Width = 10200
Form4.Top = 1500
Form4.Left = 2500
Form4.Caption = "Data" & " - " & fname
frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Data"
HScroll1.Max = numL
VScroll1.Max = numV - 11

Dim i As Integer
For i = 1 To numV
sety(i) = i
Next i

Dim j As Integer
For j = 0 To 9
ib(j) = st + (j * step)
Next j
set_x
set_y
datavce
dataic

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End Sub

Sub set_x()

On Error Resume Next

Dim i As Integer

For i = 0 To 3

setx(i) = ib(i + Form4.HScroll1.Value)

Next i

Dim j As Integer

For j = 0 To 3

Form4.Text17(j).Text = Format(setx(j), "0.00") & " uA"

Next j

Form4.MousePointer = 0

End Sub

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)

frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Done"

frmMain.tbToolbar.Buttons(2).Enabled = True

frmMain.tbToolbar.Buttons(3).Enabled = True

frmMain.tbToolbar.Buttons(4).Enabled = False

frmMain.tbToolbar.Buttons(6).Enabled = False

frmMain.tbToolbar.Buttons(8).Enabled = True

frmMain.tbToolbar.Buttons(9).Enabled = True

frmMain.mnuNew.Enabled = True

frmMain.mnuOpen.Enabled = True

frmMain.mnuWin.Enabled = True

frmMain.mnuSave.Enabled = False

frmMain.mnuSaveall.Enabled = False

frmMain.mnuPrint.Enabled = False

frmMain.mnuPrintall.Enabled = False

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End Sub

Private Sub HScroll1_Change()

Form4.MousePointer = 11

set_x

datavce

dataic

End Sub

Private Sub VScroll1_Change()

Form4.MousePointer = 11

set_y

datavce

dataic

End Sub

Sub set_y()

On Error Resume Next

Dim i As Integer

For i = 1 To 11

sety(i) = setyy(i + Form4.VScroll1.Value)

Next i

Dim j As Integer

For j = 0 To 10

Form4.Text19(j).Text = Format(sety(j + 1), "0")

Next j

Form4.MousePointer = 0

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.ซอร์ซโคดโปรแกรม Visual Basic (Form 5)

Private Sub Form_Activate()

Form5.Caption = "Scan" & "-" & fname

frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Open"

frmMain.tbToolbar.Buttons(2).Enabled = False

frmMain.tbToolbar.Buttons(3).Enabled = False

frmMain.tbToolbar.Buttons(4).Enabled = False

frmMain.tbToolbar.Buttons(6).Enabled = False

frmMain.tbToolbar.Buttons(8).Enabled = False

frmMain.tbToolbar.Buttons(9).Enabled = False

frmMain.mnuNew.Enabled = False

frmMain.mnuOpen.Enabled = False

frmMain.mnuWin.Enabled = False

frmMain.mnuSave.Enabled = False

frmMain.mnuSaveall.Enabled = False

frmMain.mnuPrint.Enabled = False

frmMain.mnuPrintall.Enabled = False

ProgressBar1.Value = numpro

Label1.Caption = numpro & "%"

End Sub

Private Sub Form_Load()

ProgressBar1.Max = 100

Form5.Top = 2500

Form5.Left = 3000

Form5.Height = 1610

Form5.Width = 7300

End Sub

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Done"
frmMain.tbToolBar.Buttons(2).Enabled = True
frmMain.tbToolBar.Buttons(3).Enabled = True
frmMain.tbToolBar.Buttons(4).Enabled = False
frmMain.tbToolBar.Buttons(6).Enabled = False
frmMain.tbToolBar.Buttons(8).Enabled = False
frmMain.tbToolBar.Buttons(9).Enabled = False
frmMain.mnuNew.Enabled = False
frmMain.mnuOpen.Enabled = False
frmMain.mnuWin.Enabled = True
frmMain.mnuSave.Enabled = True
frmMain.mnuSaveall.Enabled = True
frmMain.mnuPrint.Enabled = True
frmMain.mnuPrintall.Enabled = True
End Sub
```

7.ซอร์สโค้ดโปรแกรม Visual Basic (Frmmain)

Option Explicit

Private Sub MDIForm_Load()

frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Done"

frmMain.tbToolBar.Buttons(4).Enabled = False

frmMain.tbToolBar.Buttons(6).Enabled = False

frmMain.tbToolBar.Buttons(8).Enabled = False

frmMain.tbToolBar.Buttons(9).Enabled = False

frmMain.mnuNew.Enabled = True

frmMain.mnuOpen.Enabled = True

frmMain.mnuWin.Enabled = False

frmMain.mnuSave.Enabled = False

frmMain.mnuSaveall.Enabled = False

frmMain.mnuPrint.Enabled = False

frmMain.mnuPrintall.Enabled = False

End Sub

Private Sub MDIForm_Unload(Cancel As Integer)

On Error Resume Next

frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "Exit Program"

If MsgBox("Do you want to exit Computerized Curve Tracer Program ?", vbOKCancel
+ vbQuestion, "Computerized Curve Tracer Program") = vbOK Then

End

Else

Cancel = 1

frmMain.sbStatusBar.Panels(1) = "Status : " & "done"

End If

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub mnuHelpAbout_Click()
```

```
Form3.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub tbToolBar_ButtonClick(ByVal Button As MSComctlLib.Button)
```

```
On Error Resume Next
```

```
Select Case Button.Key
```

```
Case "New"
```

```
    mnuNew_Click
```

```
Case "Open"
```

```
    mnuOpen_Click
```

```
Case "Save"
```

```
    mnusave_Click
```

```
Case "Print"
```

```
    mnuPrint_Click
```

```
Case "Curve"
```

```
    menucurve_Click
```

```
Case "Data"
```

```
    menudata_Click
```

```
Case "Exit"
```

```
    mnuFileExit_Click
```

```
End Select
```

```
End Sub
```

```
Private Sub menucurve_Click()
```

```
Form1.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub menudata_Click()
```

```
Form4.Show
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End Sub

Private Sub mnusave_Click()

On Error Resume Next

Select Case valPrn

Case 1

savepict

Case 2

savedata

Case Else

Exit Sub

End Select

End Sub

Private Sub mnusaveall_Click()

On Error Resume Next

Dim sfile As String

Dim biname As String

Dim picname As String

With dlgCommonDialog

.DialogTitle = "Save All"

.CancelError = True

If .FileName = "" Then

.FileName = "Cct"

End If

.Filter = "bmp Files (*.bmp)|*.bmp;cct File (*.cct)|*.cct"

.ShowSave

sfile = .FileName

If Err.Number = 32755 Then

Exit Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    End If
End With
picname = Left(sfile, Len(sfile) - 4) + ".bmp"
SavePicture Form1.Picture1.Image, picname
biname = Left(sfile, Len(sfile) - 4) + ".cct"
SaveCCT biname
End Sub

```

```
Private Sub mnuPrint_Click()
```

```
    Select Case valPrn
```

```
    Case 1
```

```
        PrintPict
```

```
    Case 2
```

```
        Printdata
```

```
    Case Else
```

```
        Exit Sub
```

```
    End Select
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuPrintall_Click()
```

```
On Error Resume Next
```

```
If ActiveForm Is Nothing Then Exit Sub
```

```
    With dlgCommonDialog
```

```
        .DialogTitle = "Print All"
```

```
        .CancelError = True
```

```
        .Flags = cdIPDReturnDC + cdIPDNoPageNums + cdIPDNoSelection
```

```
        .ShowPrinter
```

```
    End With
```

```
    PrnPic
```

```
    Printer.NewPage
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    If numL = 1 Then
PrnData1
Else
PrnData1
Printer.NewPage
PrnData2
End If
Printer.EndDoc
End Sub

```

```

Private Sub mnuOpen_Click()

```

```

    On Error Resume Next
    Dim sfile As String
    With dlgCommonDialog
        .DialogTitle = "Open"
        .CancelError = True
        .Filter = "Cct Files (*.cct)|*.cct"
        .ShowOpen
    If Len(.FileName) = 0 Then
        Exit Sub
    End If
        sfile = .FileName
    If Err.Number = 32755 Then
        Exit Sub
    End If
    End With
        fname = sfile
    OpenCCT sfile
    jsel = True
        valdata1 = 0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
valdata2 = 0
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuNew_Click()
```

```
    form2.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuFileExit_Click()
```

```
    Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Sub Printdata()
```

```
    On Error Resume Next
```

```
    If ActiveForm Is Nothing Then Exit Sub
```

```
    With dlgCommonDialog
```

```
        .DialogTitle = "Print Data"
```

```
        .CancelError = True
```

```
        .Flags = cdIPDReturnDC + cdIPDNoPageNums + cdIPDNoSelection
```

```
        .ShowPrinter
```

```
    End With
```

```
    If numL = 1 Then
```

```
        PrnData1
```

```
    Else
```

```
        PrnData1
```

```
        Printer.NewPage
```

```
        PrnData2
```

```
    End If
```

```
    Printer.EndDoc
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sub PrintPict()

On Error Resume Next

If ActiveForm Is Nothing Then Exit Sub

 With dlgCommonDialog

 .DialogTitle = "Print Picture"

 .CancelError = True

 .Flags = cdIPDReturnDC + cdIPDNoPageNums + cdIPDNoSelection

 .ShowPrinter

 End With

PrnPic

Printer.EndDoc

End Sub

Sub savepict()

On Error Resume Next

Dim sfile As String

Dim picname As String

 With dlgCommonDialog

 .DialogTitle = "Save Picture"

 .CancelError = True

 If .FileName = "" Then

 .FileName = "Cct"

 End If

 .Filter = "bmp Files (*.bmp)|*.bmp"

 .ShowSave

 sfile = .FileName

 If Err.Number = 32755 Then

 Exit Sub

 End If

End With

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
picname = Left(sfile, Len(sfile) - 4) + ".bmp"
SavePicture Form1.Picture1.Image, picname
```

```
End Sub
```

```
Sub savedata()
```

```
On Error Resume Next
```

```
Dim sfile As String
```

```
Dim biname As String
```

```
With dlgCommonDialog
```

```
.DialogTitle = "Save Data"
```

```
.CancelError = True
```

```
If .FileName = "" Then
```

```
.FileName = "Cct"
```

```
End If
```

```
.Filter = "cct File (*.cct)*.cct"
```

```
.ShowSave
```

```
sfile = .FileName
```

```
If Err.Number = 32755 Then
```

```
Exit Sub
```

```
End If
```

```
End With
```

```
biname = Left(sfile, Len(sfile) - 4) + ".cct"
```

```
SaveCCT biname
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.ซอร์สโค้ดโปรแกรม Visual Basic (FrmSplash)

Private Sub Form_Load()

lblVersion.Caption = "Version " & App.Major & "." & App.Minor & "." & App.Revision

lblProductName.Caption = "Computerize Curve Tracer"

lblCompany.Caption = "Company " & App.CompanyName

Timer1.Interval = 3000

Timer1.Enabled = True

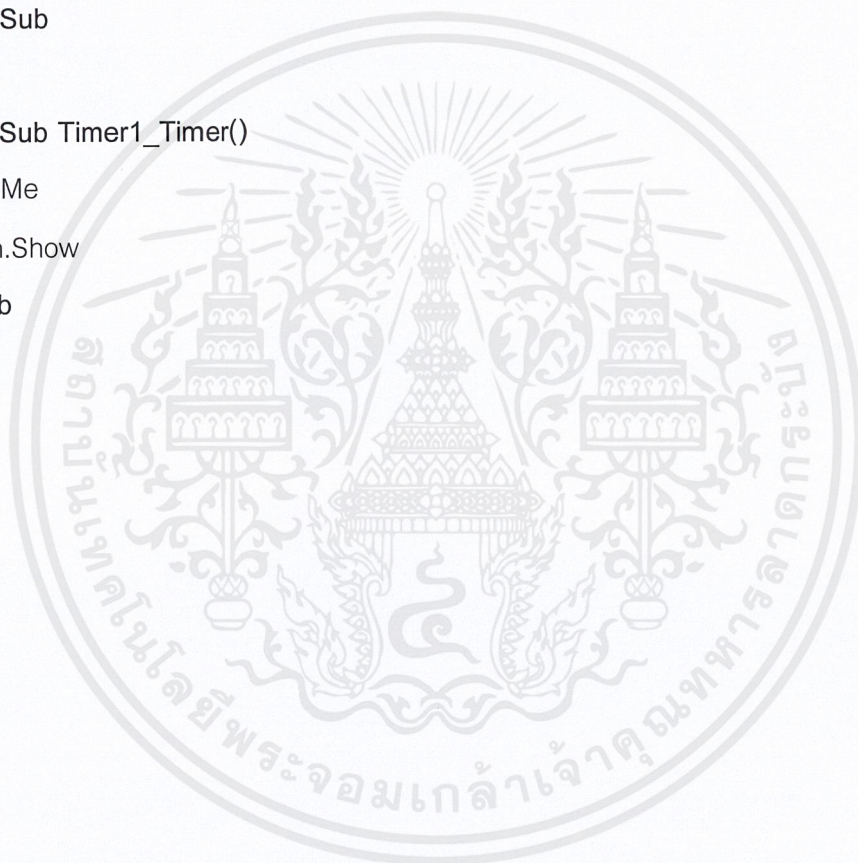
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()

Unload Me

frmMain.Show

End Sub



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ซอร์ทโคด ASM สำหรับ 89C52

```

$mod52
$noprnt
eoc      EQU  p3.4
a2dwr    EQU  p3.6
a2drd    EQU  p3.7
bb       EQU  p3.3
aa       EQU  p3.2
pae      EQU  30h
ad       EQU  31h
led      EQU  p3.5
out2a    EQU  p1
out2b    EQU  p0
in       EQU  p2
out1     EQU  32h
out2     EQU  33h
golf     EQU  34h
st1      EQU  35h
step1    EQU  36h
numvv    EQU  37h
numvvv   EQU  38h
count    EQU  39h

ORG 0000h

;=====
rate:    clr tr1
MOV IE,#00000000B
MOV TMOD,#00100000b
MOV TH1,#0FDH
MOV SCON,#01010000B

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SETB TR1
mov out2a,#0h
mov out2b,#0h

start1: call cin
        cjne a,#31h,start1

```

```

        call cin
        mov st1,a

        call cin
        mov step1,a

        call cin
        mov numvv,a

        call cin
        mov numvvv,a

        clr led

        mov ad,st1
        mov pae,#0h
        mov count,#0h

        clr a2dwr
        clr a2drd

```

```

step:  mov out2b,ad
        mov a,ad
        add a,step1
        mov ad,a

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

loop:    call cin
         cjne a,#30h,exit
         jmp start2
exit:    cjne a,#32h,loop
         jmp rate
start2:  clr led
         mov a,pae
         add a,numvv
         mov pae,a
         mov out2a,pae
         inc count
         call delay
         call a2d1
         mov golf,out1
         call cout
         call a2d2
         mov golf,out2
         call cout
         setb led
         mov a,count
         cjne a,numvvv,loop
         mov pae,#0h
         mov count,#0h
         jmp step

```

```

a2d1:  clr a2drd
         clr aa
         call delay

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clr bb
call delay
setb a2dwr
call delay
clr a2dwr
call delay
setb a2drd
call delay
mov out1,p2
ret
a2d2:  clr a2drd
setb aa
call delay
clr bb
setb a2dwr
call delay
clr a2dwr
call delay
setb a2drd
call delay
mov out2,p2
ret

cout:  mov sbuf,golf
jnb TI,$
clr TI
ret
cin:   jnb RI,$
clr RI

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
mov a,sbuf
```

```
ret
```

```
delay: mov r0,#0ffh
```

```
delay0: mov r1,#0ffh
```

```
delay1: djnz r1,delay1
```

```
delay2: djnz r0,delay0
```

```
ret
```

```
end
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



8-Bit Microcontroller with 8K Bytes Flash

AT89C52

(continued)

Features

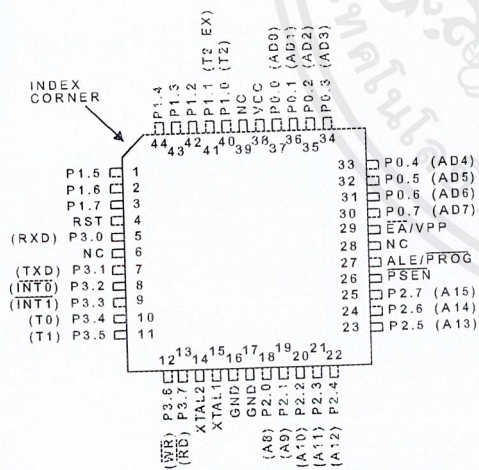
- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-Level Program Memory Lock
- 256 x 8-Bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-Bit Timer/Counters
- Eight Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low Power Idle and Power Down Modes

Description

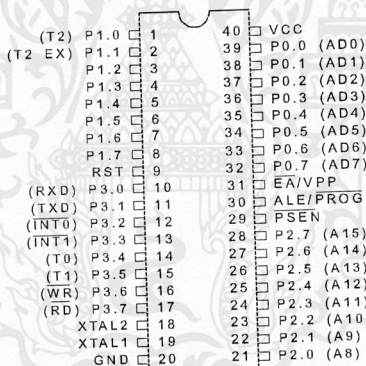
The AT89C52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard 80C51 and 80C52 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C52 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

Pin Configurations

PQFP/TQFP



PDIP



68PLCC

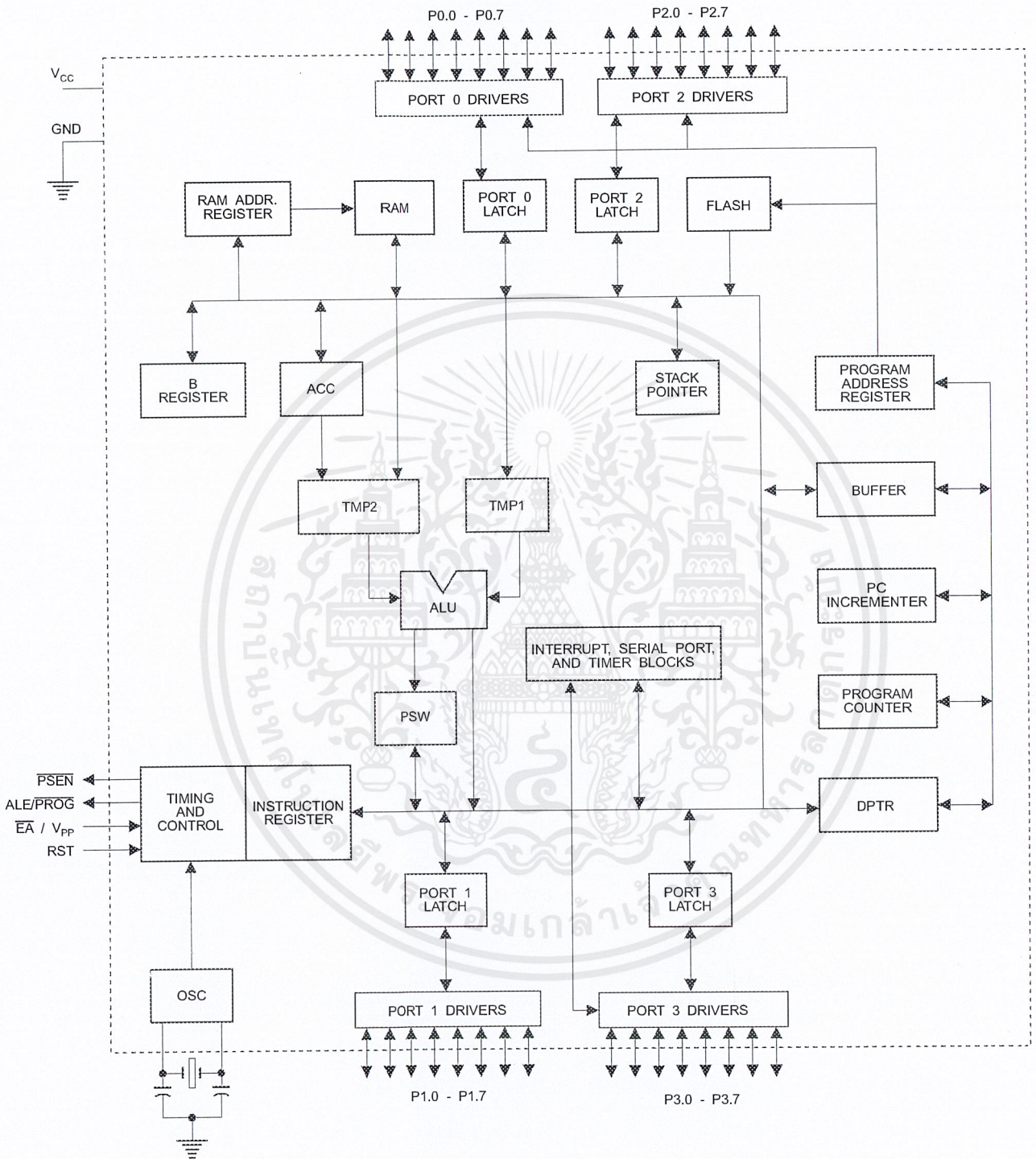


0313F-A-12/97



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AT89C52 provides the following standard features: 8K bytes of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89C52 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Description

V_{CC}
Supply voltage.

GND
Ground.

Port 0
Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1
Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

In addition, P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively, as shown in the following table.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)

Port 2

Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51, as shown in the following table.

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{\text{WR}}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{\text{RD}}$ (external data memory read strobe)

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/PROG

Address Latch Enable is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE





pulse is skipped during each access to external data memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

PSEN

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89C52 is executing code from external program memory, $\overline{\text{PSEN}}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{\text{PSEN}}$ activations are skipped during each access to external data memory.

$\overline{\text{EA}}/V_{\text{PP}}$

External Access Enable. $\overline{\text{EA}}$ must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, $\overline{\text{EA}}$ will be internally latched on reset.

$\overline{\text{EA}}$ should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming when 12-volt programming is selected.

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Table 1. AT89C52 SFR Map and Reset Values

0F8H								0FFH
0F0H	B 00000000							0F7H
0E8H								0EFH
0E0H	ACC 00000000							0E7H
0D8H								0DFH
0D0H	PSW 00000000							0D7H
0C8H	T2CON 00000000	T2MOD XXXXXX00	RCAP2L 00000000	RCAP2H 00000000	TL2 00000000	TH2 00000000		0CFH
0C0H								0C7H
0B8H	IP XX000000							0BFH
0B0H	P3 11111111							0B7H
0A8H	IE 0X000000							0AFH
0A0H	P2 11111111							0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX						9FH
90H	P1 11111111							97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000		8FH
80H	P0 11111111	SP 00000111	DPL 00000000	DPH 00000000			PCON 0XXX0000	87H

Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in Table 1.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke

new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Timer 2 Registers: Control and status bits are contained in registers T2CON (shown in Table 2) and T2MOD (shown in Table 4) for Timer 2. The register pair (RCAP2H, RCAP2L) are the Capture/Reload registers for Timer 2 in 16-bit capture mode or 16-bit auto-reload mode.

Interrupt Registers: The individual interrupt enable bits are in the IE register. Two priorities can be set for each of the six interrupt sources in the IP register.

Table 2. T2CON—Timer/Counter 2 Control Register

T2CON Address = 0C8H						Reset Value = 0000 0000B		
Bit Addressable								
Bit	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/T2	CP/RL2
	7	6	5	4	3	2	1	0

Symbol	Function
TF2	Timer 2 overflow flag set by a Timer 2 overflow and must be cleared by software. TF2 will not be set when either RCLK = 1 or TCLK = 1.
EXF2	Timer 2 external flag set when either a capture or reload is caused by a negative transition on T2EX and EXEN2 = 1. When Timer 2 interrupt is enabled, EXF2 = 1 will cause the CPU to vector to the Timer 2 interrupt routine. EXF2 must be cleared by software. EXF2 does not cause an interrupt in up/down counter mode (DCEN = 1).
RCLK	Receive clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its receive clock in serial port Modes 1 and 3. RCLK = 0 causes Timer 1 overflow to be used for the receive clock.
TCLK	Transmit clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its transmit clock in serial port Modes 1 and 3. TCLK = 0 causes Timer 1 overflows to be used for the transmit clock.
EXEN2	Timer 2 external enable. When set, allows a capture or reload to occur as a result of a negative transition on T2EX if Timer 2 is not being used to clock the serial port. EXEN2 = 0 causes Timer 2 to ignore events at T2EX.
TR2	Start/Stop control for Timer 2. TR2 = 1 starts the timer.
C/T2	Timer or counter select for Timer 2. C/T2 = 0 for timer function. C/T2 = 1 for external event counter (falling edge triggered).
CP/RL2	Capture/Reload select. CP/RL2 = 1 causes captures to occur on negative transitions at T2EX if EXEN2 = 1. CP/RL2 = 0 causes automatic reloads to occur when Timer 2 overflows or negative transitions occur at T2EX when EXEN2 = 1. When either RCLK or TCLK = 1, this bit is ignored and the timer is forced to auto-reload on Timer 2 overflow.

Data Memory

The AT89C52 implements 256 bytes of on-chip RAM. The upper 128 bytes occupy a parallel address space to the Special Function Registers. That means the upper 128 bytes have the same addresses as the SFR space but are physically separate from SFR space.

When an instruction accesses an internal location above address 7FH, the address mode used in the instruction specifies whether the CPU accesses the upper 128 bytes of RAM or the SFR space. Instructions that use direct addressing access SFR space.

For example, the following direct addressing instruction accesses the SFR at location 0A0H (which is P2).

```
MOV 0A0H, #data
```

Instructions that use indirect addressing access the upper 128 bytes of RAM. For example, the following indirect addressing instruction, where R0 contains 0A0H, accesses the data byte at address 0A0H, rather than P2 (whose address is 0A0H).

```
MOV @R0, #data
```

Note that stack operations are examples of indirect addressing, so the upper 128 bytes of data RAM are available as stack space.



Timer 0 and 1

Timer 0 and Timer 1 in the AT89C52 operate the same way as Timer 0 and Timer 1 in the AT89C51.

Timer 2

Timer 2 is a 16-bit Timer/Counter that can operate as either a timer or an event counter. The type of operation is selected by bit $C/\overline{T2}$ in the SFR T2CON (shown in Table 2). Timer 2 has three operating modes: capture, auto-reload (up or down counting), and baud rate generator. The modes are selected by bits in T2CON, as shown in Table 3. Timer 2 consists of two 8-bit registers, TH2 and TL2. In the Timer function, the TL2 register is incremented every machine cycle. Since a machine cycle consists of 12 oscillator periods, the count rate is 1/12 of the oscillator frequency.

Table 3. Timer 2 Operating Modes

RCLK +TCLK	CP/RL2	TR2	MODE
0	0	1	16-Bit Auto-Reload
0	1	1	16-Bit Capture
1	X	1	Baud Rate Generator
X	X	0	(Off)

In the Counter function, the register is incremented in response to a 1-to-0 transition at its corresponding external input pin, T2. In this function, the external input is sampled during S5P2 of every machine cycle. When the samples

show a high in one cycle and a low in the next cycle, the count is incremented. The new count value appears in the register during S3P1 of the cycle following the one in which the transition was detected. Since two machine cycles (24 oscillator periods) are required to recognize a 1-to-0 transition, the maximum count rate is 1/24 of the oscillator frequency. To ensure that a given level is sampled at least once before it changes, the level should be held for at least one full machine cycle.

Capture Mode

In the capture mode, two options are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 is a 16-bit timer or counter which upon overflow sets bit TF2 in T2CON. This bit can then be used to generate an interrupt. If EXEN2 = 1, Timer 2 performs the same operation, but a 1-to-0 transition at external input T2EX also causes the current value in TH2 and TL2 to be captured into RCAP2H and RCAP2L, respectively. In addition, the transition at T2EX causes bit EXF2 in T2CON to be set. The EXF2 bit, like TF2, can generate an interrupt. The capture mode is illustrated in Figure 1.

Auto-Reload (Up or Down Counter)

Timer 2 can be programmed to count up or down when configured in its 16-bit auto-reload mode. This feature is invoked by the DCEN (Down Counter Enable) bit located in the SFR T2MOD (see Table 4). Upon reset, the DCEN bit is set to 0 so that timer 2 will default to count up. When DCEN is set, Timer 2 can count up or down, depending on the value of the T2EX pin.

Figure 1. Timer in Capture Mode

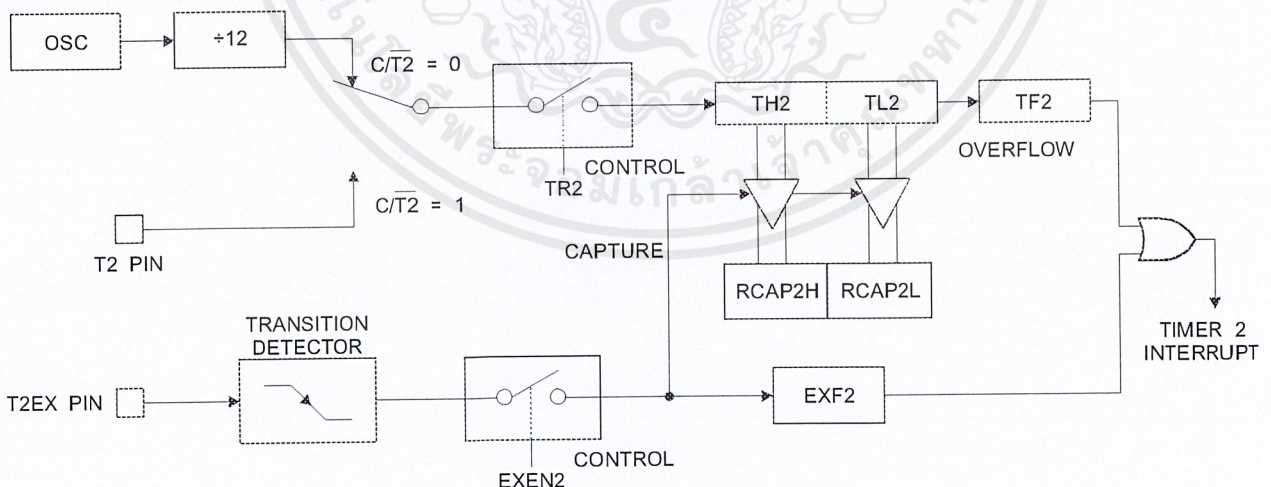


Figure 2 shows Timer 2 automatically counting up when DCEN = 0. In this mode, two options are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 counts up to 0FFFFH and then sets the TF2 bit upon overflow. The overflow also causes the timer registers to be reloaded with the 16-bit value in RCAP2H and RCAP2L. The values in Timer in Capture Mode RCAP2H and RCAP2L are preset by software. If EXEN2 = 1, a 16-bit reload can be triggered either by an overflow or by a 1-to-0 transition at external input T2EX. This transition also sets the EXF2 bit. Both the TF2 and EXF2 bits can generate an interrupt if enabled.

Setting the DCEN bit enables Timer 2 to count up or down, as shown in Figure 3. In this mode, the T2EX pin controls

the direction of the count. A logic 1 at T2EX makes Timer 2 count up. The timer will overflow at 0FFFFH and set the TF2 bit. This overflow also causes the 16-bit value in RCAP2H and RCAP2L to be reloaded into the timer registers, TH2 and TL2, respectively.

A logic 0 at T2EX makes Timer 2 count down. The timer underflows when TH2 and TL2 equal the values stored in RCAP2H and RCAP2L. The underflow sets the TF2 bit and causes 0FFFFH to be reloaded into the timer registers.

The EXF2 bit toggles whenever Timer 2 overflows or underflows and can be used as a 17th bit of resolution. In this operating mode, EXF2 does not flag an interrupt.

Figure 2. Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 0)

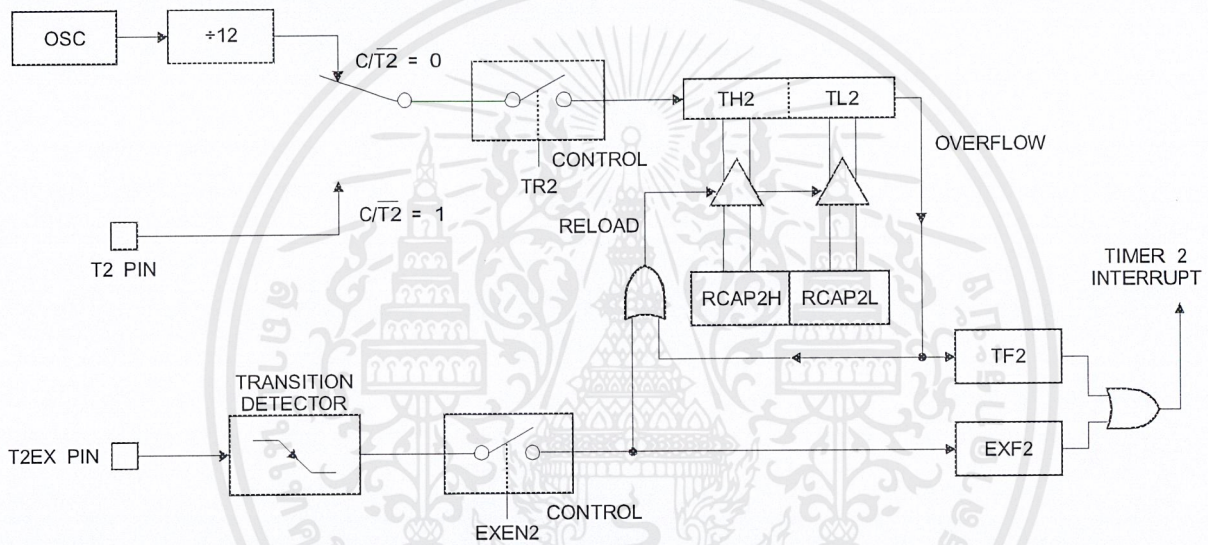


Table 4. T2MOD—Timer 2 Mode Control Register

T2MOD Address = 0C9H							Reset Value = XXXX XX00B	
Not Bit Addressable								
Bit	7	6	5	4	3	2	T2OE	DCEN
	—	—	—	—	—	—	1	0

Symbol	Function
—	Not implemented, reserved for future
T2OE	Timer 2 Output Enable bit.
DCEN	When set, this bit allows Timer 2 to be configured as an up/down counter.



Figure 3. Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 1)

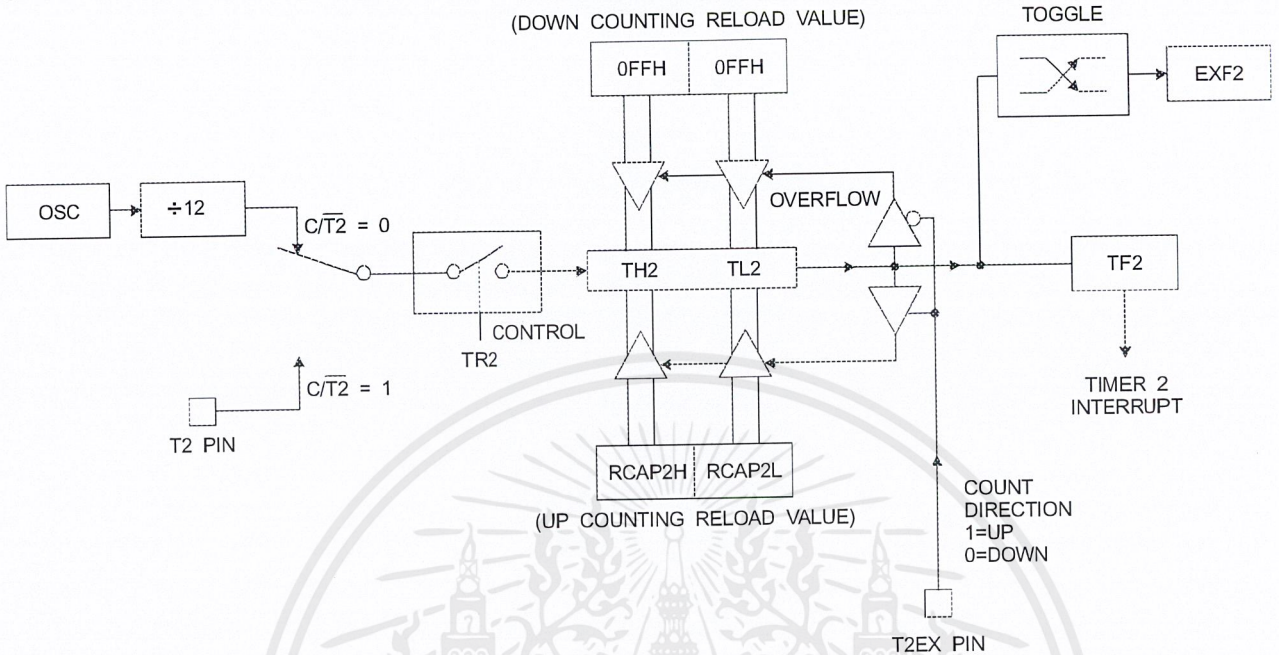
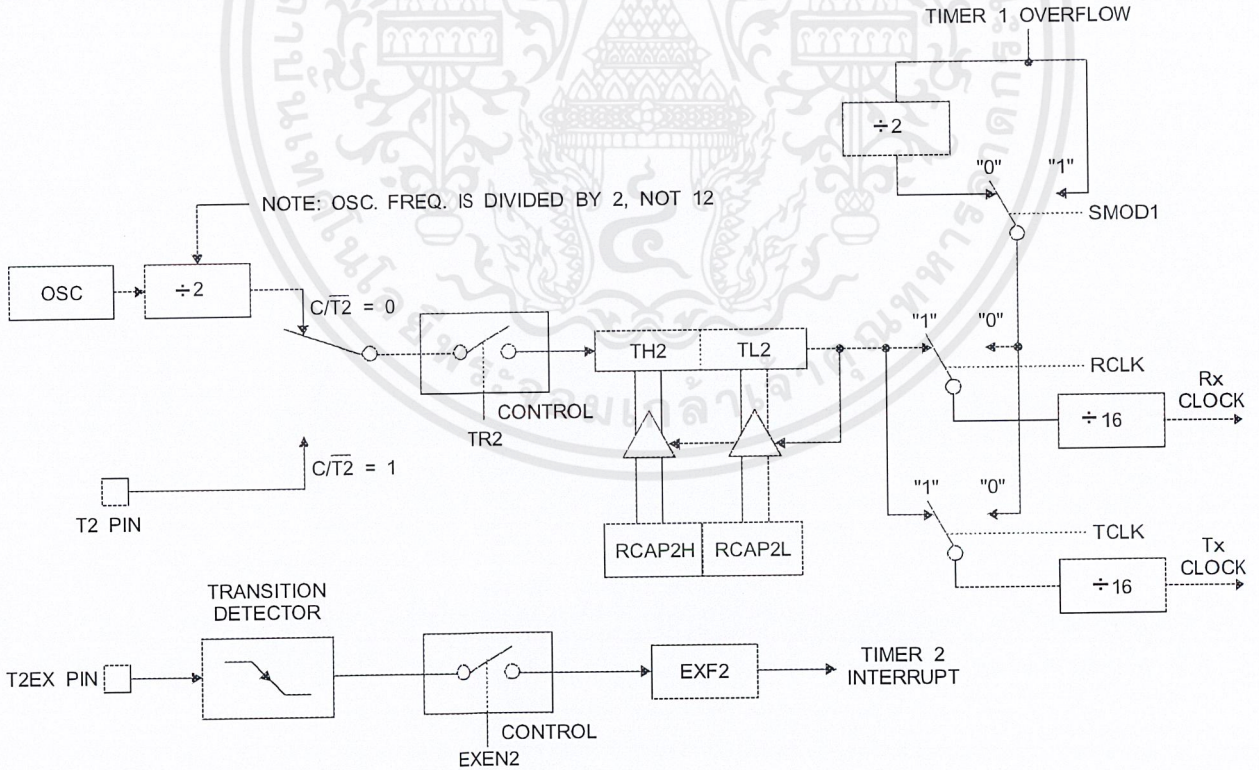


Figure 4. Timer 2 in Baud Rate Generator Mode



Baud Rate Generator

Timer 2 is selected as the baud rate generator by setting TCLK and/or RCLK in T2CON (Table 2). Note that the baud rates for transmit and receive can be different if Timer 2 is used for the receiver or transmitter and Timer 1 is used for the other function. Setting RCLK and/or TCLK puts Timer 2 into its baud rate generator mode, as shown in Figure 4.

The baud rate generator mode is similar to the auto-reload mode, in that a rollover in TH2 causes the Timer 2 registers to be reloaded with the 16-bit value in registers RCAP2H and RCAP2L, which are preset by software.

The baud rates in Modes 1 and 3 are determined by Timer 2's overflow rate according to the following equation.

$$\text{Modes 1 and 3 Baud Rates} = \frac{\text{Timer 2 Overflow Rate}}{16}$$

The Timer can be configured for either timer or counter operation. In most applications, it is configured for timer operation ($CP/\overline{T2} = 0$). The timer operation is different for Timer 2 when it is used as a baud rate generator. Normally, as a timer, it increments every machine cycle (at 1/12 the oscillator frequency). As a baud rate generator, however, it

increments every state time (at 1/2 the oscillator frequency). The baud rate formula is given below.

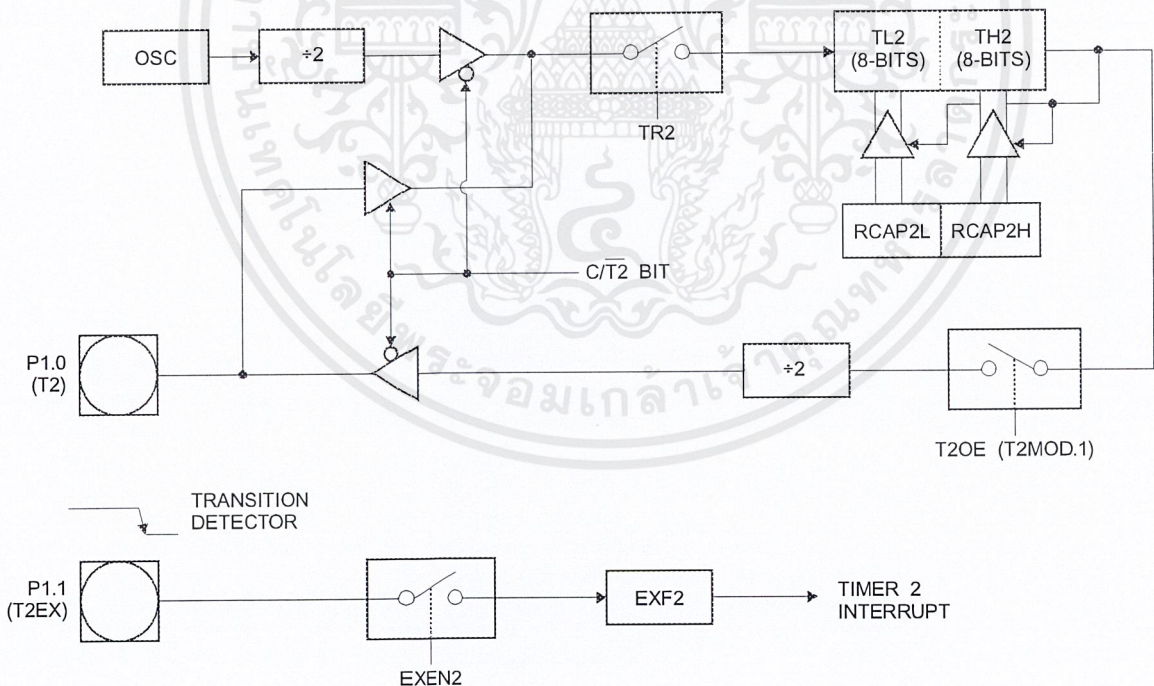
$$\frac{\text{Modes 1 and 3}}{\text{Baud Rate}} = \frac{\text{Oscillator Frequency}}{32 \times [65536 - (\text{RCAP2H}, \text{RCAP2L})]}$$

where (RCAP2H, RCAP2L) is the content of RCAP2H and RCAP2L taken as a 16-bit unsigned integer.

Timer 2 as a baud rate generator is shown in Figure 4. This figure is valid only if RCLK or TCLK = 1 in T2CON. Note that a rollover in TH2 does not set TF2 and will not generate an interrupt. Note too, that if EXEN2 is set, a 1-to-0 transition in T2EX will set EXF2 but will not cause a reload from (RCAP2H, RCAP2L) to (TH2, TL2). Thus when Timer 2 is in use as a baud rate generator, T2EX can be used as an extra external interrupt.

Note that when Timer 2 is running ($TR2 = 1$) as a timer in the baud rate generator mode, TH2 or TL2 should not be read from or written to. Under these conditions, the Timer is incremented every state time, and the results of a read or write may not be accurate. The RCAP2 registers may be read but should not be written to, because a write might overlap a reload and cause write and/or reload errors. The timer should be turned off (clear TR2) before accessing the Timer 2 or RCAP2 registers.

Figure 5. Timer 2 in Clock-Out Mode



Programmable Clock Out

A 50% duty cycle clock can be programmed to come out on P1.0, as shown in Figure 5. This pin, besides being a regular I/O pin, has two alternate functions. It can be programmed to input the external clock for Timer/Counter 2 or to output a 50% duty cycle clock ranging from 61 Hz to 4 MHz at a 16 MHz operating frequency.

To configure the Timer/Counter 2 as a clock generator, bit $C/\overline{T}2$ (T2CON.1) must be cleared and bit T2OE (T2MOD.1) must be set. Bit TR2 (T2CON.2) starts and stops the timer.

The clock-out frequency depends on the oscillator frequency and the reload value of Timer 2 capture registers (RCAP2H, RCAP2L), as shown in the following equation.

$$\text{Clock-Out Frequency} = \frac{\text{Oscillator Frequency}}{4 \times [65536 - (\text{RCAP2H}, \text{RCAP2L})]}$$

In the clock-out mode, Timer 2 roll-overs will not generate an interrupt. This behavior is similar to when Timer 2 is used as a baud-rate generator. It is possible to use Timer 2 as a baud-rate generator and a clock generator simultaneously. Note, however, that the baud-rate and clock-out frequencies cannot be determined independently from one another since they both use RCAP2H and RCAP2L.

UART

The UART in the AT89C52 operates the same way as the UART in the AT89C51.

Interrupts

The AT89C52 has a total of six interrupt vectors: two external interrupts ($\overline{\text{INT0}}$ and $\overline{\text{INT1}}$), three timer interrupts (Timers 0, 1, and 2), and the serial port interrupt. These interrupts are all shown in Figure 6.

Each of these interrupt sources can be individually enabled or disabled by setting or clearing a bit in Special Function Register IE. IE also contains a global disable bit, EA, which disables all interrupts at once.

Note that Table 5 shows that bit position IE.6 is unimplemented. In the AT89C51, bit position IE.5 is also unimplemented. User software should not write 1s to these bit positions, since they may be used in future AT89 products.

Timer 2 interrupt is generated by the logical OR of bits TF2 and EXF2 in register T2CON. Neither of these flags is cleared by hardware when the service routine is vectored to. In fact, the service routine may have to determine whether it was TF2 or EXF2 that generated the interrupt, and that bit will have to be cleared in software.

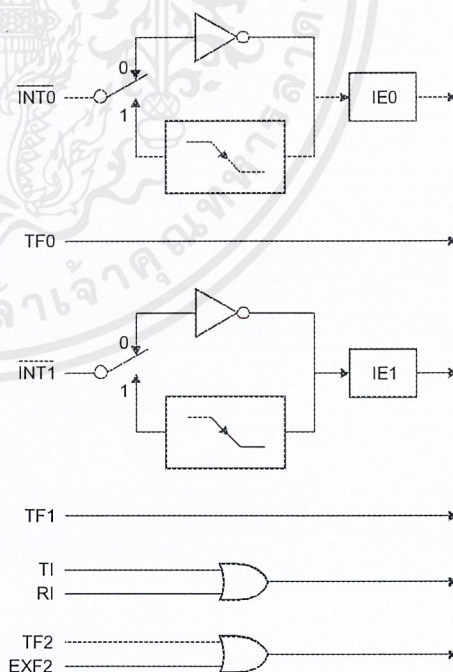
The Timer 0 and Timer 1 flags, TF0 and TF1, are set at S5P2 of the cycle in which the timers overflow. The values are then polled by the circuitry in the next cycle. However, the Timer 2 flag, TF2, is set at S2P2 and is polled in the same cycle in which the timer overflows.

Table 5. Interrupt Enable (IE) Register

(MSB)							(LSB)
EA	—	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0
Enable Bit = 1 enables the interrupt.							
Enable Bit = 0 disables the interrupt.							

Symbol	Position	Function
EA	IE.7	Disables all interrupts. If EA = 0, no interrupt is acknowledged. If EA = 1, each interrupt source is individually enabled or disabled by setting or clearing its enable bit.
—	IE.6	Reserved.
ET2	IE.5	Timer 2 interrupt enable bit.
ES	IE.4	Serial Port interrupt enable bit.
ET1	IE.3	Timer 1 interrupt enable bit.
EX1	IE.2	External interrupt 1 enable bit.
ET0	IE.1	Timer 0 interrupt enable bit.
EX0	IE.0	External interrupt 0 enable bit.
User software should never write 1s to unimplemented bits, because they may be used in future AT89 products.		

Figure 6. Interrupt Sources



Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier that can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 7. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven, as shown in Figure 8. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

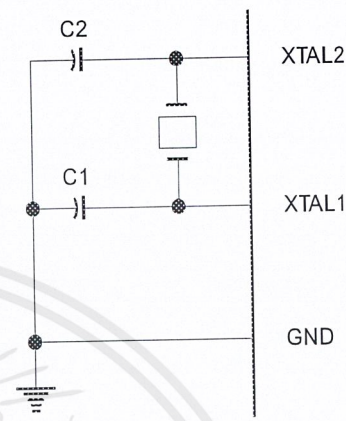
Note that when idle mode is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when idle mode is terminated by a reset, the instruction following the one that invokes idle mode should not write to a port pin or to external memory.

Power Down Mode

In the power down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power down mode is terminated. The only exit from power down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is

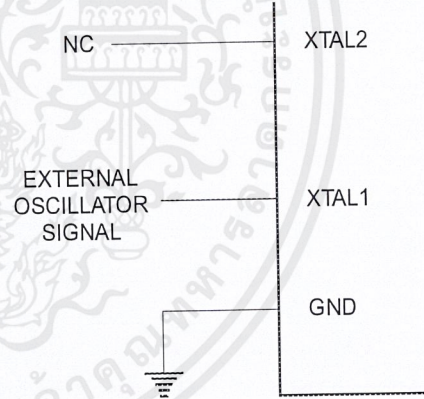
restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Figure 7. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 8. External Clock Drive Configuration



Status of External Pins During Idle and Power Down Modes

Mode	Program Memory	ALE	$\overline{\text{PSEN}}$	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power Down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power Down	External	0	0	Float	Data	Data	Data



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Program Memory Lock Bits

The AT89C52 has three lock bits that can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the following table.

Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				Protection Type
LB1	LB2	LB3		
1	U	U	U	No program lock features.
2	P	U	U	MOV _C instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, \overline{EA} is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash memory is disabled.
3	P	P	U	Same as mode 2, but verify is also disabled.
4	P	P	P	Same as mode 3, but external execution is also disabled.

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the \overline{EA} pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value and holds that value until reset is activated. The latched value of \overline{EA} must agree with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Programming the Flash

The AT89C52 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage (V_{CC}) program enable signal. The low voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C52 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C52 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Top-Side Mark	AT89C52 xxxx yyww	AT89C52 xxxx-5 yyww
Signature	(030H)=1EH (031H)=52H (032H)=FFH	(030H)=1EH (031H)=52H (032H)=05H

The AT89C52 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

Programming Algorithm: Before programming the AT89C52, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figures 9 and 10. To program the AT89C52, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise \overline{EA}/V_{PP} to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse $\overline{ALE}/\overline{PROG}$ once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

Data Polling: The AT89C52 features \overline{Data} Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and the next cycle may begin. \overline{Data} Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate \overline{BUSY} . P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding ALE/PROG low for 10 ms. The code array is written with all 1s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be reprogrammed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H, 031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

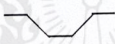
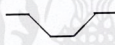
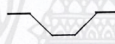
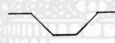
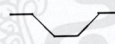
- (030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (031H) = 52H indicates 89C52
- (032H) = FFH indicates 12V programming
- (032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written, and the entire array can be erased, by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

Flash Programming Modes

Mode	RST	PSEN	ALE/PROG	$\bar{E}A/V_{PP}$	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data	H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data	H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H	L		H/12V	H	H	H
	Bit - 2	H	L		H/12V	H	H	L
	Bit - 3	H	L		H/12V	H	L	H
Chip Erase	H	L	 (1)	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte	H	L	H	H	L	L	L	L

Note: 1. Chip Erase requires a 10-ms PROG pulse.



Figure 9. Programming the Flash Memory

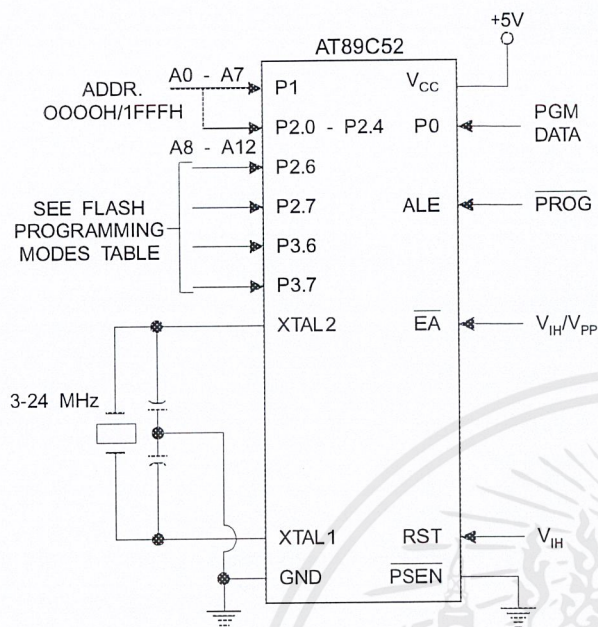
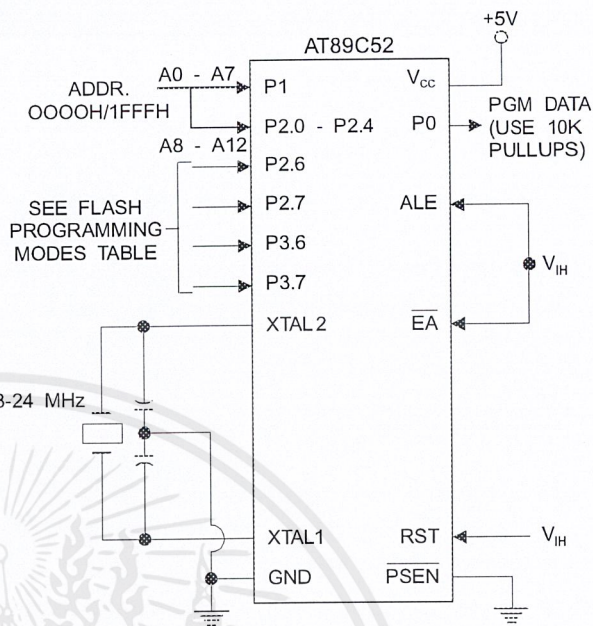


Figure 10. Verifying the Flash Memory



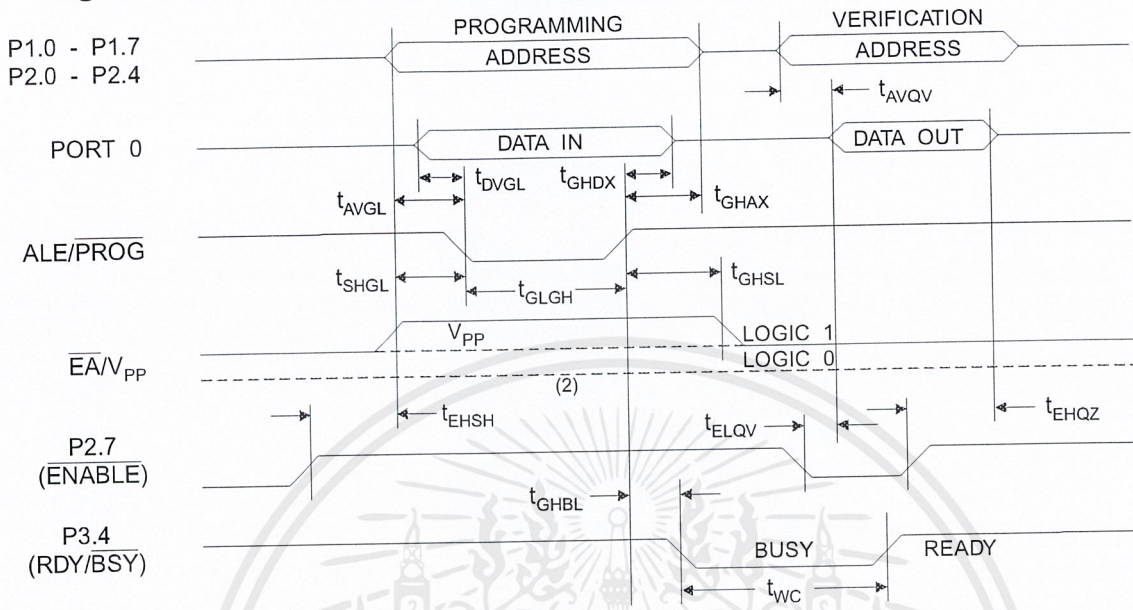
Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C , $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

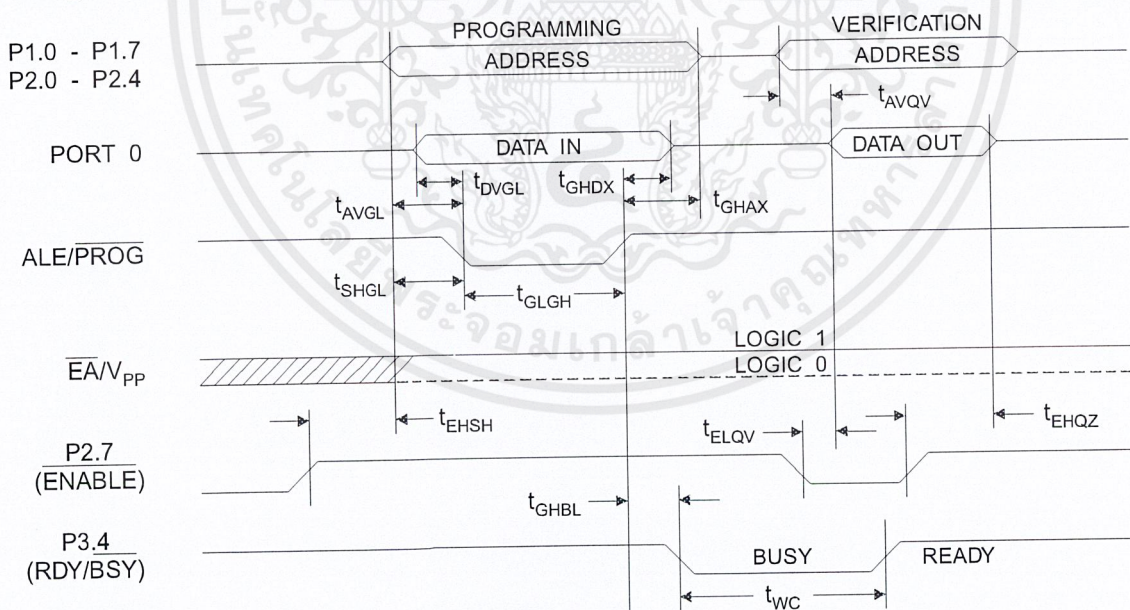
Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$V_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
$I_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Current		1.0	mA
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	3	24	MHz
t_{AVGL}	Address Setup to \overline{PROG} Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHAX}	Address Hold After \overline{PROG}	$48t_{CLCL}$		
t_{DVGL}	Data Setup to \overline{PROG} Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHDX}	Data Hold After \overline{PROG}	$48t_{CLCL}$		
t_{EHS}	P2.7 (\overline{ENABLE}) High to V_{PP}	$48t_{CLCL}$		
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to \overline{PROG} Low	10		μs
$t_{GHSL}^{(1)}$	V_{PP} Hold After \overline{PROG}	10		μs
t_{GLGH}	\overline{PROG} Width	1	110	μs
t_{AVQV}	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{ELQV}	\overline{ENABLE} Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{EHQZ}	Data Float After \overline{ENABLE}	0	$48t_{CLCL}$	
t_{GHBL}	\overline{PROG} High to \overline{BUSY} Low		1.0	μs
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.

Flash Programming and Verification Waveforms - High Voltage Mode ($V_{PP}=12V$)



Flash Programming and Verification Waveforms - Low Voltage Mode ($V_{PP}=5V$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage.....	6.6V
DC Output Current.....	15.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC Characteristics

The values shown in this table are valid for $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C and $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$, unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low Voltage	(Except \overline{EA})	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
V_{IL1}	Input Low Voltage (\overline{EA})		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
V_{IH}	Input High Voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IH1}	Input High Voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V
V_{OL1}	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, PSEN)	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V
V_{OH}	Output High Voltage (Ports 1,2,3, ALE, PSEN)	$I_{OH} = -60 \mu\text{A}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
V_{OH1}	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \mu\text{A}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	μA
I_{LI}	Input Leakage Current (Port 0, \overline{EA})	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
RRST	Reset Pulldown Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		25	mA
		Idle Mode, 12 MHz		6.5	mA
	Power Down Mode ⁽¹⁾	$V_{CC} = 6\text{V}$		100	μA
		$V_{CC} = 3\text{V}$		40	μA

Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:

Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA

Maximum I_{OL} per 8-bit port:

Port 0: 26 mA Ports 1, 2, 3: 15 mA

Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA

If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

2. Minimum V_{CC} for Power Down is 2V.

AC Characteristics

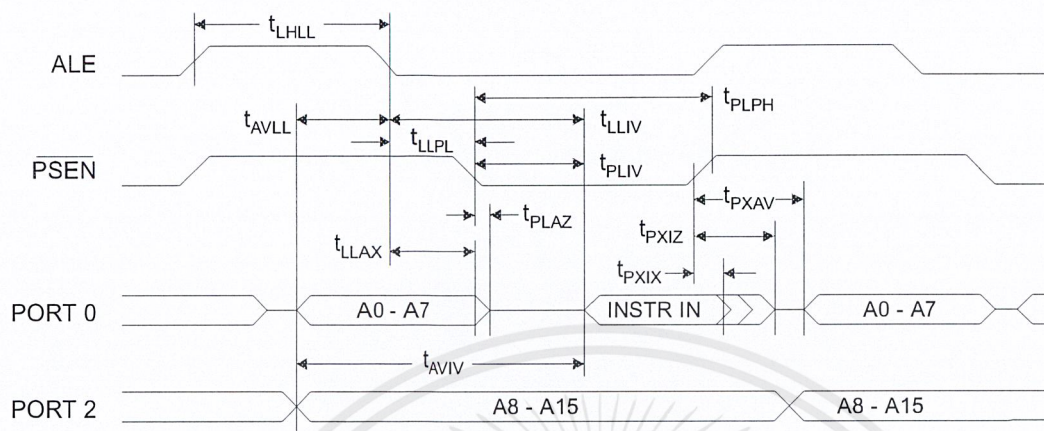
Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/ $\overline{\text{PROG}}$, and $\overline{\text{PSEN}}$ = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

External Program and Data Memory Characteristics

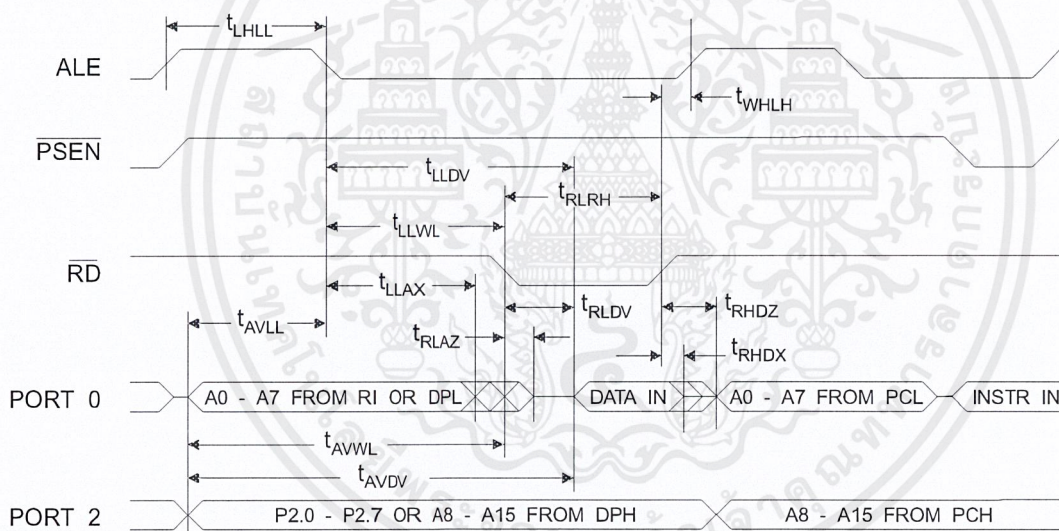
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{\text{CLCL}}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t_{LHLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{\text{CLCL}}-40$		ns
t_{AVLL}	Address Valid to ALE Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
t_{LLAX}	Address Hold After ALE Low	48		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{LLIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{\text{CLCL}}-65$	ns
t_{LLPL}	ALE Low to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
t_{PLPH}	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	205		$3t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{PLIV}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Valid Instruction In		145		$3t_{\text{CLCL}}-45$	ns
t_{PXIX}	Input Instruction Hold After $\overline{\text{PSEN}}$	0		0		ns
t_{PXIZ}	Input Instruction Float After $\overline{\text{PSEN}}$		59		$t_{\text{CLCL}}-10$	ns
t_{PXAV}	$\overline{\text{PSEN}}$ to Address Valid	75		$t_{\text{CLCL}}-8$		ns
t_{AVIV}	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{\text{CLCL}}-55$	ns
t_{PLAZ}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Address Float		10		10	ns
t_{RLRH}	$\overline{\text{RD}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{WLWH}	$\overline{\text{WR}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{RLDV}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Valid Data In		252		$5t_{\text{CLCL}}-90$	ns
t_{RHDX}	Data Hold After $\overline{\text{RD}}$	0		0		ns
t_{RHDZ}	Data Float After $\overline{\text{RD}}$		97		$2t_{\text{CLCL}}-28$	ns
t_{LLDV}	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{\text{CLCL}}-150$	ns
t_{AVDV}	Address to Valid Data In		585		$9t_{\text{CLCL}}-165$	ns
t_{LLWL}	ALE Low to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	200	300	$3t_{\text{CLCL}}-50$	$3t_{\text{CLCL}}+50$	ns
t_{AWWL}	Address to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	203		$4t_{\text{CLCL}}-75$		ns
t_{QVWX}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ Transition	23		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{QVWH}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ High	433		$7t_{\text{CLCL}}-120$		ns
t_{WHQX}	Data Hold After $\overline{\text{WR}}$	33		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{RLAZ}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Address Float		0		0	ns
t_{WHLH}	$\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ High to ALE High	43	123	$t_{\text{CLCL}}-20$	$t_{\text{CLCL}}+25$	ns



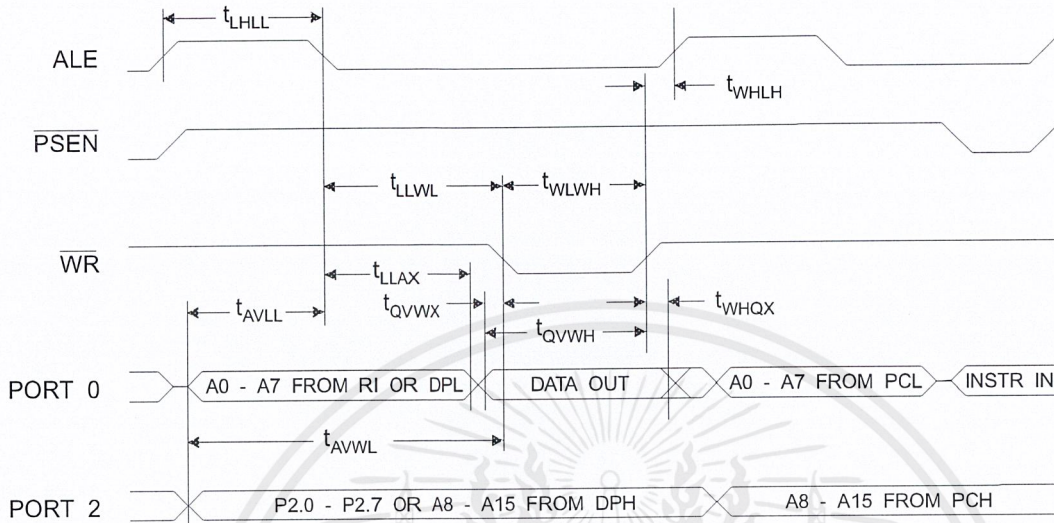
External Program Memory Read Cycle



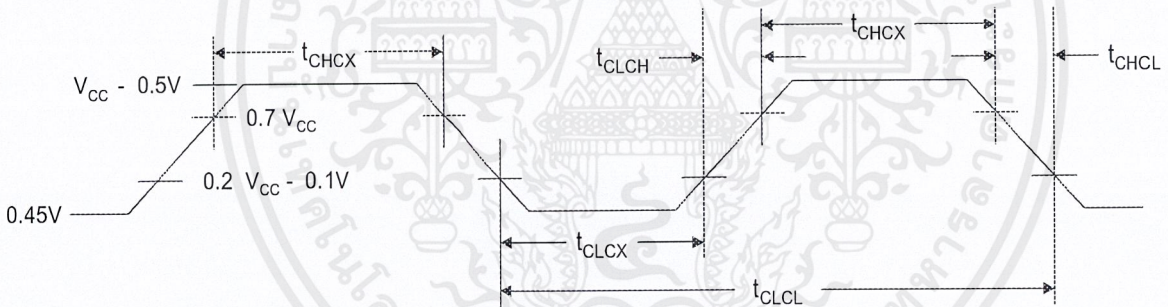
External Data Memory Read Cycle



External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns



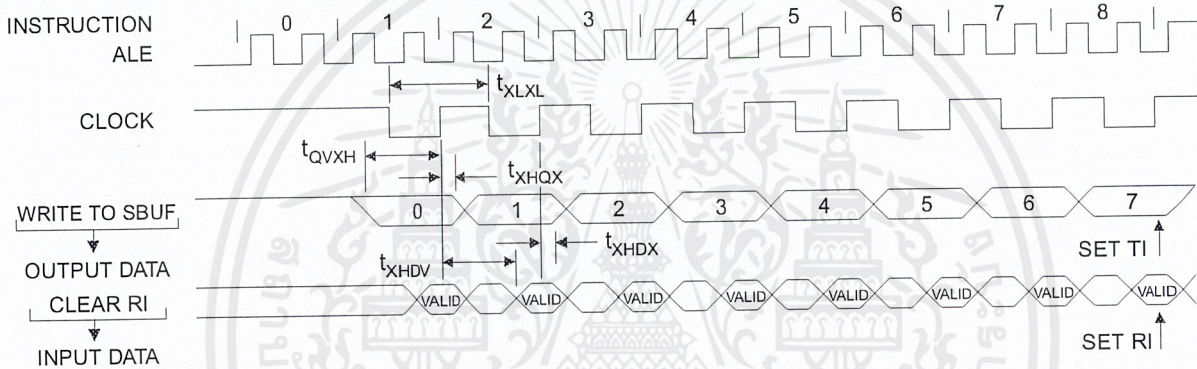


Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

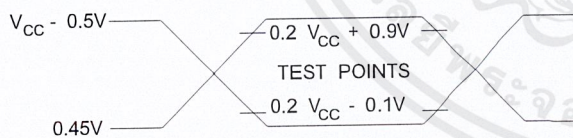
The values in this table are valid for $V_{CC} = 5.0V \pm 20\%$ and Load Capacitance = 80 pF.

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHQX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-117$		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms

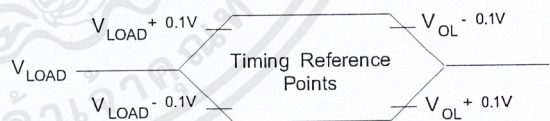


AC Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5V$ for a logic 1 and $0.45V$ for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Float Waveforms⁽¹⁾



Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when a 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	5V ± 20%	AT89C52-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C52-12JC	44J	
		AT89C52-12PC	40P6	
		AT89C52-12QC	44Q	
		AT89C52-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C52-12JI	44J	
		AT89C52-12PI	40P6	
		AT89C52-12QI	44Q	
		AT89C52-12AA	44A	Automotive (-40°C to 105°C)
		AT89C52-12JA	44J	
		AT89C52-12PA	40P6	
		AT89C52-12QA	44Q	
16	5V ± 20%	AT89C52-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C52-16JC	44J	
		AT89C52-16PC	40P6	
		AT89C52-16QC	44Q	
		AT89C52-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C52-16JI	44J	
		AT89C52-16PI	40P6	
		AT89C52-16QI	44Q	
		AT89C52-16AA	44A	Automotive (-40°C to 105°C)
		AT89C52-16JA	44J	
		AT89C52-16PA	40P6	
		AT89C52-16QA	44Q	
20	5V ± 20%	AT89C52-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C52-20JC	44J	
		AT89C52-20PC	40P6	
		AT89C52-20QC	44Q	
		AT89C52-20AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C52-20JI	44J	
		AT89C52-20PI	40P6	
		AT89C52-20QI	44Q	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
24	5V ± 20%	AT89C52-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C52-24JC	44J	
		AT89C52-24PC	40P6	
		AT89C52-24QC	44Q	
		AT89C52-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C52-24JI	44J	
		AT89C52-24PI	40P6	
		AT89C52-24QI	44Q	



Package Type	
44A	44 Lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44J	44 Lead, Plastic J-Leaded Chip Carrier (PLCC)
40P6	40 Lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44 Lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808/ADC0809

8-Bit μ P Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

General Description

The ADC0808, ADC0809 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 8-channel multiplexer and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 8-channel multiplexer can directly access any of 8-single-ended analog signals.

The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE[®] outputs.

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 16-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0816 data sheet. (See AN-247 for more information.)

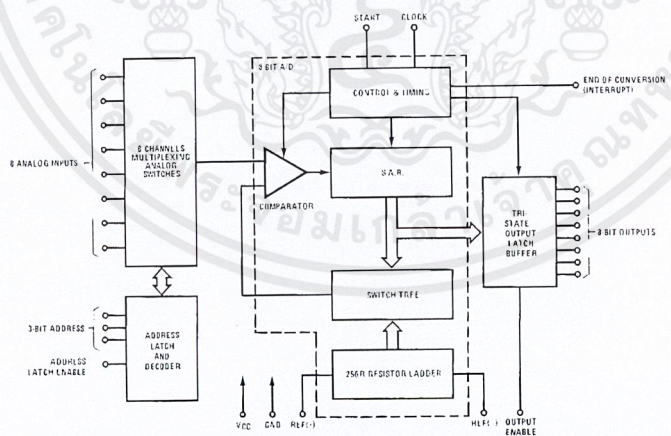
Features

- Easy interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} or analog span adjusted voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 8-channel multiplexer with address logic
- 0V to 5V input range with single 5V power supply
- Outputs meet TTL voltage level specifications
- Standard hermetic or molded 28-pin DIP package
- 28-pin molded chip carrier package
- ADC0808 equivalent to MM74C949
- ADC0809 equivalent to MM74C949-1

Key Specifications

- Resolution 8 Bits
- Total Unadjusted Error $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
- Single Supply 5 V_{DC}
- Low Power 15 mW
- Conversion Time 100 μ s

Block Diagram

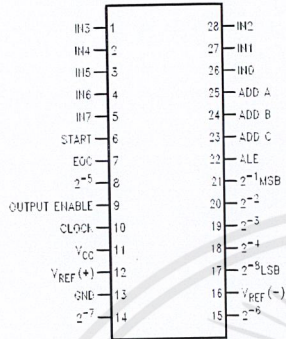


See Ordering Information

TRI-STATE[®] is a registered trademark of National Semiconductor Corp.

Connection Diagrams

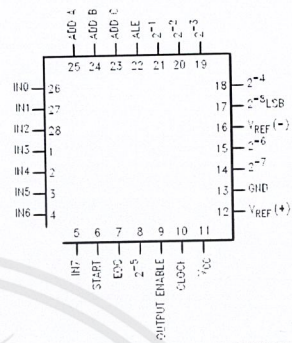
Dual-In-Line Package



DS005672-11

Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
See NS Package J28A or N28A

Molded Chip Carrier Package



DS005672-12

Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
See NS Package V28A

Ordering Information

TEMPERATURE RANGE		-40°C to +85°C			-55°C to +125°C
Error	±½ LSB Unadjusted	ADC0808CCN	ADC0808CCV	ADC0808CCJ	ADC0808CJ
	±1 LSB Unadjusted	ADC0809CCN	ADC0809CCV		
Package Outline		N28A Molded DIP	V28A Molded Chip Carrier	J28A Ceramic DIP	J28A Ceramic DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Notes 2, 1)

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

Supply Voltage (V _{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage at Any Pin	-0.3V to (V _{CC} +0.3V)
Except Control Inputs	
Voltage at Control Inputs (START, OE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C)	-0.3V to +15V
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at T _A =25°C	875 mW
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C

Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Molded Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 8)	400V

Operating Conditions (Notes 1, 2)

Temperature Range (Note 1)	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}
ADC0808CCN, ADC0809CCN	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C
ADC0808CCV, ADC0809CCV	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C
Range of V _{CC} (Note 1)	4.5 V _{DC} to 6.0 V _{DC}

Electrical Characteristics

Converter Specifications: V_{CC}=5 V_{DC}=V_{REF+}, V_{REF(-)}=GND, T_{MIN} ≤ T_A ≤ T_{MAX} and f_{CLK}=640 kHz unless otherwise stated.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	ADC0808					
	Total Unadjusted Error (Note 5)	25°C T _{MIN} to T _{MAX}			±½ ±¾	LSB LSB
	ADC0809					
	Total Unadjusted Error (Note 5)	0°C to 70°C T _{MIN} to T _{MAX}			±1 ±1¼	LSB LSB
	Input Resistance	From Ref(+) to Ref(-)	1.0	2.5		kΩ
	Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(-)	GND-0.10		V _{CC} +0.10	V _{DC}
V _{REF(+)}	Voltage, Top of Ladder	Measured at Ref(+)		V _{CC}	V _{CC} +0.1	V
$\frac{V_{REF(+)} + V_{REF(-)}}{2}$	Voltage, Center of Ladder		V _{CC} /2-0.1	V _{CC} /2	V _{CC} /2+0.1	V
V _{REF(-)}	Voltage, Bottom of Ladder	Measured at Ref(-)	-0.1	0		V
I _{IN}	Comparator Input Current	f _c =640 kHz, (Note 6)	-2	±0.5	2	μA

Electrical Characteristics

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, 4.75 ≤ V_{CC} ≤ 5.25V, -40°C ≤ T_A ≤ +85°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ANALOG MULTIPLEXER						
I _{OFF(+)}	OFF Channel Leakage Current	V _{CC} =5V, V _{IN} =5V, T _A =25°C T _{MIN} to T _{MAX}		10	200	nA μA
I _{OFF(-)}	OFF Channel Leakage Current	V _{CC} =5V, V _{IN} =0, T _A =25°C T _{MIN} to T _{MAX}	-200 -1.0	-10		nA μA
CONTROL INPUTS						
V _{IN(1)}	Logical "1" Input Voltage		V _{CC} -1.5			V
V _{IN(0)}	Logical "0" Input Voltage				1.5	V
I _{IN(1)}	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	V _{IN} =15V			1.0	μA
I _{IN(0)}	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	V _{IN} =0	-1.0			μA
I _{CC}	Supply Current	f _{CLK} =640 kHz		0.3	3.0	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, $4.75 \leq V_{CC} \leq 5.25V$, $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)						
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$V_{CC} = 4.75V$ $I_{OUT} = -360\mu A$ $I_{OUT} = -10\mu A$		2.4 4.5		V(min) V(min)
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$I_O = 1.6 mA$			0.45	V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O = 1.2 mA$			0.45	V
I_{OUT}	TRI-STATE Output Current	$V_O = 5V$ $V_O = 0$	-3		3	μA μA

Electrical Characteristics

Timing Specifications $V_{CC} = V_{REF(+)} = 5V$, $V_{REF(-)} = GND$, $t_r = t_f = 20 ns$ and $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{WS}	Minimum Start Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_{WALE}	Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_s	Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_H	Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_D	Analog MUX Delay Time From ALE	$R_S = 0\Omega$ (Figure 5)		1	2.5	μs
t_{H1}, t_{H0}	OE Control to Q Logic State	$C_L = 50 pF$, $R_L = 10k$ (Figure 6)		125	250	ns
t_{H1}, t_{OH}	OE Control to Hi-Z	$C_L = 10 pF$, $R_L = 10k$ (Figure 6)		125	250	ns
t_c	Conversion Time	$f_c = 640 kHz$, (Figure 5) (Note 7)	90	100	116	μs
f_c	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
t_{EOC}	EOC Delay Time	(Figure 5)	0		8+2 μs	Clock Periods
C_{IN}	Input Capacitance	At Control Inputs		10	15	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance	At TRI-STATE Outputs		10	15	pF

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.

Note 3: A zener diode exists, internally, from V_{CC} to GND and has a typical breakdown voltage of $7 V_{DC}$.

Note 4: Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. The spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute $0V_{DC}$ to $5V_{DC}$ input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of $4.900 V_{DC}$ over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplexer errors. See Figure 3. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0.0V, or if a narrow full-scale span exists (for example: 0.5V to 4.5V full-scale) the reference voltages can be adjusted to achieve this. See Figure 7.3.

Note 6: Comparator input current is a bias current into or out of the chopper stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and has little temperature dependence (Figure 6). See paragraph 4.0.

Note 7: The outputs of the data register are updated one clock cycle before the rising edge of EOC.

Note 8: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Functional Description

Multiplexer. The device contains an 8-channel single-ended analog signal multiplexer. A particular input channel is selected by using the address decoder. *Table 1* shows the input states for the address lines to select any channel. The address is latched into the decoder on the low-to-high transition of the address latch enable signal.

TABLE 1.

SELECTED ANALOG CHANNEL	ADDRESS LINE		
	C	B	A
IN0	L	L	L
IN1	L	L	H
IN2	L	H	L
IN3	L	H	H
IN4	H	L	L
IN5	H	L	H
IN6	H	H	L
IN7	H	H	H

CONVERTER CHARACTERISTICS

The Converter

The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed to give fast, accurate, and repeatable conversions over a wide range of temperatures. The converter is partitioned into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

The 256R ladder network approach (*Figure 1*) was chosen over the conventional R/2R ladder because of its inherent monotonicity, which guarantees no missing digital codes. Monotonicity is particularly important in closed loop feedback control systems. A non-monotonic relationship can cause oscillations that will be catastrophic for the system. Additionally, the 256R network does not cause load variations on the reference voltage.

The bottom resistor and the top resistor of the ladder network in *Figure 1* are not the same value as the remainder of the network. The difference in these resistors causes the output characteristic to be symmetrical with the zero and full-scale points of the transfer curve. The first output transition occurs when the analog signal has reached $+1/2$ LSB and succeeding output transitions occur every 1 LSB later up to full-scale.

The successive approximation register (SAR) performs 8 iterations to approximate the input voltage. For any SAR type converter, n-iterations are required for an n-bit converter. *Figure 2* shows a typical example of a 3-bit converter. In the ADC0808, ADC0809, the approximation technique is extended to 8 bits using the 256R network.

The A/D converter's successive approximation register (SAR) is reset on the positive edge of the start conversion (SC) pulse. The conversion is begun on the falling edge of the start conversion pulse. A conversion in process will be interrupted by receipt of a new start conversion pulse. Continuous conversion may be accomplished by tying the end-of-conversion (EOC) output to the SC input. If used in this mode, an external start conversion pulse should be applied after power up. End-of-conversion will go low between 0 and 8 clock pulses after the rising edge of start conversion.

The most important section of the A/D converter is the comparator. It is this section which is responsible for the ultimate accuracy of the entire converter. It is also the comparator drift which has the greatest influence on the repeatability of the device. A chopper-stabilized comparator provides the most effective method of satisfying all the converter requirements.

The chopper-stabilized comparator converts the DC input signal into an AC signal. This signal is then fed through a high gain AC amplifier and has the DC level restored. This technique limits the drift component of the amplifier since the drift is a DC component which is not passed by the AC amplifier. This makes the entire A/D converter extremely insensitive to temperature, long term drift and input offset errors.

Figure 4 shows a typical error curve for the ADC0808 as measured using the procedures outlined in AN-179.

Functional Description (Continued)

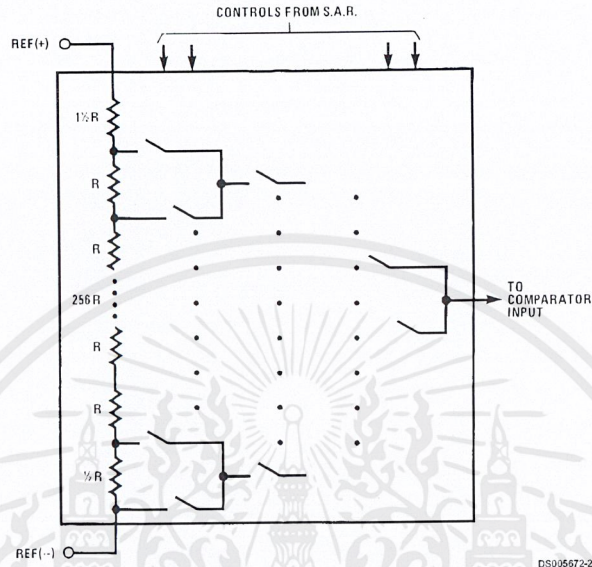


FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

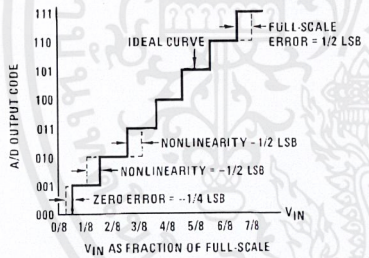


FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve

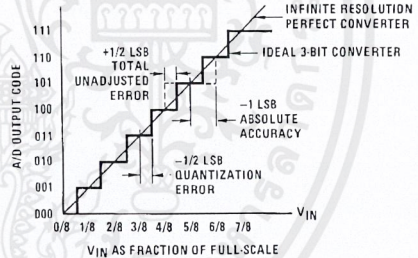


FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve

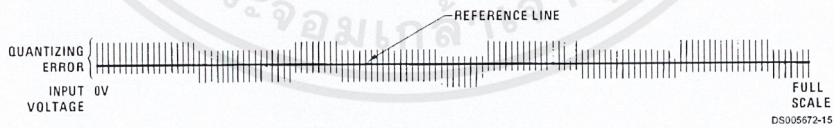


FIGURE 4. Typical Error Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timing Diagram

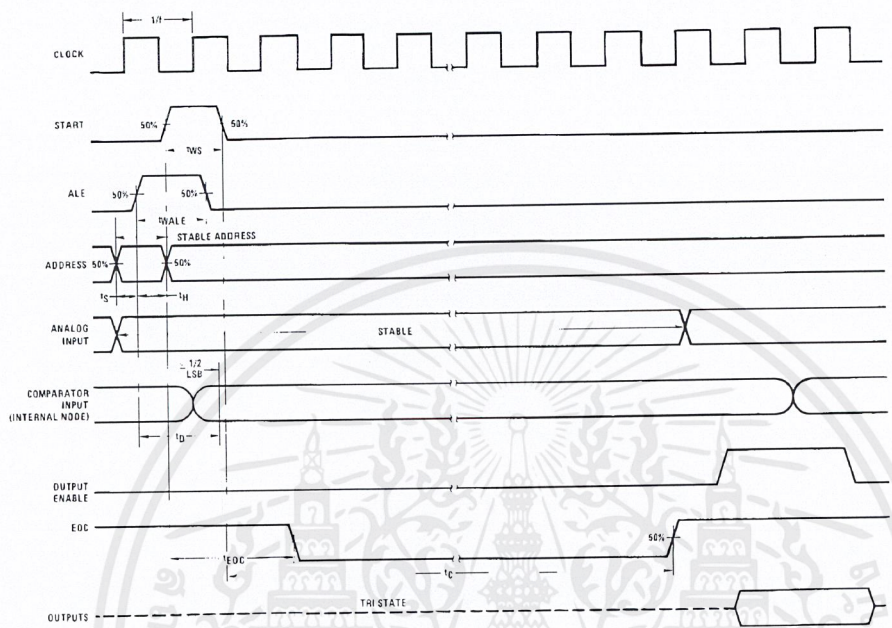


FIGURE 5.

DS005672-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

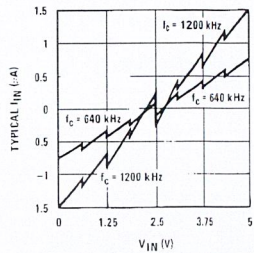


FIGURE 6. Comparator I_{IN} vs V_{IN} ($V_{CC}=V_{REF}=5V$)

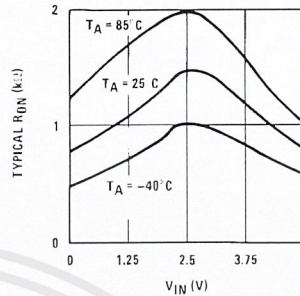


FIGURE 7. Multiplexer R_{ON} vs V_{IN} ($V_{CC}=V_{REF}=5V$)

TRI-STATE Test Circuits and Timing Diagrams

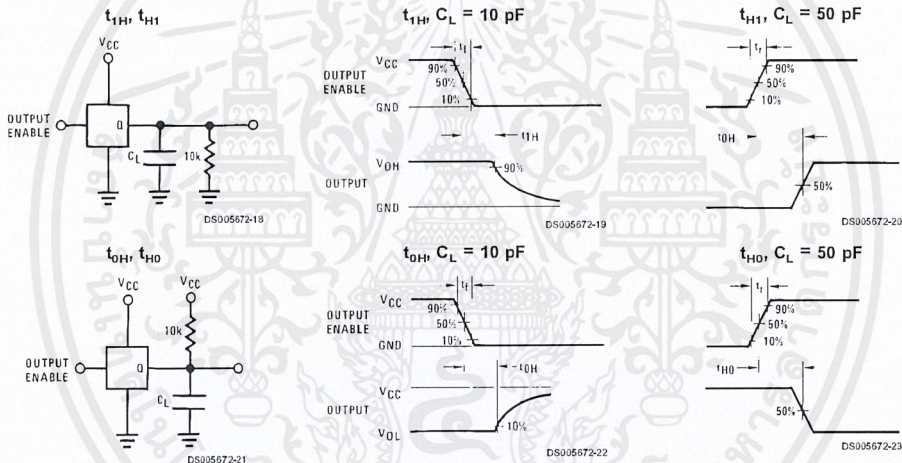


FIGURE 8.

Applications Information

OPERATION

1.0 RATIOMETRIC CONVERSION

The ADC0808, ADC0809 is designed as a complete Data Acquisition System (DAS) for ratiometric conversion systems. In ratiometric systems, the physical variable being measured is expressed as a percentage of full-scale which is not necessarily related to an absolute standard. The voltage input to the ADC0808 is expressed by the equation

$$\frac{V_{IN}}{V_{FS}-V_Z} = \frac{D_X}{D_{MAX}-D_{MIN}} \quad (1)$$

V_{IN} =Input voltage into the ADC0808

V_{FS} =Full-scale voltage

V_Z =Zero voltage

D_X =Data point being measured

D_{MAX} =Maximum data limit

D_{MIN} =Minimum data limit

A good example of a ratiometric transducer is a potentiometer used as a position sensor. The position of the wiper is directly proportional to the output voltage which is a ratio of the full-scale voltage across it. Since the data is represented as a proportion of full-scale, reference requirements are greatly reduced, eliminating a large source of error and cost for many applications. A major advantage of the ADC0808, ADC0809 is that the input voltage range is equal to the supply range so the transducers can be connected directly across the supply and their outputs connected directly into the multiplexer inputs, (Figure 9).

Ratiometric transducers such as potentiometers, strain gauges, thermistor bridges, pressure transducers, etc., are suitable for measuring proportional relationships; however, many types of measurements must be referred to an absolute standard such as voltage or current. This means a sys-

Applications Information (Continued)

tem reference must be used which relates the full-scale voltage to the standard volt. For example, if $V_{CC}=V_{REF}=5.12V$, then the full-scale range is divided into 256 standard steps. The smallest standard step is 1 LSB which is then 20 mV.

2.0 RESISTOR LADDER LIMITATIONS

The voltages from the resistor ladder are compared to the selected into 8 times in a conversion. These voltages are coupled to the comparator via an analog switch tree which is referenced to the supply. The voltages at the top, center and bottom of the ladder must be controlled to maintain proper operation.

The top of the ladder, Ref(+), should not be more positive than the supply, and the bottom of the ladder, Ref(-), should not be more negative than ground. The center of the ladder voltage must also be near the center of the supply because the analog switch tree changes from N-channel switches to P-channel switches. These limitations are automatically satisfied in ratiometric systems and can be easily met in ground referenced systems.

Figure 10 shows a ground referenced system with a separate supply and reference. In this system, the supply must be trimmed to match the reference voltage. For instance, if a 5.12V is used, the supply should be adjusted to the same voltage within 0.1V.

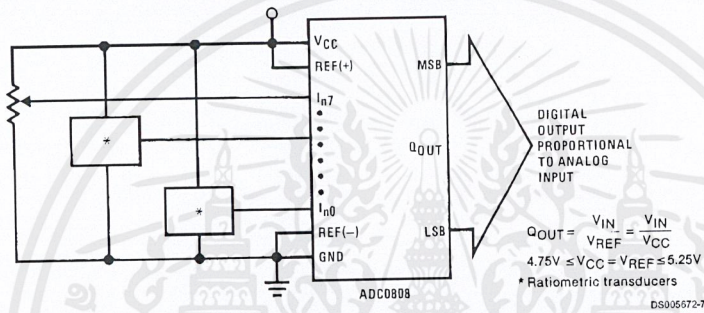
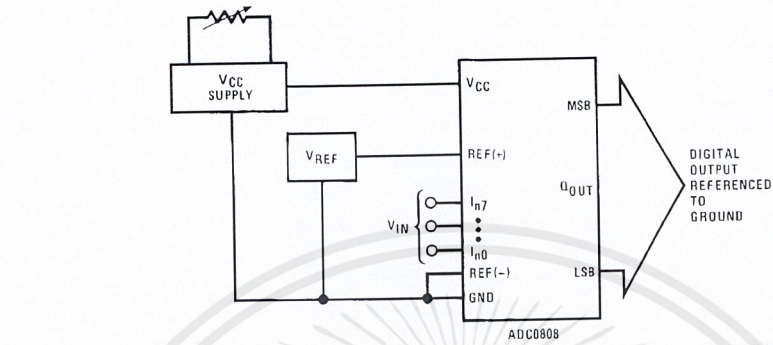


FIGURE 9. Ratiometric Conversion System

The ADC0808 needs less than a milliamp of supply current so developing the supply from the reference is readily accomplished. In Figure 11 a ground referenced system is shown which generates the supply from the reference. The buffer shown can be an op amp of sufficient drive to supply the milliamp of supply current and the desired bus drive, or if a capacitive bus is driven by the outputs a large capacitor will supply the transient supply current as seen in Figure 12. The LM301 is overcompensated to insure stability when loaded by the 10 μF output capacitor.

The top and bottom ladder voltages cannot exceed V_{CC} and ground, respectively, but they can be symmetrically less than V_{CC} and greater than ground. The center of the ladder voltage should always be near the center of the supply. The sensitivity of the converter can be increased, (i.e., size of the LSB steps decreased) by using a symmetrical reference system. In Figure 13, a 2.5V reference is symmetrically centered about $V_{CC}/2$ since the same current flows in identical resistors. This system with a 2.5V reference allows the LSB bit to be half the size of a 5V reference system.

Applications Information (Continued)

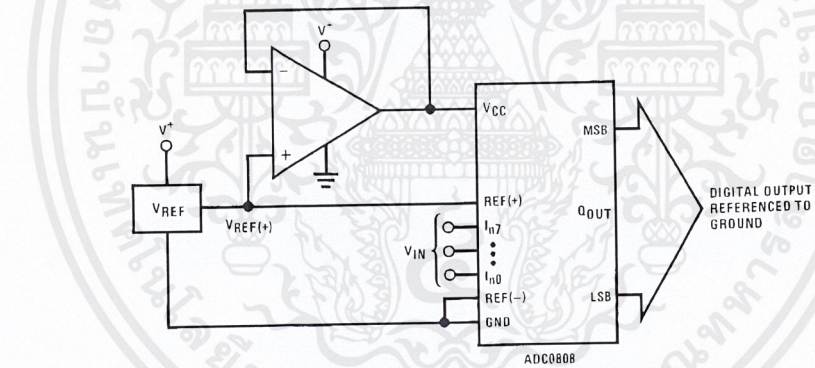


DS005672-24

$$Q_{OUT} = \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$

$$4.75V \cdot V_{CC} - V_{REF} = 5.25V$$

FIGURE 10. Ground Referenced Conversion System Using Trimmed Supply



DS005672-25

$$Q_{OUT} = \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$

$$4.75V \cdot V_{CC} - V_{REF} = 5.25V$$

FIGURE 11. Ground Referenced Conversion System with Reference Generating V_{CC} Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

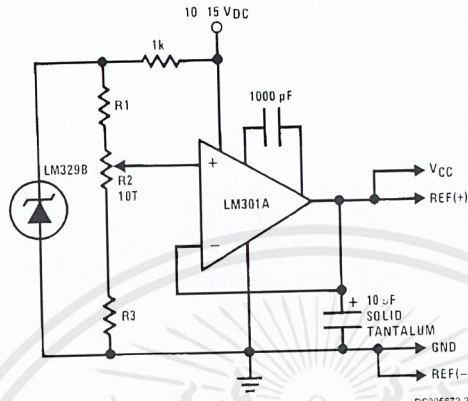


FIGURE 12. Typical Reference and Supply Circuit

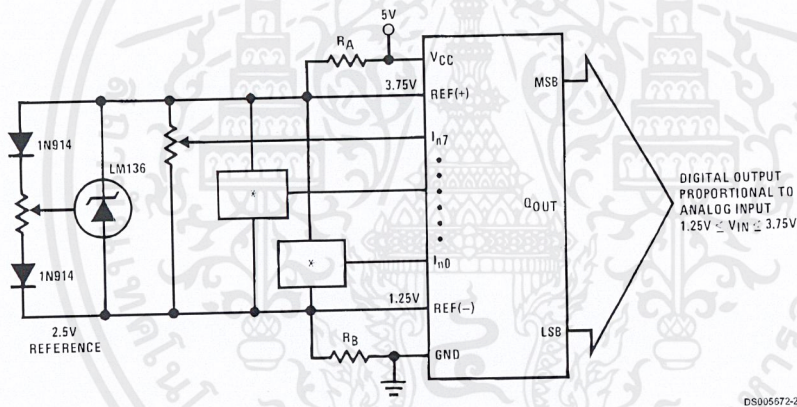


FIGURE 13. Symmetrically Centered Reference

$R_A = R_B$
 *Ratiometric transducers

3.0 CONVERTER EQUATIONS

The transition between adjacent codes N and N+1 is given by:

$$V_{IN} = \left\{ (V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[\frac{N}{256} + \frac{1}{512} \right] \pm V_{TUE} \right\} + V_{REF(-)} \quad (2)$$

The center of an output code N is given by:

$$V_{IN} \left\{ (V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[\frac{N}{256} \right] \pm V_{TUE} \right\} - V_{REF(-)} \quad (3)$$

The output code N for an arbitrary input are the integers within the range:

$$N = \frac{V_{IN} - V_{REF(-)}}{V_{REF(+)} - V_{REF(-)}} \cdot 256 - \text{Absolute Accuracy} \quad (4)$$

Where: V_{IN} = Voltage at comparator input
 $V_{REF(+)}$ = Voltage at Ref(+)
 $V_{REF(-)}$ = Voltage at Ref(-)
 V_{TUE} = Total unadjusted error voltage (typically $V_{REF(+)} \pm 512$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

4.0 ANALOG COMPARATOR INPUTS

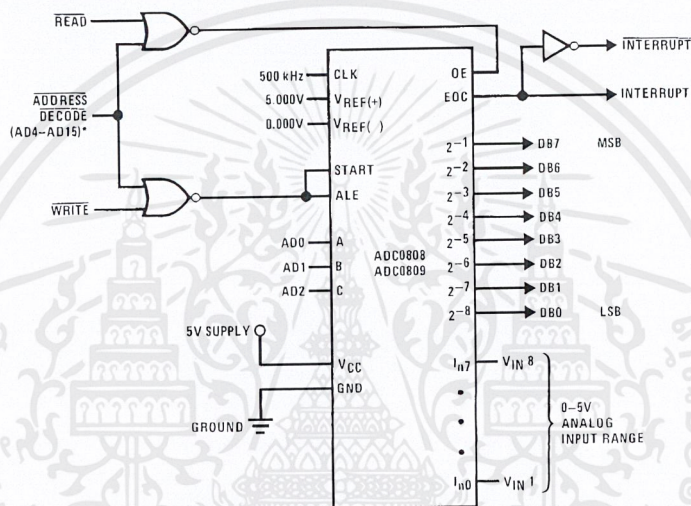
The dynamic comparator input current is caused by the periodic switching of on-chip stray capacitances. These are connected alternately to the output of the resistor ladder/switch tree network and to the comparator input as part of the operation of the chopper stabilized comparator.

The average value of the comparator input current varies directly with clock frequency and with V_{IN} as shown in Figure 6.

If no filter capacitors are used at the analog inputs and the signal source impedances are low, the comparator input current should not introduce converter errors, as the transient created by the capacitance discharge will die out before the comparator output is strobed.

If input filter capacitors are desired for noise reduction and signal conditioning they will tend to average out the dynamic comparator input current. It will then take on the characteristics of a DC bias current whose effect can be predicted conventionally.

Typical Application



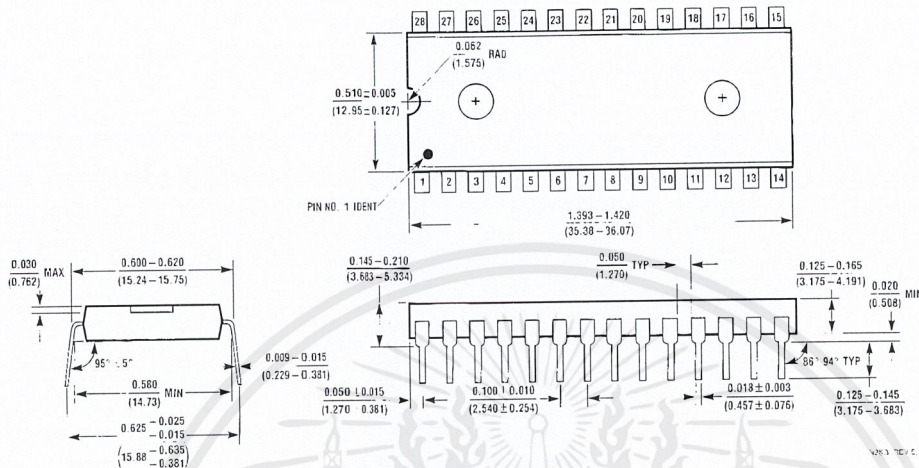
*Address latches needed for 8085 and SC/MP interfacing the ADC0808 to a microprocessor

TABLE 2. Microprocessor Interface Table

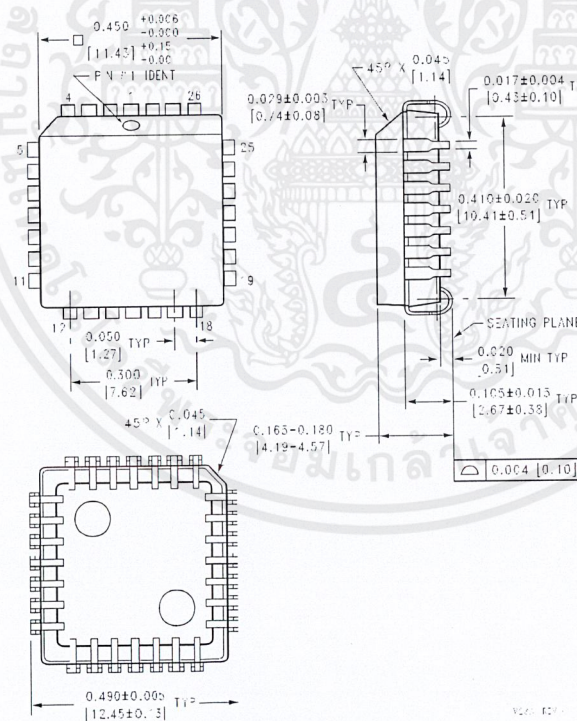
PROCESSOR	READ	WRITE	INTERRUPT (COMMENT)
8080	\overline{MEMR}	\overline{MEMW}	INTR (Thru RST Circuit)
8085	\overline{RD}	\overline{WR}	INTR (Thru RST Circuit)
Z-80	\overline{RD}	\overline{WR}	\overline{INT} (Thru RST Circuit, Mode 0)
SC/MP	NRDS	NWDS	SA (Thru Sense A)
6800	$VMA \cdot \phi 2 \cdot R/W$	$VMA \cdot \phi \cdot \overline{R/W}$	\overline{IRQA} or \overline{IRQB} (Thru PIA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
NS Package Number N28B



Molded Chip Carrier (V)
Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
NS Package Number V28A


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

 National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com

www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 1 80-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 85
English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32
Français Tel: +49 (0) 1 80-532 93 58
Italiano Tel: +49 (0) 1 80-534 16 80

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: sea.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC0808/DAC0807/DAC0806 8-Bit D/A Converters

General Description

The DAC0808 series is an 8-bit monolithic digital-to-analog converter (DAC) featuring a full scale output current settling time of 150 ns while dissipating only 33 mW with $\pm 5V$ supplies. No reference current (I_{REF}) trimming is required for most applications since the full scale output current is typically ± 1 LSB of $255 I_{REF} / 256$. Relative accuracies of better than $\pm 0.19\%$ assure 8-bit monotonicity and linearity while zero level output current of less than $4 \mu A$ provides 8-bit zero accuracy for $I_{REF} \geq 2$ mA. The power supply currents of the DAC0808 series are independent of bit codes, and exhibits essentially constant device characteristics over the entire supply voltage range.

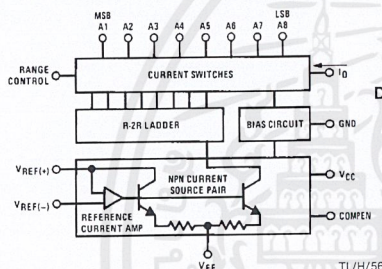
The DAC0808 will interface directly with popular TTL, DTL or CMOS logic levels, and is a direct replacement for the

MC1508/MC1408. For higher speed applications, see DAC0800 data sheet.

Features

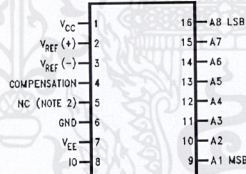
- Relative accuracy: $\pm 0.19\%$ error maximum (DAC0808)
- Full scale current match: ± 1 LSB typ
- 7 and 6-bit accuracy available (DAC0807, DAC0806)
- Fast settling time: 150 ns typ
- Noninverting digital inputs are TTL and CMOS compatible
- High speed multiplying input slew rate: $8 \text{ mA}/\mu\text{s}$
- Power supply voltage range: $\pm 4.5V$ to $\pm 18V$
- Low power consumption: 33 mW @ $\pm 5V$

Block and Connection Diagrams



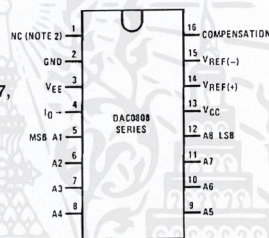
TL/H/5687-1

Small-Outline Package



Top View

Dual-In-Line Package



TL/H/5687-2

Order Number
DAC0808, DAC0807,
or DAC0806
See NS Package
Number J16A,
M16A or N16A

Ordering Information

ACCURACY	OPERATING TEMPERATURE RANGE	ORDER NUMBERS				
		J PACKAGE (J16A)*		N PACKAGE (N16A)*		SO PACKAGE (M16A)
7-bit	0°C ≤ T _A ≤ +75°C	DAC0807LCJ	MC1408L7	DAC0808LCN	MC1408P8	DAC0808LCM
6-bit	0°C ≤ T _A ≤ +75°C	DAC0806LCJ	MC1408L6	DAC0807LCN	MC1408P7	DAC0807LCM
				DAC0806LCN	MC1408P6	DAC0806LCM

*Note. Devices may be ordered by using either order number.

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Power Supply Voltage		+18 V _{DC}
V _{CC}		+18 V _{DC}
V _{EE}		-18 V _{DC}
Digital Input Voltage, V ₅ -V ₁₂		-10 V _{DC} to +18 V _{DC}
Applied Output Voltage, V _O		-11 V _{DC} to +18 V _{DC}
Reference Current, I ₁₄		5 mA
Reference Amplifier Inputs, V ₁₄ , V ₁₅		V _{CC} , V _{EE}
Power Dissipation (Note 3)		1000 mW
ESD Susceptibility (Note 4)		TBD

Storage Temperature Range		-65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)		260°C
Dual-In-Line Package (Plastic)		300°C
Dual-In-Line Package (Ceramic)		300°C
Surface Mount Package		215°C
Vapor Phase (60 seconds)		220°C
Infrared (15 seconds)		220°C

Operating Ratings

Temperature Range		T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}
DAC0808LC Series		0 ≤ T _A ≤ +75°C

Electrical Characteristics

(V_{CC} = 5V, V_{EE} = -15 V_{DC}, V_{REF}/R₁₄ = 2 mA, DAC0808: T_A = -55°C to +125°C, DAC0808C, DAC0807C, DAC0806C, T_A = 0°C to +75°C, and all digital inputs at high logic level unless otherwise noted.)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
E _r	Relative Accuracy (Error Relative to Full Scale I _O)	(Figure 4)				%
	DAC0808LC (LM1408-8)				±0.19	%
	DAC0807LC (LM1408-7), (Note 5)				±0.39	%
	DAC0806LC (LM1408-6), (Note 5)				±0.78	%
	Settling Time to Within 1/2 LSB (Includes t _{PLH})	T _A = 25°C (Note 6), (Figure 5)		150		ns
t _{PLH} , t _{PHL}	Propagation Delay Time	T _A = 25°C, (Figure 5)		30	100	ns
T _{ClO}	Output Full Scale Current Drift			±20		ppm/°C
MSB	Digital Input Logic Levels	(Figure 3)				
V _{IH}	High Level, Logic "1"		2			V _{DC}
V _{IL}	Low Level, Logic "0"				0.8	V _{DC}
MSB	Digital Input Current	(Figure 3)				
	High Level	V _{IH} = 5V		0	0.040	mA
	Low Level	V _{IL} = 0.8V		-0.003	-0.8	mA
I ₁₅	Reference Input Bias Current	(Figure 3)				μA
	Output Current Range	(Figure 3)				
	V _{EE} = -5V		0	2.0	2.1	mA
	V _{EE} = -15V, T _A = 25°C		0	2.0	4.2	mA
I _O	Output Current	V _{REF} = 2.000V, R ₁₄ = 1000Ω, (Figure 3)	1.9	1.99	2.1	mA
	Output Current, All Bits Low	(Figure 3)		0	4	μA
	Output Voltage Compliance (Note 2)	E _r ≤ 0.19%, T _A = 25°C				
	V _{EE} = -5V, I _{REF} = 1 mA				-0.55, +0.4	V _{DC}
	V _{EE} Below -10V				-5.0, +0.4	V _{DC}

Electrical Characteristics (Continued)

($V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V_{DC}$, $V_{REF}/R14 = 2\text{ mA}$, DAC0808: $T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$, DAC0808C, DAC0807C, DAC0806C, $T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+75^\circ\text{C}$, and all digital inputs at high logic level unless otherwise noted.)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$SR _{REF}$	Reference Current Slew Rate	(Figure 6)	4	8		$\text{mA}/\mu\text{s}$
	Output Current Power Supply Sensitivity	$-5V \leq V_{EE} \leq -16.5V$		0.05	2.7	$\mu\text{A}/V$
I_{CC} I_{EE}	Power Supply Current (All Bits Low)	(Figure 3)		2.3 -4.3	22 -13	 mA mA
V_{CC} V_{EE}	Power Supply Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$, (Figure 3)	4.5 -4.5	5.0 -15	5.5 -16.5	V_{DC} V_{DC}
	Power Dissipation All Bits Low	$V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -5V$		33	170	mW
	All Bits High	$V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V$		106	305	mW
		$V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -5V$		90		mW
		$V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -15V$		160		mW

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: Range control is not required.

Note 3: The maximum power dissipation must be derated at elevated temperatures and is dictated by T_{JMAX} , θ_{JA} , and the ambient temperature, T_A . The maximum allowable power dissipation at any temperature is $P_D = (T_{JMAX} - T_A)/\theta_{JA}$ or the number given in the Absolute Maximum Ratings, whichever is lower. For this device, $T_{JMAX} = 125^\circ\text{C}$, and the typical junction-to-ambient thermal resistance of the dual-in-line J package when the board mounted is $100^\circ\text{C}/\text{W}$. For the dual-in-line N package, this number increases to $175^\circ\text{C}/\text{W}$ and for the small outline M package this number is $100^\circ\text{C}/\text{W}$.

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

Note 5: All current switches are tested to guarantee at least 50% of rated current.

Note 6: All bits switched.

Note 7: Pin-out numbers for the DAL080X represent the dual-in-line package. The small outline package pinout differs from the dual-in-line package.

Typical Application

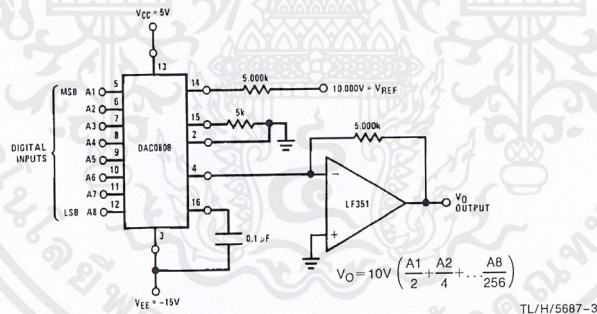


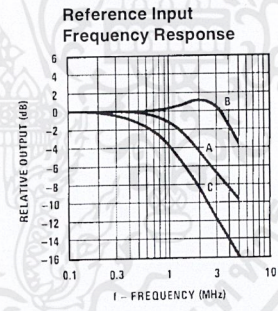
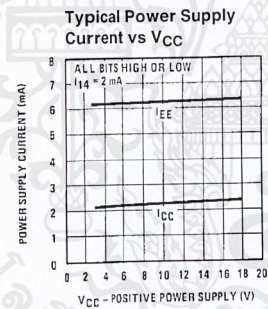
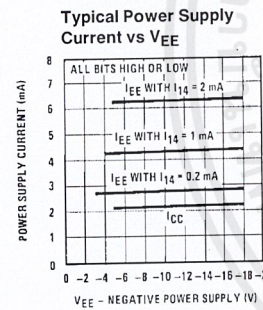
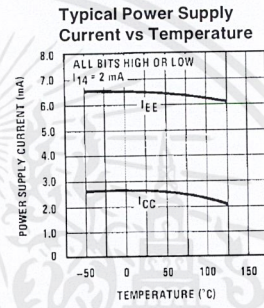
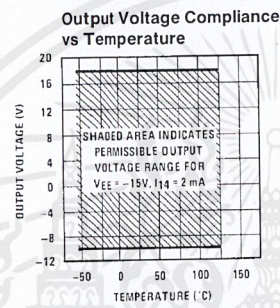
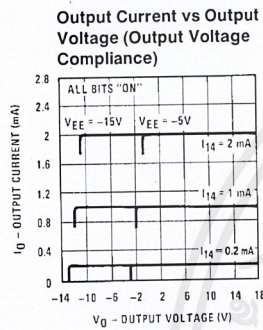
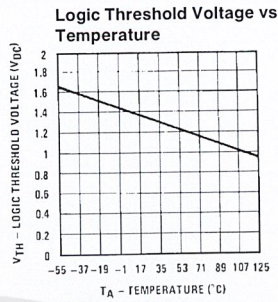
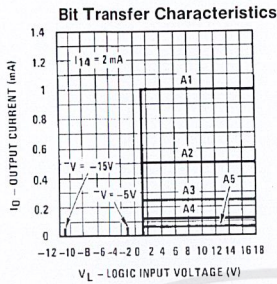
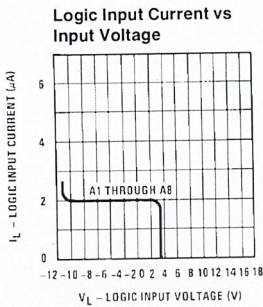
FIGURE 1. +10V Output Digital to Analog Converter (Note 7)

TL/H/5687-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

$V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise noted



TL/H/5687-5

Unless otherwise specified: $R_{14} = R_{15} = 1 k\Omega$, $C = 15 pF$, pin 16 to V_{EE} ; $R_L = 50\Omega$, pin 4 to ground.

Curve A: Large Signal Bandwidth Method of Figure 7, $V_{REF} = 2 V_{p-p}$ offset 1 V above ground.

Curve B: Small Signal Bandwidth Method of Figure 7, $R_L = 250\Omega$, $V_{REF} = 50 mV_{p-p}$ offset 200 mV above ground.

Curve C: Large and Small Signal Bandwidth Method of Figure 9 (no op amp, $R_L = 50\Omega$), $R_S = 50\Omega$, $V_{REF} = 2V$, $V_S = 100 mV_{p-p}$ centered at 0V.

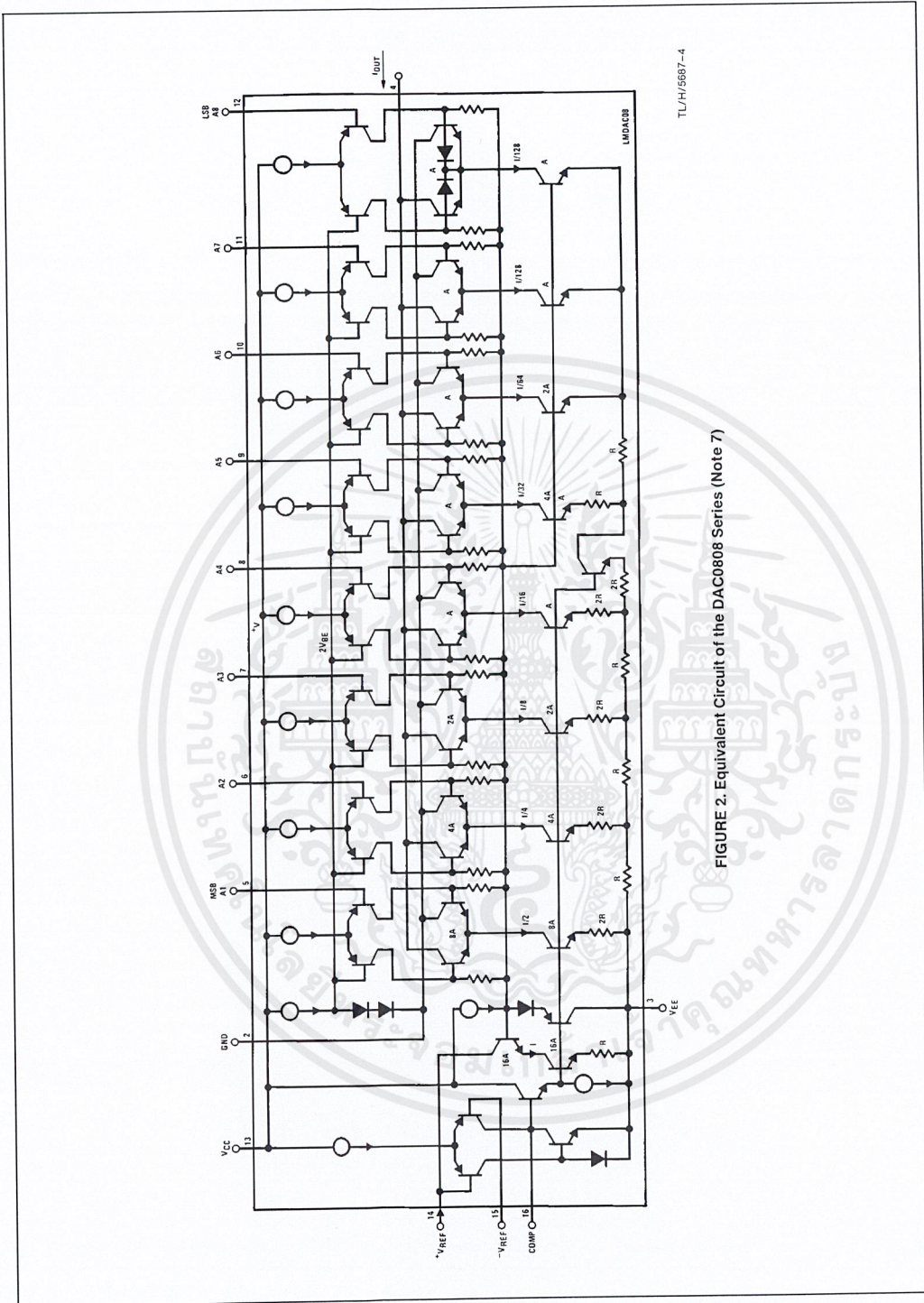
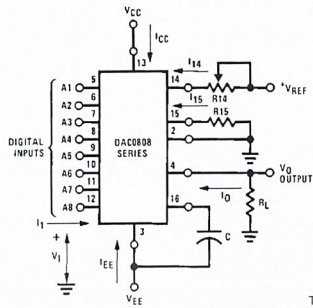


FIGURE 2. Equivalent Circuit of the DAC0808 Series (Note 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test Circuits



V_I and I_1 apply to inputs A1–A8.

The resistor tied to pin 15 is to temperature compensate the bias current and may not be necessary for all applications.

$$I_O = K \left(\frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} + \frac{A_4}{16} + \frac{A_5}{32} + \frac{A_6}{64} + \frac{A_7}{128} + \frac{A_8}{256} \right)$$

where $K \cong \frac{V_{REF}}{R_{14}}$

and $A_N = "1"$ if A_N is at high level

$A_N = "0"$ if A_N is at low level

TL/H/5687-6
FIGURE 3. Notation Definitions Test Circuit (Note 7)

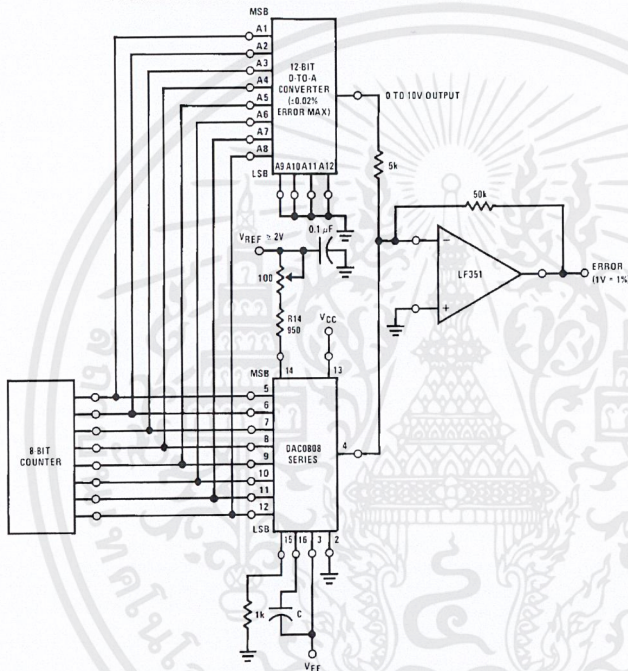


FIGURE 4. Relative Accuracy Test Circuit (Note 7)

TL/H/5687-7

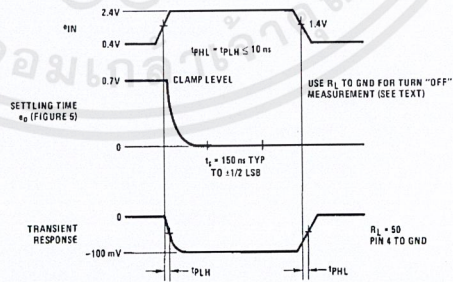
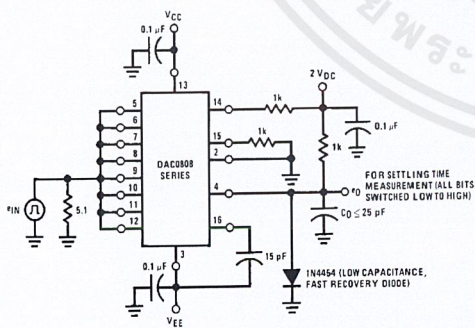


FIGURE 5. Transient Response and Settling Time (Note 7)

TL/H/5687-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test Circuits (Continued)

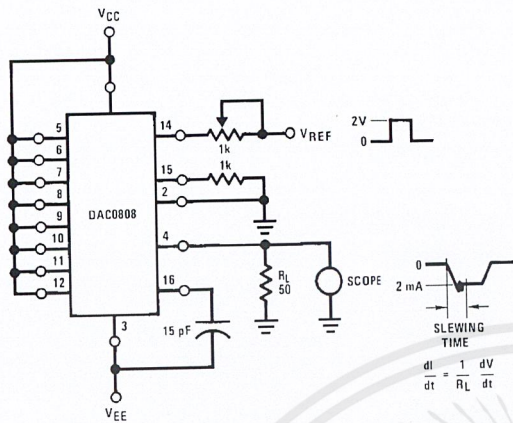


FIGURE 6. Reference Current Slew Rate Measurement (Note 7)

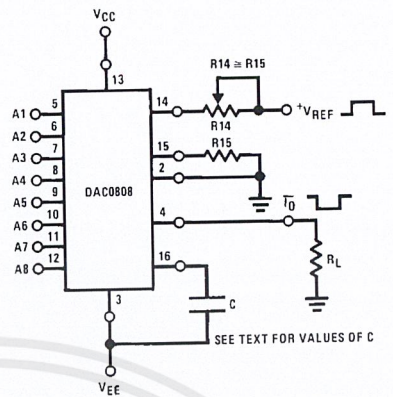


FIGURE 7. Positive VREF (Note 7)

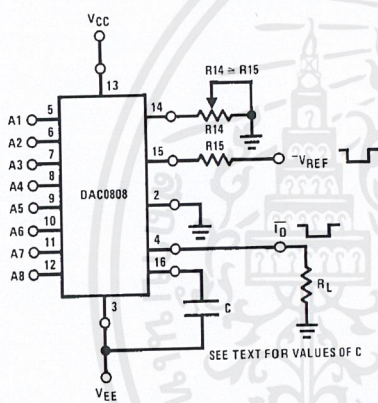


FIGURE 8. Negative VREF (Note 7)

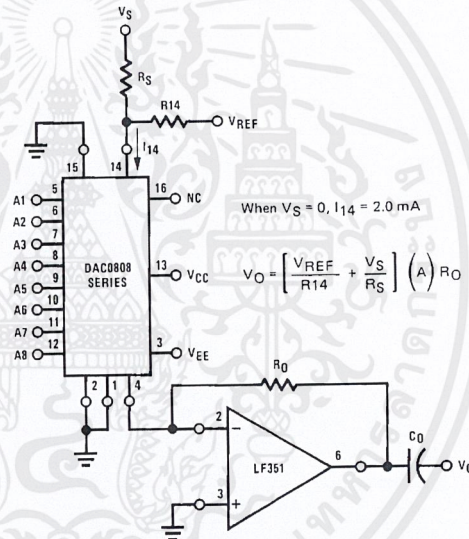


FIGURE 9. Programmable Gain Amplifier or Digital Attenuator Circuit (Note 7)

Application Hints

REFERENCE AMPLIFIER DRIVE AND COMPENSATION

The reference amplifier provides a voltage at pin 14 for converting the reference voltage to a current, and a turn-around circuit or current mirror for feeding the ladder. The reference amplifier input current, I_{14} , must always flow into pin 14, regardless of the set-up method or reference voltage polarity. Connections for a positive voltage are shown in Figure 7. The reference voltage source supplies the full current I_{14} . For bipolar reference signals, as in the multiplying mode,

R_{15} can be tied to a negative voltage corresponding to the minimum input level. It is possible to eliminate R_{15} with only a small sacrifice in accuracy and temperature drift.

The compensation capacitor value must be increased with increases in R_{14} to maintain proper phase margin; for R_{14} values of 1, 2.5 and 5 k Ω , minimum capacitor values are 15, 37 and 75 pF. The capacitor may be tied to either V_{EE} or ground, but using V_{EE} increases negative supply rejection.

Application Hints (Continued)

A negative reference voltage may be used if R14 is grounded and the reference voltage is applied to R15 as shown in *Figure 8*. A high input impedance is the main advantage of this method. Compensation involves a capacitor to V_{EE} on pin 16, using the values of the previous paragraph. The negative reference voltage must be at least 4V above the V_{EE} supply. Bipolar input signals may be handled by connecting R14 to a positive reference voltage equal to the peak positive input level at pin 15.

When a DC reference voltage is used, capacitive bypass to ground is recommended. The 5V logic supply is not recommended as a reference voltage. If a well regulated 5V supply which drives logic is to be used as the reference, R14 should be decoupled by connecting it to 5V through another resistor and bypassing the junction of the 2 resistors with 0.1 μF to ground. For reference voltages greater than 5V, a clamp diode is recommended between pin 14 and ground. If pin 14 is driven by a high impedance such as a transistor current source, none of the above compensation methods apply and the amplifier must be heavily compensated, decreasing the overall bandwidth.

OUTPUT VOLTAGE RANGE

The voltage on pin 4 is restricted to a range of -0.55 to 0.4V when $V_{EE} = -5\text{V}$ due to the current switching methods employed in the DAC0808.

The negative output voltage compliance of the DAC0808 is extended to -5V where the negative supply voltage is more negative than -10V . Using a full-scale current of 1.992 mA and load resistor of 2.5 k Ω between pin 4 and ground will yield a voltage output of 256 levels between 0 and -4.980V . Floating pin 1 does not affect the converter speed or power dissipation. However, the value of the load resistor determines the switching time due to increased voltage swing. Values of R_L up to 500 Ω do not significantly affect performance, but a 2.5 k Ω load increases worst-case settling time to 1.2 μs (when all bits are switched ON). Refer to the subsequent text section on Settling Time for more details on output loading.

OUTPUT CURRENT RANGE

The output current maximum rating of 4.2 mA may be used only for negative supply voltages more negative than -8V , due to the increased voltage drop across the resistors in the reference current amplifier.

ACCURACY

Absolute accuracy is the measure of each output current level with respect to its intended value, and is dependent upon relative accuracy and full-scale current drift. Relative accuracy is the measure of each output current level as a fraction of the full-scale current. The relative accuracy of the DAC0808 is essentially constant with temperature due to

the excellent temperature tracking of the monolithic resistor ladder. The reference current may drift with temperature, causing a change in the absolute accuracy of output current. However, the DAC0808 has a very low full-scale current drift with temperature.

The DAC0808 series is guaranteed accurate to within $\pm 1/2$ LSB at a full-scale output current of 1.992 mA. This corresponds to a reference amplifier output current drive to the ladder network of 2 mA, with the loss of 1 LSB (8 μA) which is the ladder remainder shunted to ground. The input current to pin 14 has a guaranteed value of between 1.9 and 2.1 mA, allowing some mismatch in the NPN current source pair. The accuracy test circuit is shown in *Figure 4*. The 12-bit converter is calibrated for a full-scale output current of 1.992 mA. This is an optional step since the DAC0808 accuracy is essentially the same between 1.5 and 2.5 mA. Then the DAC0808 circuits' full-scale current is trimmed to the same value with R14 so that a zero value appears at the error amplifier output. The counter is activated and the error band may be displayed on an oscilloscope, detected by comparators, or stored in a peak detector.

Two 8-bit D-to-A converters may not be used to construct a 16-bit accuracy D-to-A converter. 16-bit accuracy implies a total error of $\pm 1/2$ of one part in 65,536 or $\pm 0.00076\%$, which is much more accurate than the $\pm 0.019\%$ specification provided by the DAC0808.

MULTIPLYING ACCURACY

The DAC0808 may be used in the multiplying mode with 8-bit accuracy when the reference current is varied over a range of 256:1. If the reference current in the multiplying mode ranges from 16 μA to 4 mA, the additional error contributions are less than 1.6 μA . This is well within 8-bit accuracy when referred to full-scale.

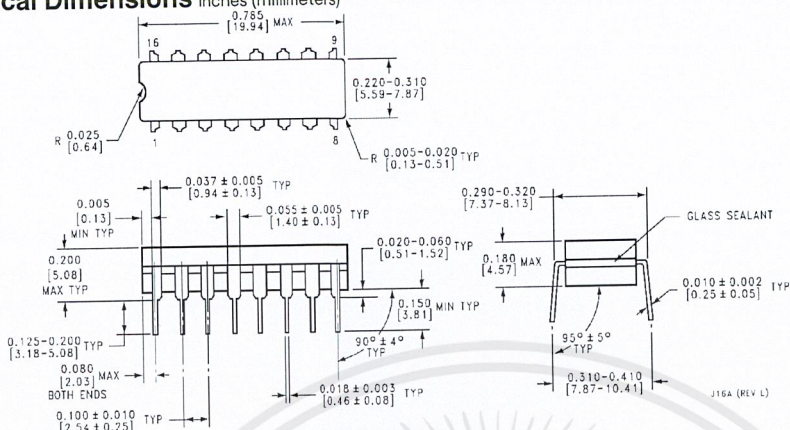
A monotonic converter is one which supplies an increase in current for each increment in the binary word. Typically, the DAC0808 is monotonic for all values of reference current above 0.5 mA. The recommended range for operation with a DC reference current is 0.5 to 4 mA.

SETTLING TIME

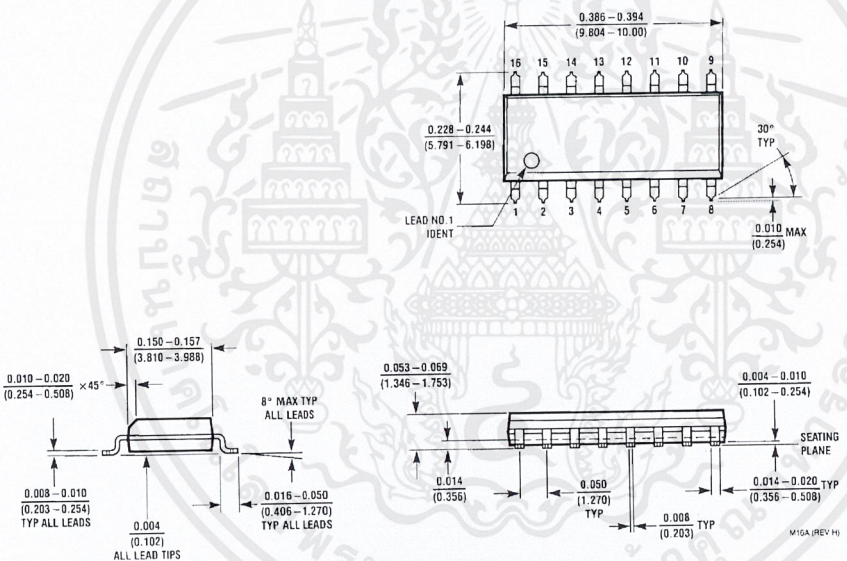
The worst-case switching condition occurs when all bits are switched ON, which corresponds to a low-to-high transition for all bits. This time is typically 150 ns for settling to within $\pm 1/2$ LSB, for 8-bit accuracy, and 100 ns to $1/2$ LSB for 7 and 6-bit accuracy. The turn OFF is typically under 100 ns. These times apply when $R_L \leq 500\Omega$ and $C_O \leq 25\text{pF}$.

Extra care must be taken in board layout since this is usually the dominant factor in satisfactory test results when measuring settling time. Short leads, 100 μF supply bypassing for low frequencies, and minimum scope lead length are all mandatory.

Physical Dimensions inches (millimeters)



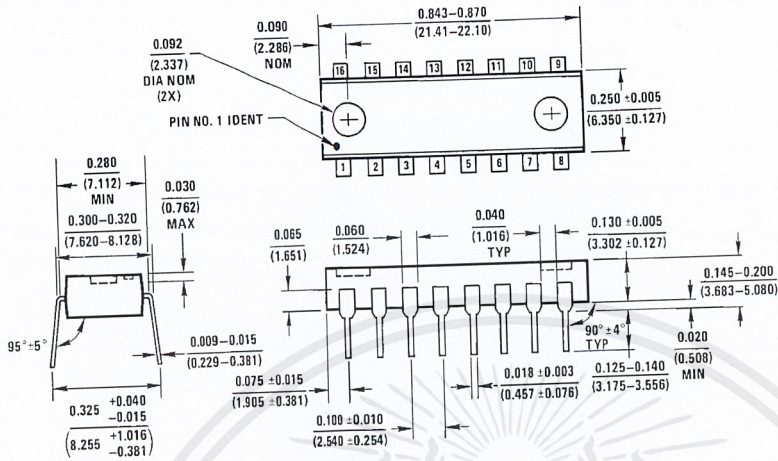
Dual-In-Line Package
 Order Number DAC0807 or DAC0806
 NS Package Number J16A



Small Outline Package
 Order Number DAC0806LCM, DAC0807LCM or DAC0808LCM
 NS Package Number M16A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Dual-In-Line Package
 Order Number DAC0808, DAC0807 or DAC0806
 NS Package Number N16A

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
 1111 West Bardin Road
 Arlington, TX 76017
 Tel: 1(800) 272-9959
 Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
 Fax: (+49) 0-180-530 85 86
 Email: cnjwge@tevm2.nsc.com
 Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
 13th Floor, Straight Block,
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.
 Tsimshatsui, Kowloon
 Hong Kong
 Tel: (852) 2737-1600
 Fax: (852) 2736-9960

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-043-299-2309
 Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

LM113/LM313 Reference Diode

General Description

The LM113/LM313 are temperature compensated, low voltage reference diodes. They feature extremely-tight regulation over a wide range of operating currents in addition to an unusually-low breakdown voltage and good temperature stability.

The diodes are synthesized using transistors and resistors in a monolithic integrated circuit. As such, they have the same low noise and long term stability as modern IC op amps. Further, output voltage of the reference depends only on highly-predictable properties of components in the IC; so they can be manufactured and supplied to tight tolerances.

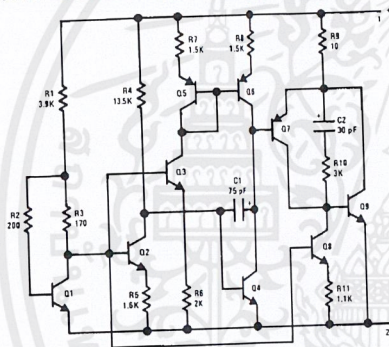
- Dynamic impedance of 0.3Ω from $500\ \mu\text{A}$ to $20\ \text{mA}$
- Temperature stability typically 1% over -55°C to 125°C range (LM113), 0°C to 70°C (LM313)
- Tight tolerance: $\pm 5\%$, $\pm 2\%$ or $\pm 1\%$

The characteristics of this reference recommend it for use in bias-regulation circuitry, in low-voltage power supplies or in battery powered equipment. The fact that the breakdown voltage is equal to a physical property of silicon—the energy-band gap voltage—makes it useful for many temperature-compensation and temperature-measurement functions.

Features

- Low breakdown voltage: 1.220V

Schematic and Connection Diagrams



Metal Can Package



Note: Pin 2 connected to case.
TOP VIEW

Order Number

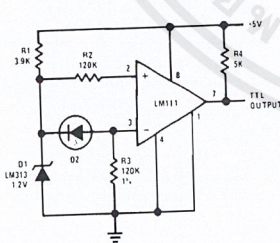
LM113H, LM113H/883,
LM113-1H, LM113-1H/883,
LM113-2H, LM113-2H/883,
or LM313H

See NS Package Number H02A

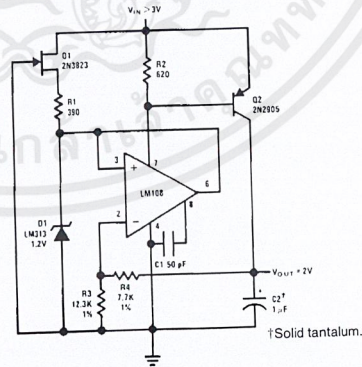
TL/H/5713-1

Typical Applications

Level Detector for Photodiode



Low Voltage Regulator



TL/H/5713-2

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 3)

Power Dissipation (Note 1)	100 mW
Reverse Current	50 mA
Forward Current	50 mA

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
LM113	0°C to +70°C
LM313	

Electrical Characteristics (Note 2)

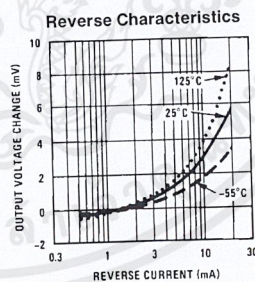
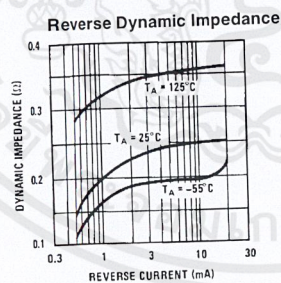
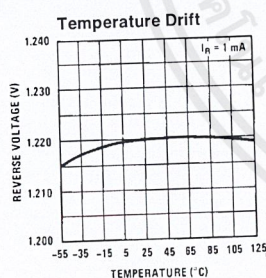
Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Reverse Breakdown Voltage LM113/LM313 LM113-1 LM113-2	$I_R = 1 \text{ mA}$	1.160	1.220	1.280	V
		1.210	1.22	1.232	V
		1.195	1.22	1.245	V
Reverse Breakdown Voltage Change	$0.5 \text{ mA} \leq I_R \leq 20 \text{ mA}$		6.0	15	mV
Reverse Dynamic Impedance	$I_R = 1 \text{ mA}$ $I_R = 10 \text{ mA}$		0.2	1.0	Ω
			0.25	0.8	Ω
Forward Voltage Drop	$I_F = 1.0 \text{ mA}$		0.67	1.0	V
RMS Noise Voltage	$10 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ kHz}$ $I_R = 1 \text{ mA}$		5		μV
Reverse Breakdown Voltage Change with Current	$0.5 \text{ mA} \leq I_R \leq 10 \text{ mA}$ $T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$			15	mV
Breakdown Voltage Temperature Coefficient	$1.0 \text{ mA} \leq I_R \leq 10 \text{ mA}$ $T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$		0.01		%/°C

Note 1: For operating at elevated temperatures, the device must be derated based on a 150°C maximum junction and a thermal resistance of 80°C/W junction to case or 440°C/W junction to ambient.

Note 2: These specifications apply for $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless stated otherwise. At high currents, breakdown voltage should be measured with lead lengths less than 1/4 inch. Kelvin contact sockets are also recommended. The diode should not be operated with shunt capacitances between 200 pF and 0.1 μF , unless isolated by at least a 100 Ω resistor, as it may oscillate at some currents.

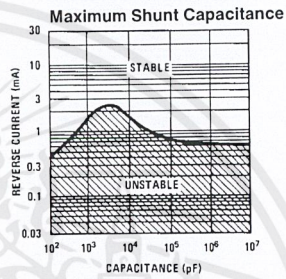
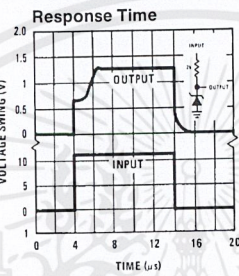
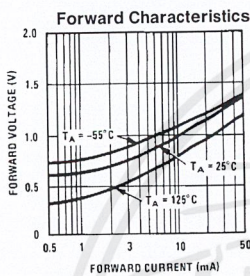
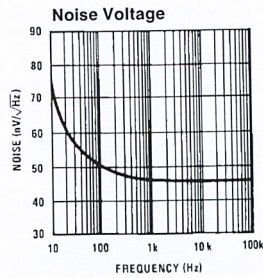
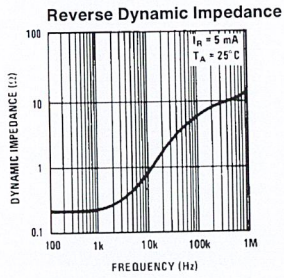
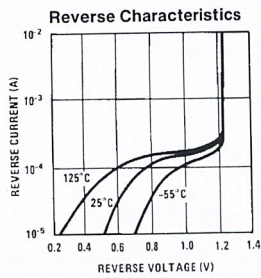
Note 3: Refer to the following RETS drawings for military specifications: RETS113-1X for LM113-1, RETS113-2X for LM113-2 or RETS113X for LM113.

Typical Performance Characteristics



TL/H/5713-3

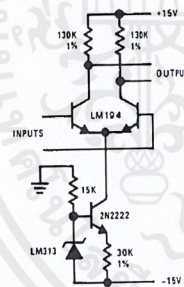
Typical Performance Characteristics (Continued)



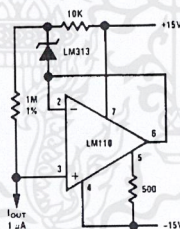
TL/H/5713-4

Typical Applications (Continued)

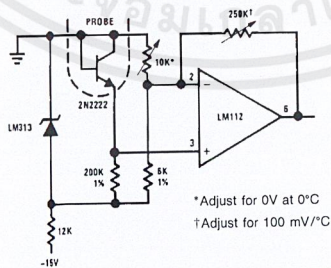
Amplifier Biasing for Constant Gain with Temperature



Constant Current Source



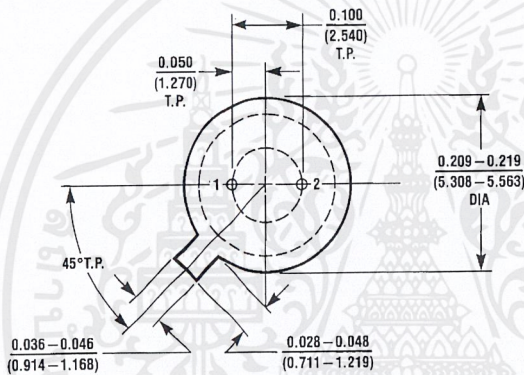
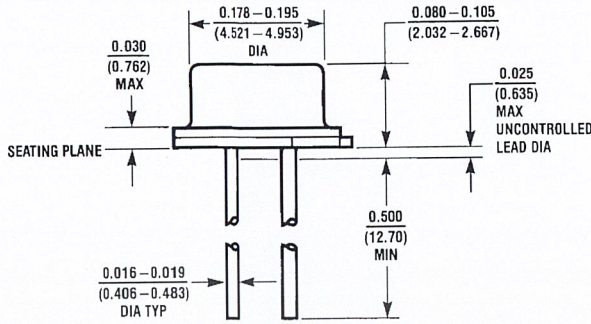
Thermometer



TL/H/5713-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters)



H02A (REV C)

Order Number LM113H, LM113H/883, LM113-1H, LM113-1H/883,
LM113-2H, LM113-2H/883 or LM313H
NS Package Number H02A

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
1111 West Bardin Road
Arlington, TX 76017
Tel: 1(800) 272-9959
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-530 85 86
Email: cnjwge@tevm2.nsc.com
Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd.
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1600
Fax: (852) 2736-9960

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2309
Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM117/LM317A/LM317

3-Terminal Adjustable Regulator

General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential volt-

age, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

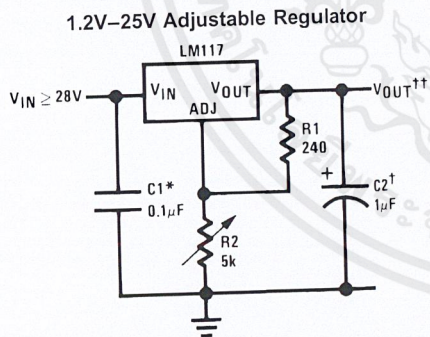
For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

Features

- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- P* Product Enhancement tested
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

Typical Applications



00906301

Full output current not available at high input-output voltages

*Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.

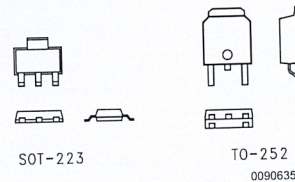
†Optional — improves transient response. Output capacitors in the range of 1 μF to 1000 μF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$\dagger\dagger V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ}(R2)$$

LM117 Series Packages

Part Number Suffix	Package	Design Load Current
K	TO-3	1.5A
H	TO-39	0.5A
T	TO-220	1.5A
E	LCC	0.5A
S	TO-263	1.5A
EMP	SOT-223	1A
MDT	TO-252	0.5A

SOT-223 vs D-Pak (TO-252) Packages



Scale 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Power Dissipation	Internally Limited
Input-Output Voltage Differential	+40V, -0.3V
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature	
Metal Package (Soldering, 10 seconds)	300°C
Plastic Package (Soldering, 4 seconds)	260°C

ESD Tolerance (Note 5)

3 kV

Operating Temperature Range

LM117	-55°C ≤ T _J ≤ +150°C
LM317A	-40°C ≤ T _J ≤ +125°C
LM317	0°C ≤ T _J ≤ +125°C

Preconditioning

Thermal Limit Burn-In

All Devices 100%

Electrical Characteristics (Note 3)

Specifications with standard type face are for T_J = 25°C, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, V_{IN} - V_{OUT} = 5V, and I_{OUT} = 10 mA.

Parameter	Conditions	LM117 (Note 2)			Units	
		Min	Typ	Max		
Reference Voltage					V	
	3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V, 10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} , P ≤ P _{MAX}	1.20	1.25	1.30	V	
Line Regulation	3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V (Note 4)		0.01	0.02	%/V	
			0.02	0.05	%/V	
Load Regulation	10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} (Note 4)		0.1	0.3	%	
			0.3	1	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.03	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			50	100	μA	
Adjustment Pin Current Change	10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} 3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V		0.2	5	μA	
Temperature Stability	T _{MIN} ≤ T _J ≤ T _{MAX}		1		%	
Minimum Load Current	(V _{IN} - V _{OUT}) = 40V		3.5	5	mA	
Current Limit	(V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 15V	K Package	1.5	2.2	3.4	A
		H Packages	0.5	0.8	1.8	A
	(V _{IN} - V _{OUT}) = 40V	K Package	0.3	0.4		A
		H Package	0.15	0.2		A
RMS Output Noise, % of V _{OUT}	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	V _{OUT} = 10V, f = 120 Hz, C _{ADJ} = 0 μF		65		dB	
	V _{OUT} = 10V, f = 120 Hz, C _{ADJ} = 10 μF		66	80	dB	
Long-Term Stability	T _J = 125°C, 1000 hrs		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package		2.3	3	°C/W	
	H Package		12	15	°C/W	
	E Package				°C/W	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35		°C/W	
	H Package		140		°C/W	
	E Package				°C/W	

Electrical Characteristics (Note 3)

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$, and $I_{OUT} = 10\text{mA}$.

Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Reference Voltage		1.238	1.250	1.262				V	
	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$, $10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$, $P \leq P_{MAX}$	1.225	1.250	1.270	1.20	1.25	1.30	V	
Line Regulation	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ (Note 4)		0.005	0.01		0.01	0.04	%/V	
			0.01	0.02		0.02	0.07	%/V	
Load Regulation	$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ (Note 4)		0.1	0.5		0.1	0.5	%	
			0.3	1		0.3	1.5	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.04	0.07		0.04	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			50	100		50	100	μA	
Adjustment Pin Current Change	$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$		0.2	5		0.2	5	μA	
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		1			1		%	
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$		3.5	10		3.5	10	mA	
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{V}$ K, T, S Packages		1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
			0.5	0.8	1.8	0.5	0.8	1.8	A
			1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$ K, T, S Packages		0.15	0.4		0.15	0.4		A
			0.075	0.2		0.075	0.2		A
			0.55	0.4		0.15	0.4		A
RMS Output Noise, % of V_{OUT}	$10\text{Hz} \leq f \leq 10\text{kHz}$		0.003		0.003			%	
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10\text{V}$, $f = 120\text{Hz}$, $C_{ADJ} = 0\mu\text{F}$		65		65			dB	
	$V_{OUT} = 10\text{V}$, $f = 120\text{Hz}$, $C_{ADJ} = 10\mu\text{F}$		66	80		66	80	dB	
Long-Term Stability	$T_J = 125^\circ\text{C}$, 1000 hrs		0.3	1		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package					2.3	3	$^\circ\text{C/W}$	
	MDT Package					5		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		12	15		12	15	$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		4	5		4		$^\circ\text{C/W}$	
	MP Package		23.5			23.5		$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35			35		$^\circ\text{C/W}$	
	MDT Package (Note 6)					92		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		140			140		$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		50			50		$^\circ\text{C/W}$	
	S Package (Note 6)		50			50		$^\circ\text{C/W}$	

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics. The guaranteed specifications apply only for the test conditions listed.

Note 2: Refer to RETS117H drawing for the LM117H, or the RETS117K for the LM117K military specifications.

Note 3: Although power dissipation is internally limited, these specifications are applicable for maximum power dissipations of 2W for the TO-39 and SOT-223 and 20W for the TO-3, TO-220, and TO-263. I_{MAX} is 1.5A for the TO-3, TO-220, and TO-263 packages, 0.5A for the TO-39 package and 1A for the SOT-223 Package. All limits (i.e., the numbers in the Min. and Max. columns) are guaranteed to National's AOQL (Average Outgoing Quality Level).

Note 4: Regulation is measured at a constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specifications for thermal regulation.

Note 5: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

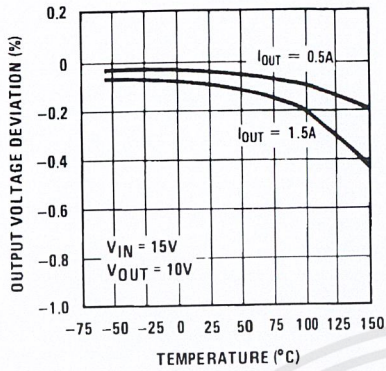
Note 6: If the TO-263 or TO-252 packages are used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area, θ_{JA} is 50°C/W ; with 1 square inch of copper area, θ_{JA} is 37°C/W ; and with 1.6 or more square inches of copper area, θ_{JA} is 32°C/W . If the SOT-223 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area (see applications hints for heatsinking).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output Capacitor = 0 μ F unless otherwise noted

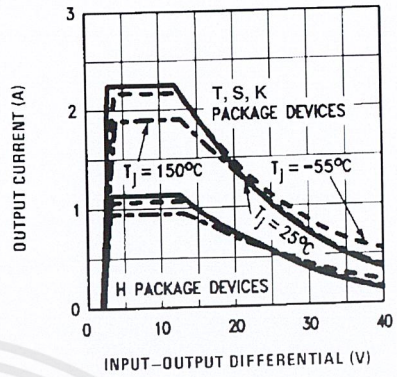
Typical Performance Characteristics

Load Regulation



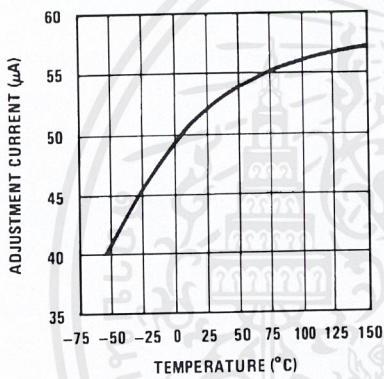
00906337

Current Limit



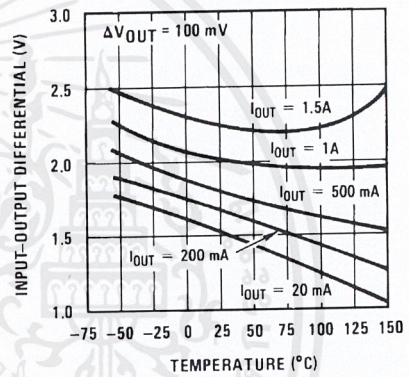
00906338

Adjustment Current



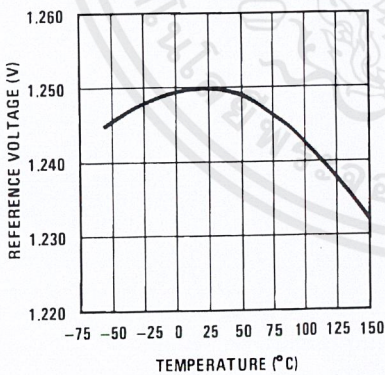
00906339

Dropout Voltage



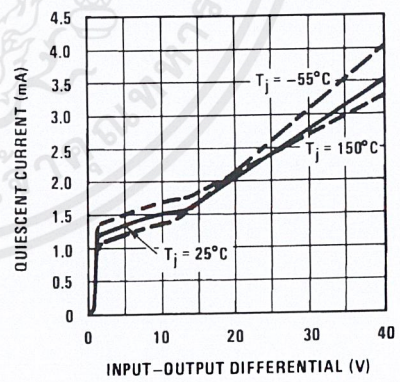
00906340

Temperature Stability



00906341

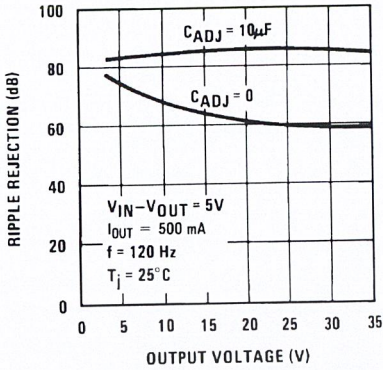
Minimum Operating Current



00906342

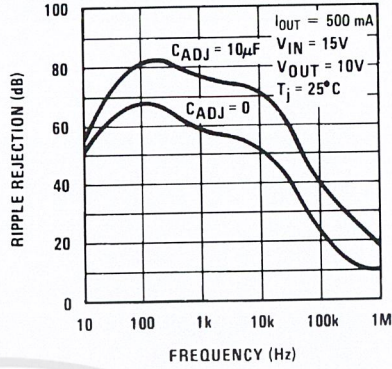
Typical Performance Characteristics (Continued)

Ripple Rejection



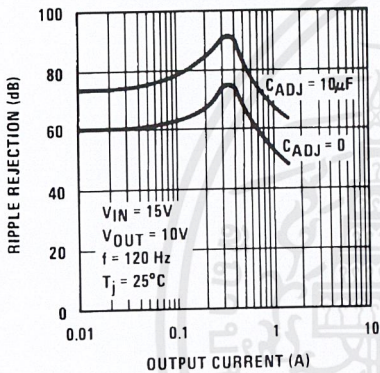
00906343

Ripple Rejection



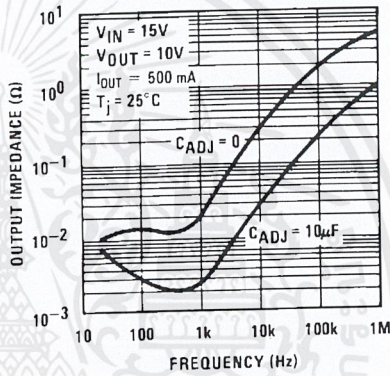
00906344

Ripple Rejection



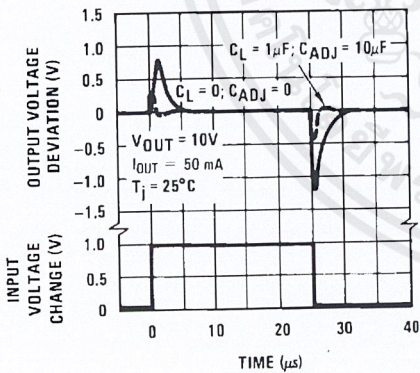
00906345

Output Impedance



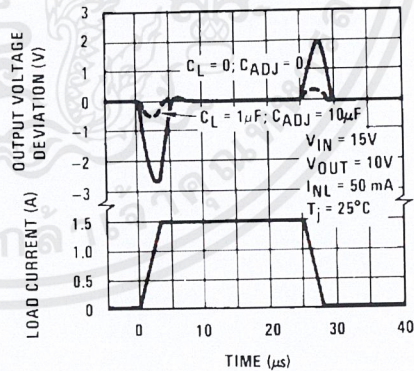
00906346

Line Transient Response



00906347

Load Transient Response



00906348

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Hints

In operation, the LM117 develops a nominal 1.25V reference voltage, V_{REF} , between the output and adjustment terminal. The reference voltage is impressed across program resistor R_1 and, since the voltage is constant, a constant current I_1 then flows through the output set resistor R_2 , giving an output voltage of

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2$$

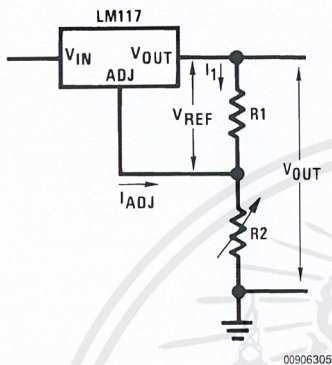


FIGURE 1.

Since the 100 μ A current from the adjustment terminal represents an error term, the LM117 was designed to minimize I_{ADJ} and make it very constant with line and load changes. To do this, all quiescent operating current is returned to the output establishing a minimum load current requirement. If there is insufficient load on the output, the output will rise.

External Capacitors

An input bypass capacitor is recommended. A 0.1 μ F disc or 1 μ F solid tantalum on the input is suitable input bypassing for almost all applications. The device is more sensitive to the absence of input bypassing when adjustment or output capacitors are used but the above values will eliminate the possibility of problems.

The adjustment terminal can be bypassed to ground on the LM117 to improve ripple rejection. This bypass capacitor prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. With a 10 μ F bypass capacitor 80 dB ripple rejection is obtainable at any output level. Increases over 10 μ F do not appreciably improve the ripple rejection at frequencies above 120 Hz. If the bypass capacitor is used, it is sometimes necessary to include protection diodes to prevent the capacitor from discharging through internal low current paths and damaging the device.

In general, the best type of capacitors to use is solid tantalum. Solid tantalum capacitors have low impedance even at high frequencies. Depending upon capacitor construction, it takes about 25 μ F in aluminum electrolytic to equal 1 μ F solid tantalum at high frequencies. Ceramic capacitors are also good at high frequencies; but some types have a large decrease in capacitance at frequencies around 0.5 MHz. For this reason, 0.01 μ F disc may seem to work better than a 0.1 μ F disc as a bypass.

Although the LM117 is stable with no output capacitors, like any feedback circuit, certain values of external capacitance

can cause excessive ringing. This occurs with values between 500 pF and 5000 pF. A 1 μ F solid tantalum (or 25 μ F aluminum electrolytic) on the output swamps this effect and insures stability. Any increase of the load capacitance larger than 10 μ F will merely improve the loop stability and output impedance.

Load Regulation

The LM117 is capable of providing extremely good load regulation but a few precautions are needed to obtain maximum performance. The current set resistor connected between the adjustment terminal and the output terminal (usually 240 Ω) should be tied directly to the output (case) of the regulator rather than the load. This eliminates line drops from appearing effectively in series with the reference and degrading regulation. For example, a 15V regulator with 0.05 Ω resistance between the regulator and load will have a load regulation due to line resistance of $0.05\Omega \times I_L$. If the set resistor is connected near the load the effective line resistance will be $0.05\Omega (1 + R_2/R_1)$ or in this case, 11.5 times worse.

Figure 2 shows the effect of resistance between the regulator and 240 Ω set resistor.

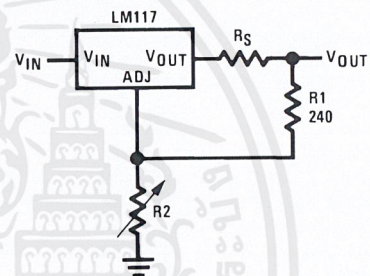


FIGURE 2. Regulator with Line Resistance in Output Lead

With the TO-3 package, it is easy to minimize the resistance from the case to the set resistor, by using two separate leads to the case. However, with the TO-39 package, care should be taken to minimize the wire length of the output lead. The ground of R_2 can be returned near the ground of the load to provide remote ground sensing and improve load regulation.

Protection Diodes

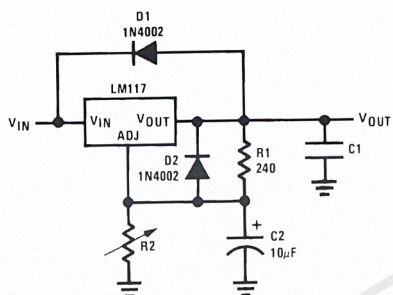
When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator. Most 10 μ F capacitors have low enough internal series resistance to deliver 20A spikes when shorted. Although the surge is short, there is enough energy to damage parts of the IC.

When an output capacitor is connected to a regulator and the input is shorted, the output capacitor will discharge into the output of the regulator. The discharge current depends on the value of the capacitor, the output voltage of the regulator, and the rate of decrease of V_{IN} . In the LM117, this discharge path is through a large junction that is able to sustain 15A surge with no problem. This is not true of other types of positive regulators. For output capacitors of 25 μ F or less, there is no need to use diodes.

The bypass capacitor on the adjustment terminal can discharge through a low current junction. Discharge occurs

Application Hints (Continued)

when *either* the input or output is shorted. Internal to the LM117 is a 50Ω resistor which limits the peak discharge current. No protection is needed for output voltages of 25V or less and 10 μF capacitance. *Figure 3* shows an LM117 with protection diodes included for use with outputs greater than 25V and high values of output capacitance.



$$V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}R_2$$

D1 protects against C1

D2 protects against C2

FIGURE 3. Regulator with Protection Diodes

When a value for $\theta_{(H-A)}$ is found using the equation shown, a heatsink must be selected that has a value that is less than or equal to this number.

$\theta_{(H-A)}$ is specified numerically by the heatsink manufacturer in the catalog, or shown in a curve that plots temperature rise vs power dissipation for the heatsink.

HEATSINKING TO-263, SOT-223 AND TO-252 PACKAGE PARTS

The TO-263 ("S"), SOT-223 ("MP") and TO-252 ("DT") packages use a copper plane on the PCB and the PCB itself as a heatsink. To optimize the heat sinking ability of the plane and PCB, solder the tab of the package to the plane.

Figure 4 shows for the TO-263 the measured values of $\theta_{(J-A)}$ for different copper area sizes using a typical PCB with 1 ounce copper and no solder mask over the copper area used for heatsinking.

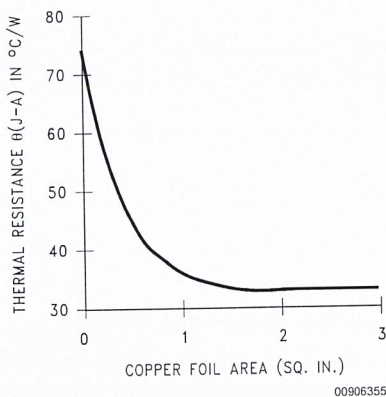


FIGURE 4. $\theta_{(J-A)}$ vs Copper (1 ounce) Area for the TO-263 Package

As shown in the figure, increasing the copper area beyond 1 square inch produces very little improvement. It should also be observed that the minimum value of $\theta_{(J-A)}$ for the TO-263 package mounted to a PCB is 32°C/W.

As a design aid, *Figure 5* shows the maximum allowable power dissipation compared to ambient temperature for the TO-263 device (assuming $\theta_{(J-A)}$ is 35°C/W and the maximum junction temperature is 125°C).

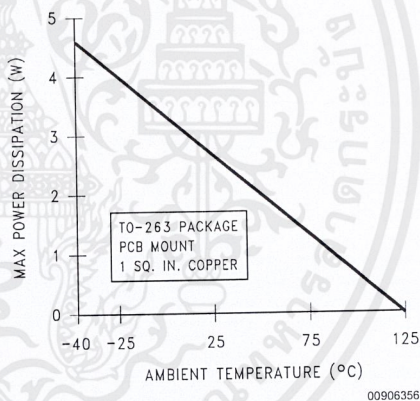


FIGURE 5. Maximum Power Dissipation vs T_{AMB} for the TO-263 Package

Figure 6 and *Figure 7* show the information for the SOT-223 package. *Figure 7* assumes a $\theta_{(J-A)}$ of 74°C/W for 1 ounce copper and 51°C/W for 2 ounce copper and a maximum junction temperature of 125°C.

Application Hints (Continued)

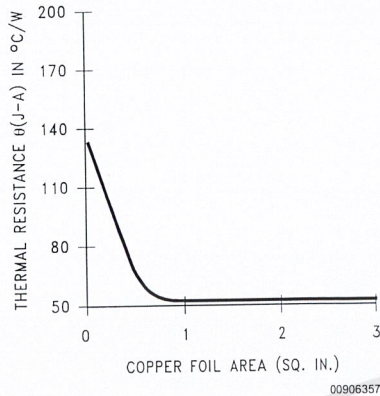


FIGURE 6. $\theta_{(J-A)}$ vs Copper (2 ounce) Area for the SOT-223 Package

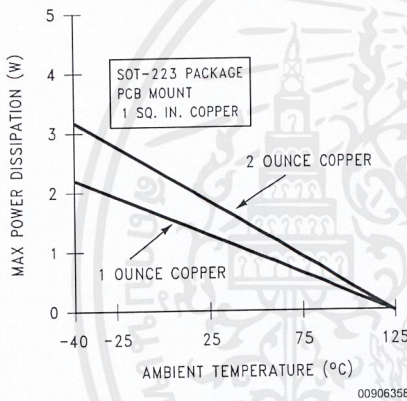


FIGURE 7. Maximum Power Dissipation vs T_{AMB} for the SOT-223 Package

The LM317 regulators have internal thermal shutdown to protect the device from over-heating. Under all possible operating conditions, the junction temperature of the LM317 must be within the range of 0°C to 125°C. A heatsink may be required depending on the maximum power dissipation and

maximum ambient temperature of the application. To determine if a heatsink is needed, the power dissipated by the regulator, P_D , must be calculated:

$$I_{IN} = I_L + I_G$$

$$P_D = (V_{IN} - V_{OUT}) I_L + V_{IN} I_G$$

Figure 8 shows the voltage and currents which are present in the circuit.

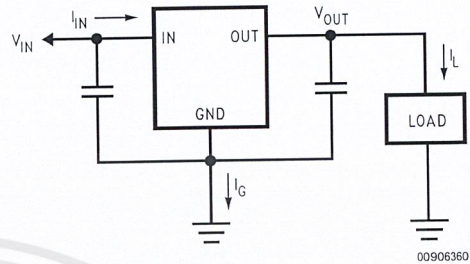


FIGURE 8. Power Dissipation Diagram

The next parameter which must be calculated is the maximum allowable temperature rise, $T_R(max)$:

$$T_R(max) = T_J(max) - T_A(max)$$

where $T_J(max)$ is the maximum allowable junction temperature (125°C), and $T_A(max)$ is the maximum ambient temperature which will be encountered in the application.

Using the calculated values for $T_R(max)$ and P_D , the maximum allowable value for the junction-to-ambient thermal resistance (θ_{JA}) can be calculated:

$$\theta_{JA} = T_R(max) / P_D$$

If the maximum allowable value for θ_{JA} is found to be $\geq 92^\circ\text{C/W}$ (Typical Rated Value) for TO-252 package, no heatsink is needed since the package alone will dissipate enough heat to satisfy these requirements. If the calculated value for θ_{JA} falls below these limits, a heatsink is required.

As a design aid, Table 1 shows the value of the θ_{JA} of TO-252 for different heatsink area. The copper patterns that we used to measure these θ_{JA} s are shown at the end of the Application Notes Section. Figure 9 reflects the same test results as what are in the Table 1

Figure 10 shows the maximum allowable power dissipation vs. ambient temperature for the TO-252 device. Figure 11 shows the maximum allowable power dissipation vs. copper area (in²) for the TO-252 device. Please see AN1028 for power enhancement techniques to be used with SOT-223 and TO-252 packages.

TABLE 1. θ_{JA} Different Heatsink Area

Layout	Copper Area		Thermal Resistance (θ_{JA} °C/W) TO-252
	Top Side (in ²)*	Bottom Side (in ²)	
1	0.0123	0	103
2	0.066	0	87
3	0.3	0	60
4	0.53	0	54
5	0.76	0	52
6	1	0	47
7	0	0.2	84
8	0	0.4	70
9	0	0.6	63

Application Hints (Continued)

TABLE 1. θ_{JA} Different Heatsink Area (Continued)

Layout	Copper Area		Thermal Resistance
10	0	0.8	57
11	0	1	57
12	0.066	0.066	89
13	0.175	0.175	72
14	0.284	0.284	61
15	0.392	0.392	55
16	0.5	0.5	53

Note: * Tab of device attached to topside of copper.

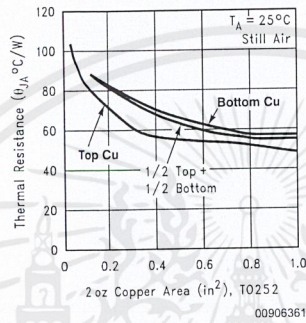


FIGURE 9. θ_{JA} vs 2oz Copper Area for TO-252

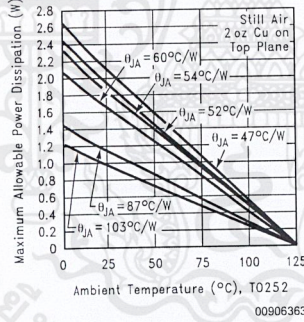


FIGURE 10. Maximum Allowable Power Dissipation vs. Ambient Temperature for TO-252

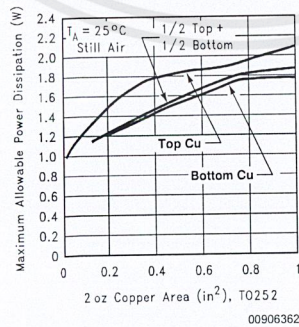
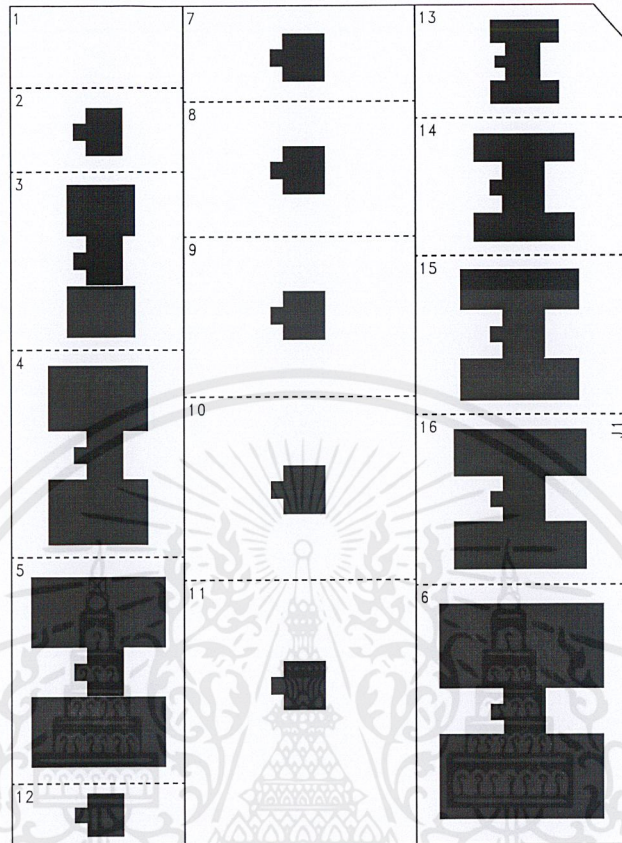


FIGURE 11. Maximum Allowable Power Dissipation vs. 2oz Copper Area for TO-252

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Hints (Continued)

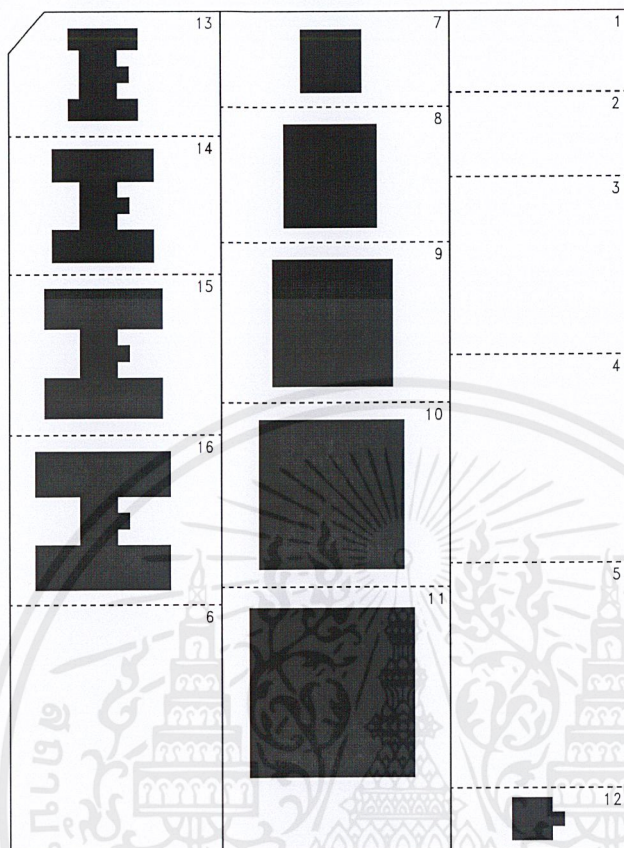


00906364

FIGURE 12. Top View of the Thermal Test Pattern in Actual Scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Hints (Continued)

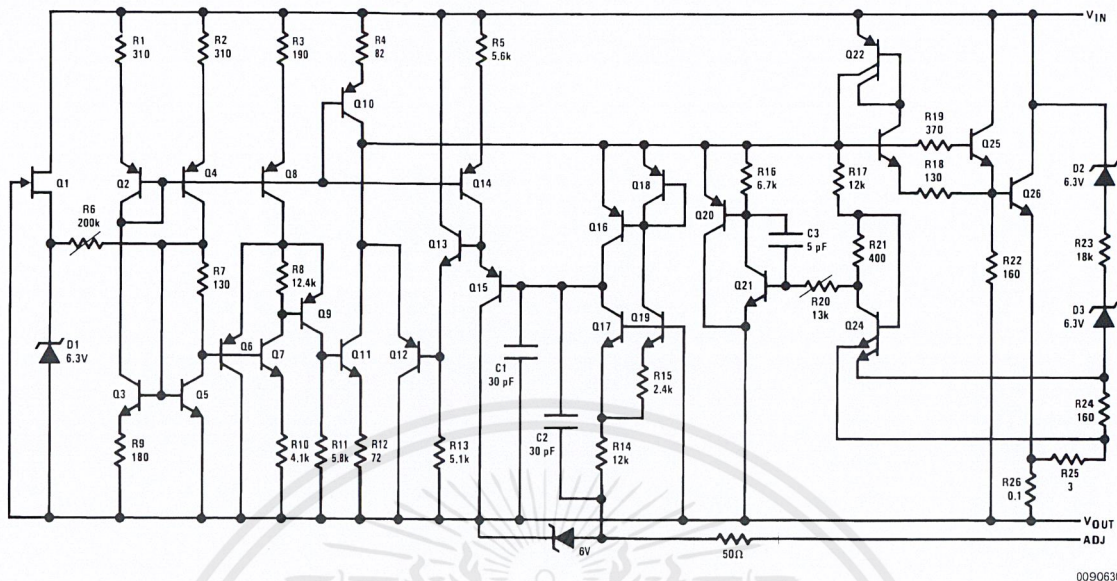


00906365

FIGURE 13. Bottom View of the Thermal Test Pattern in Actual Scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

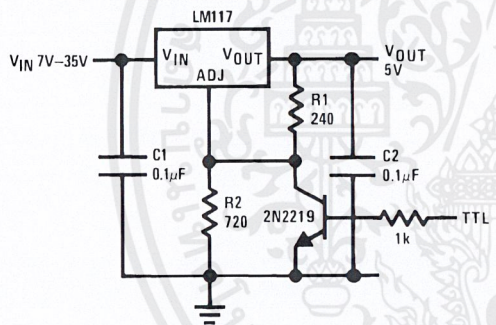
Schematic Diagram



00906308

Typical Applications

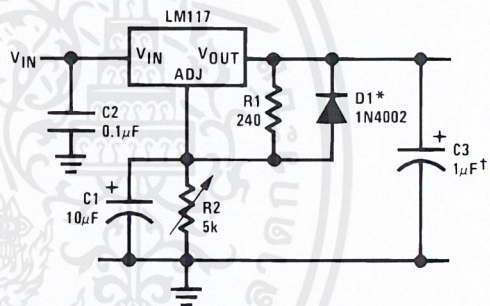
5V Logic Regulator with Electronic Shutdown*



00906303

*Min. output ≅ 1.2V

Adjustable Regulator with Improved Ripple Rejection

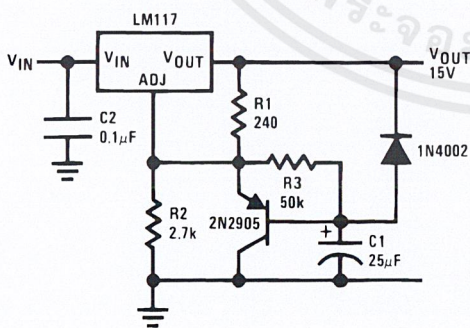


00906310

†Solid tantalum

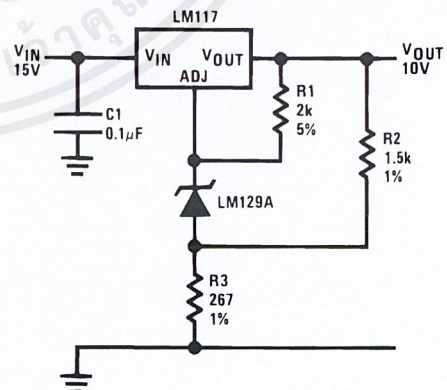
*Discharges C1 if output is shorted to ground

Slow Turn-On 15V Regulator



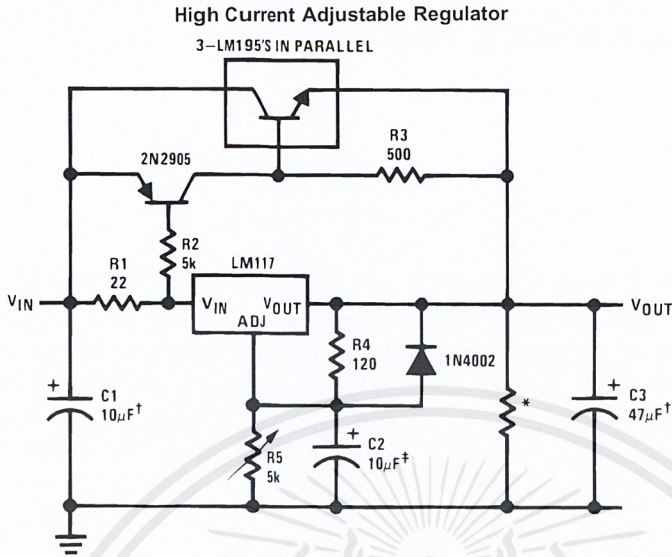
00906309

High Stability 10V Regulator



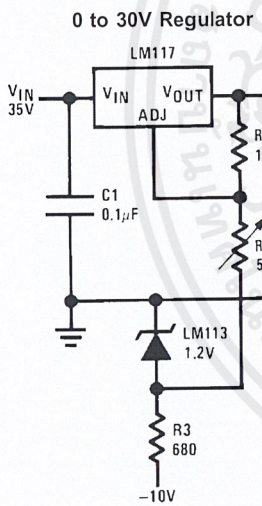
00906311

Typical Applications (Continued)



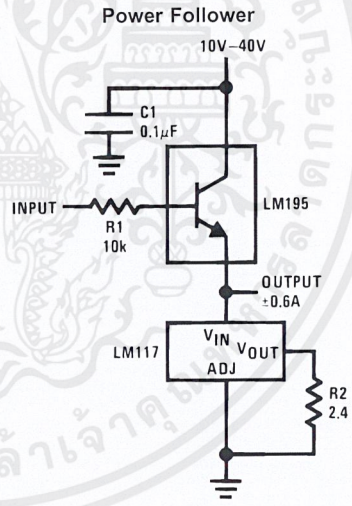
00906312

- ‡Optional — improves ripple rejection
- †Solid tantalum
- *Minimum load current = 30 mA



00906313

Full output current not available at high input-output voltages

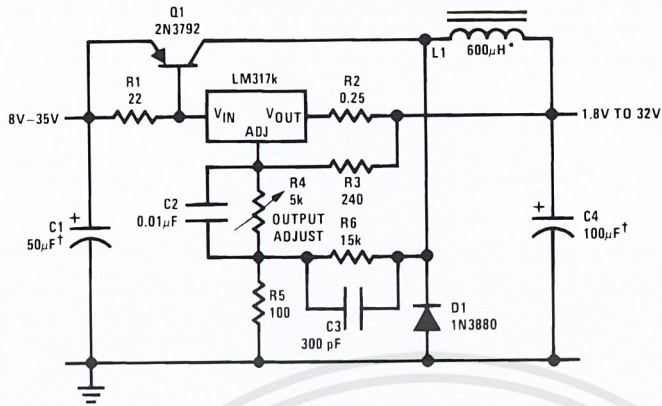


00906314

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Low Cost 3A Switching Regulator

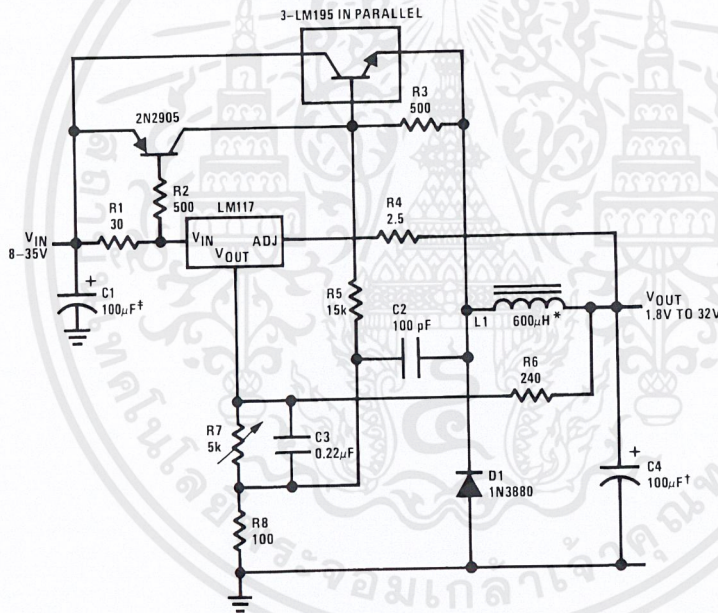


00906319

†Solid tantalum

*Core—Arnold A-254168-2 60 turns

4A Switching Regulator with Overload Protection

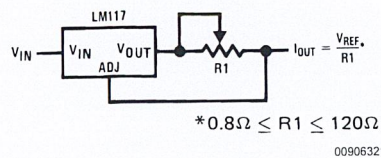


00906320

†Solid tantalum

*Core—Arnold A-254168-2 60 turns

Precision Current Limiter

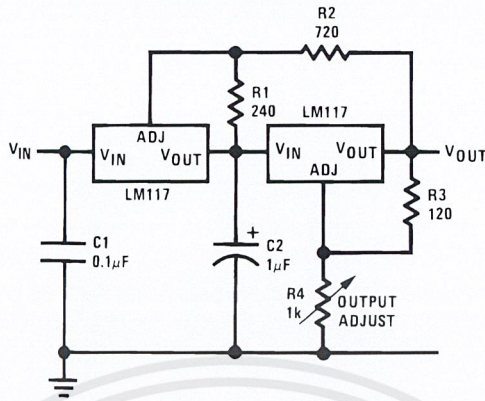


00906321

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

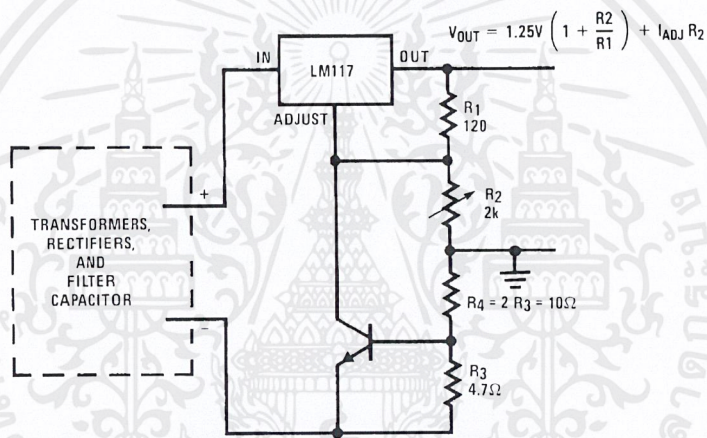
Typical Applications (Continued)

Tracking Preregulator



00906322

Current Limited Voltage Regulator



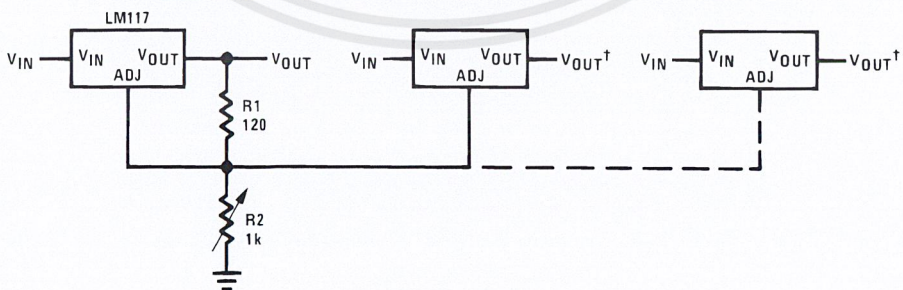
00906323

— Short circuit current is approximately $\frac{600 \text{ mV}}{R_3}$, or 120 mA

(Compared to LM117's higher current limit)

— At 50 mA output only 3/4 volt of drop occurs in R₃ and R₄

Adjusting Multiple On-Card Regulators with Single Control*



00906324

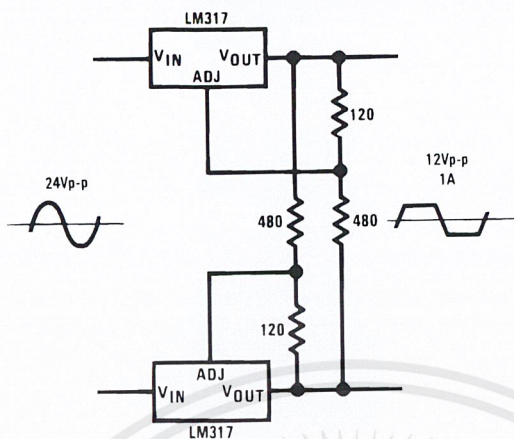
*All outputs within ±100 mV

†Minimum load — 10 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

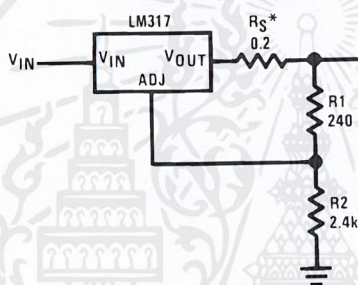
Typical Applications (Continued)

AC Voltage Regulator



00906325

12V Battery Charger

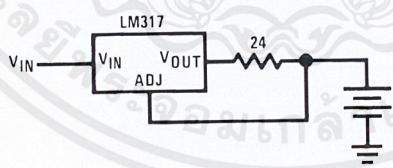


00906326

* R_S —sets output impedance of charger: $Z_{OUT} = R_S \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$

Use of R_S allows low charging rates with fully charged battery.

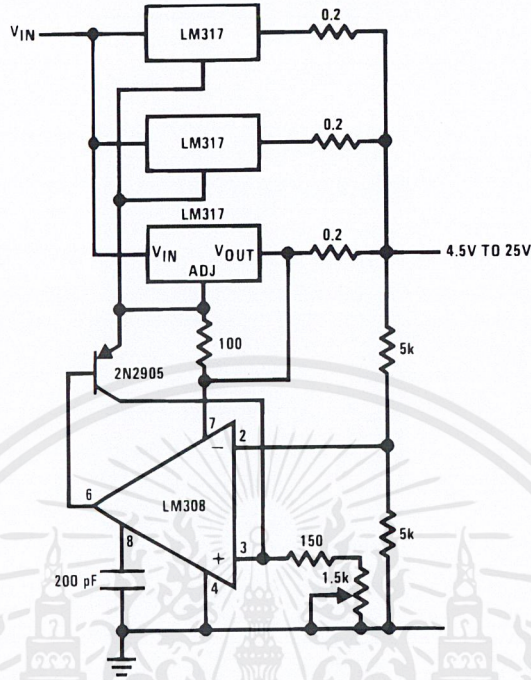
50 mA Constant Current Battery Charger



00906327

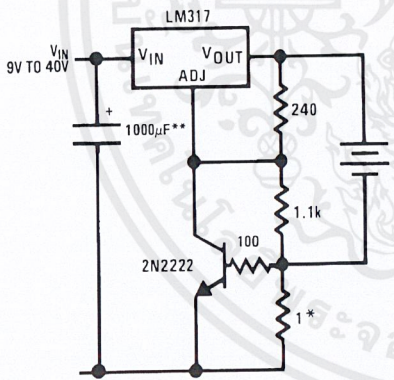
Typical Applications (Continued)

Adjustable 4A Regulator



00906328

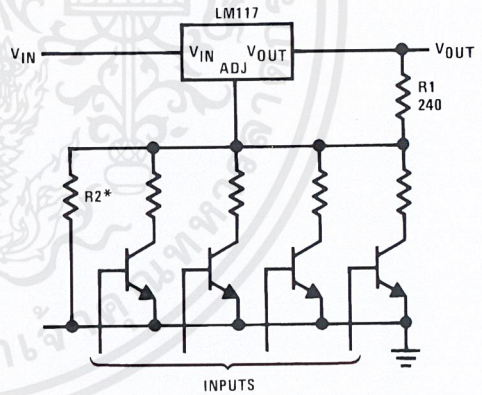
Current Limited 6V Charger



00906329

*Sets peak current (0.6A for 1Ω)
 **The 1000 µF is recommended to filter out input transients

Digitally Selected Outputs

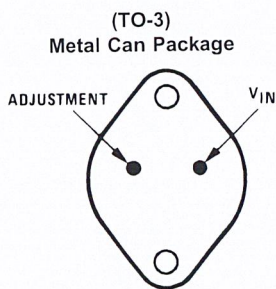


00906302

*Sets maximum V_{OUT}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

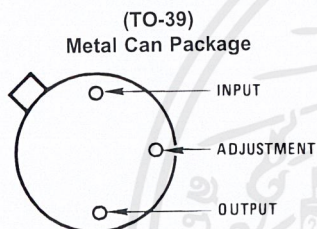
Connection Diagrams



00906330

Bottom View
Steel Package
 Order Number LM117K STEEL
 or LM317K STEEL
 See NS Package Number K02A
 Order Number LM117K/883
 See NS Package Number K02C

CASE IS OUTPUT

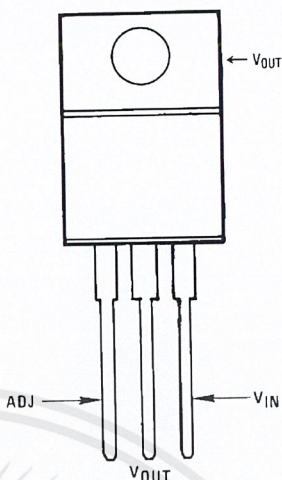


00906331

Bottom View
 Order Number LM117H, LM117H/883,
 LM317AH or LM317H
 See NS Package Number H03A

CASE IS OUTPUT

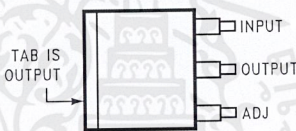
(TO-220)
Plastic Package



00906332

Front View
 Order Number LM317AT or LM317T
 See NS Package Number T03B

(TO-263) Surface-Mount Package



00906335

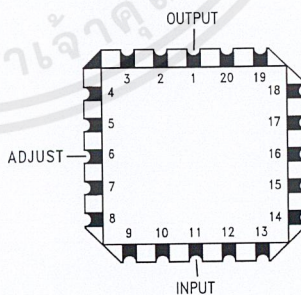
Top View



00906336

Side View
 Order Number LM317S
 See NS Package Number TS3B

Ceramic Leadless
Chip Carrier

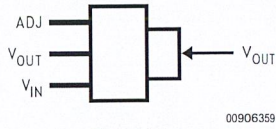


00906334

Top View
 Order Number LM117E/883
 See NS Package Number E20A

Connection Diagrams (Continued)

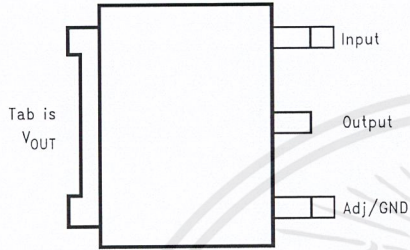
4-Lead SOT-223



Front View

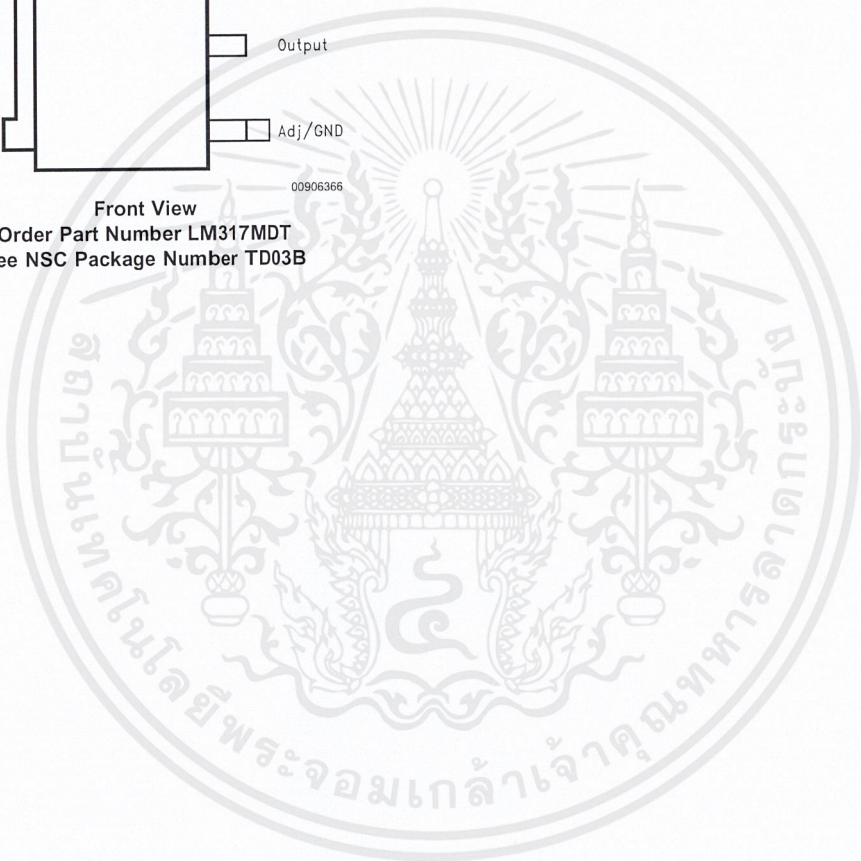
Order Part Number LM317EMP or LM317AEMP
See NSC Package Number MA04A

TO-252 (D-Pak)

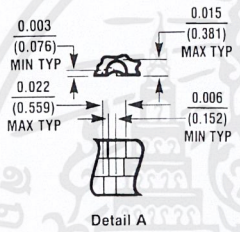
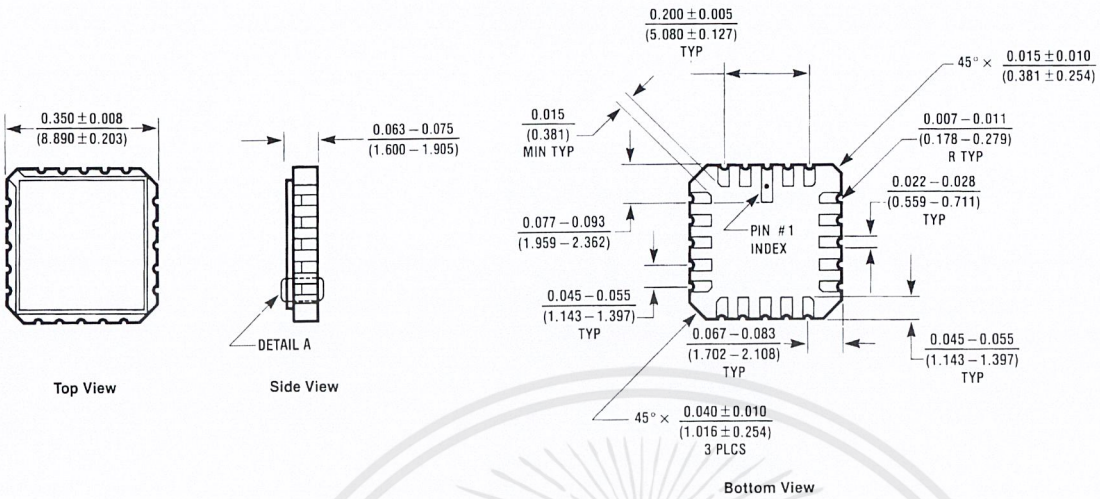


Front View

Order Part Number LM317MDT
See NSC Package Number TD03B



Physical Dimensions inches (millimeters)
unless otherwise noted

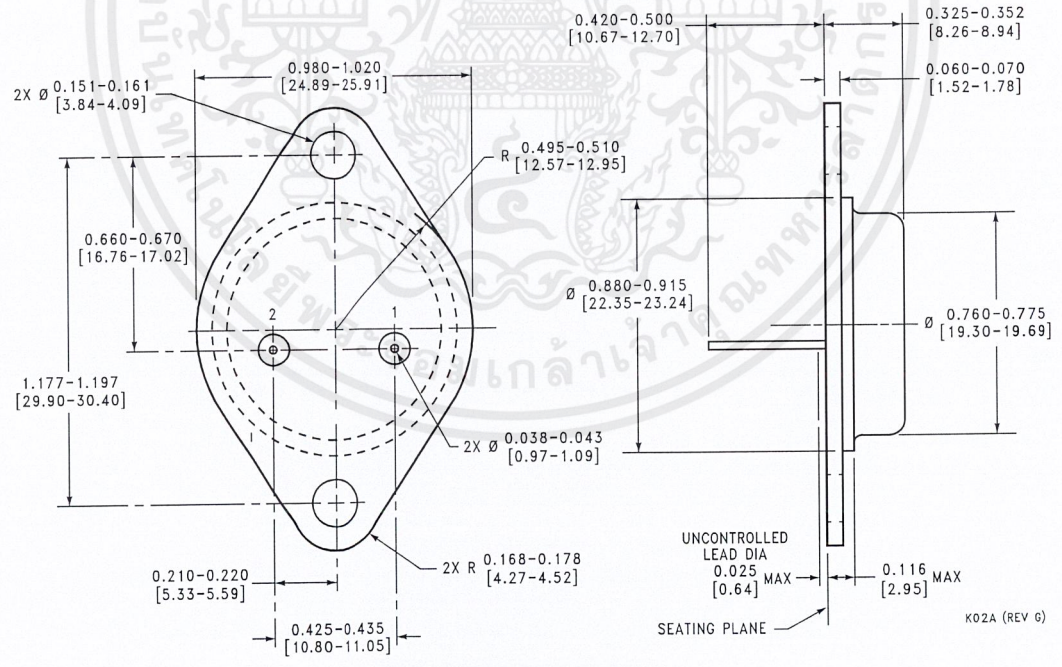
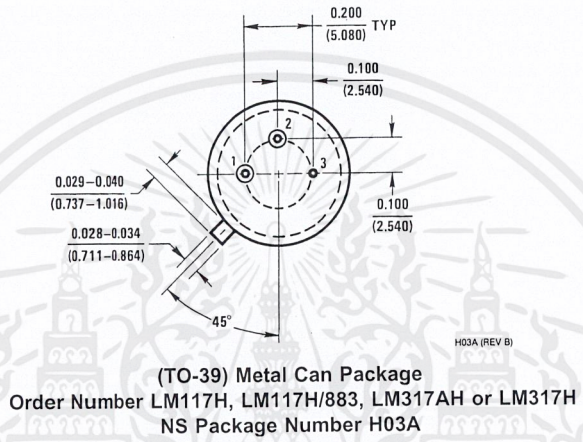
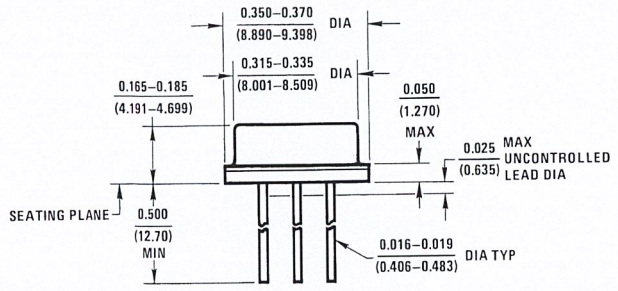


Ceramic Leadless Chip Carrier
 Order Number LM117E/883
 NS Package Number E20A

E20A (REV D)

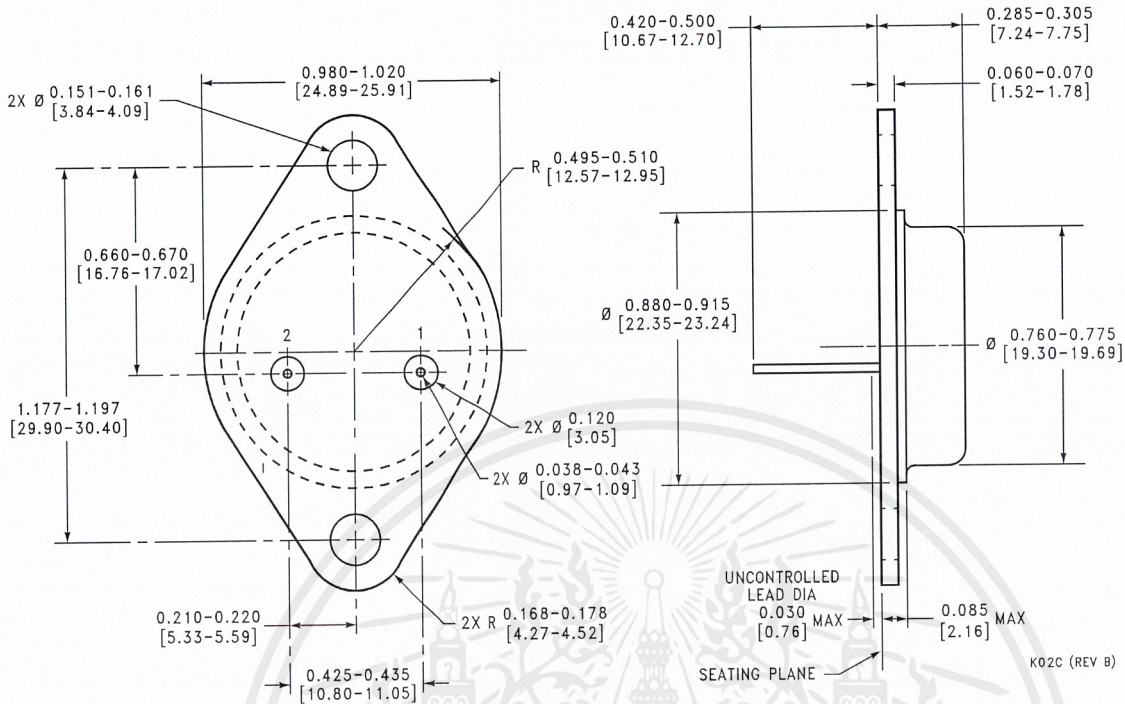
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

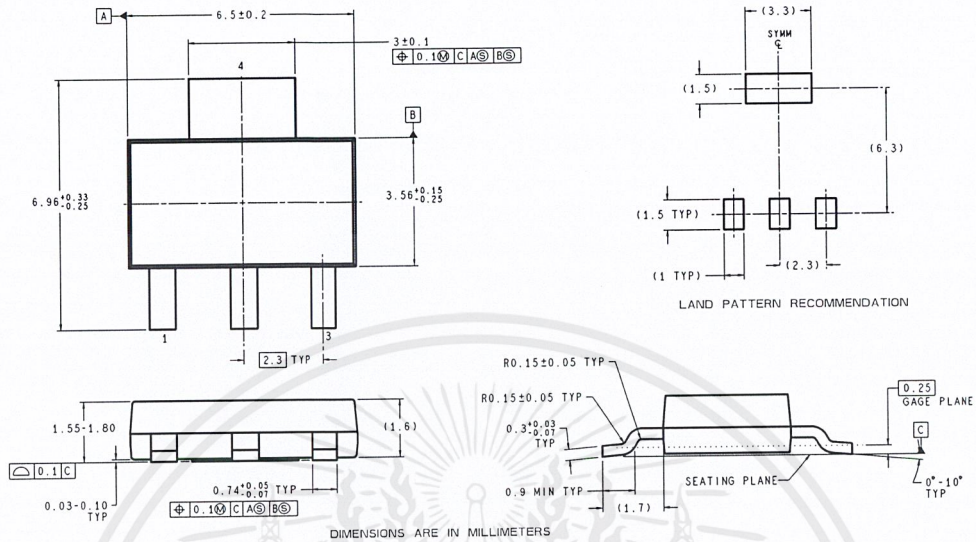


TO-3 Metal Can Package (K)
Mil-Aero Product
Order Number LM117K/883
NS Package Number K02C

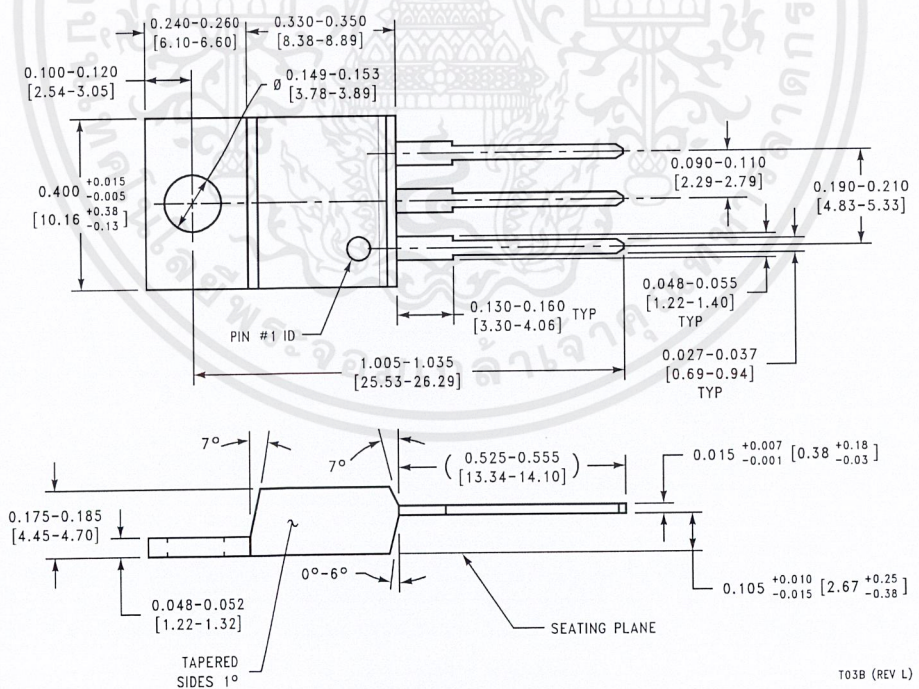
K02C (REV B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



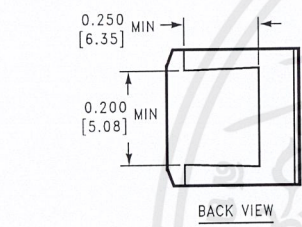
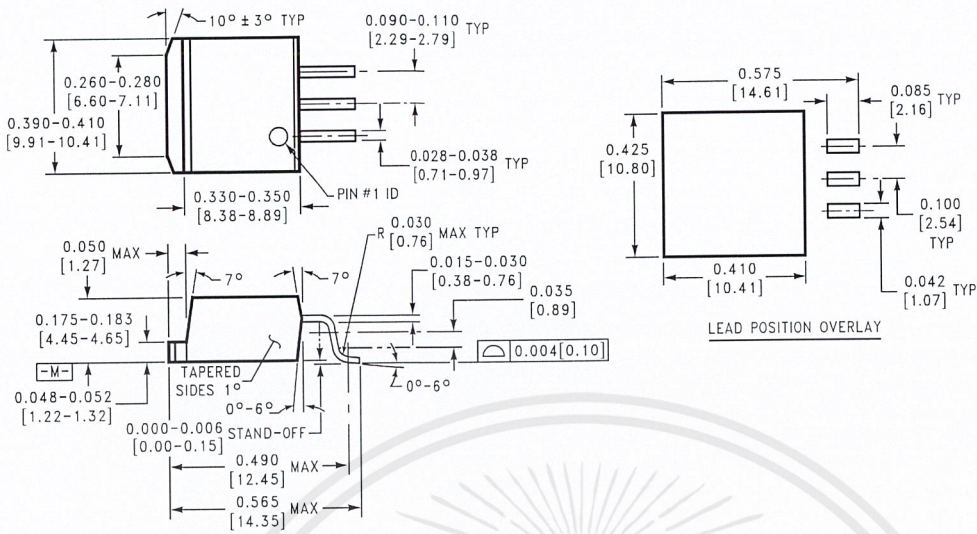
4-Lead SOT-223 Package
Order Number LM317AEMP or LM317EMP
NS Package Number MP04A



(TO-220) Outline Drawing
Order Number LM317AT or LM317T
NS Package Number T03B

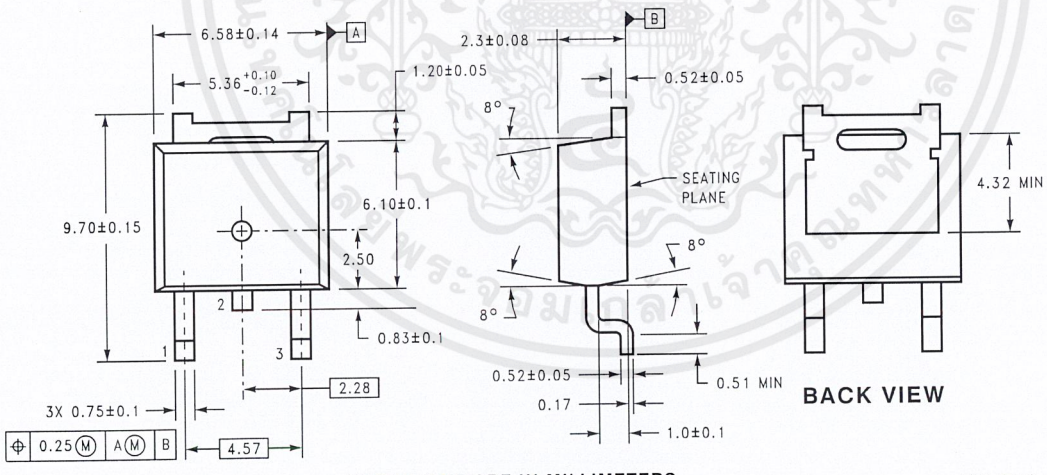
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Order Number LM317S
NS Package Number TS3B

TS3B (REV C)



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

TD03B (REV A)

Order Number LM317MDT
NS Package Number TD03B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes



LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
Americas
Email: support@nsc.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

www.national.com

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM555 Timer

General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

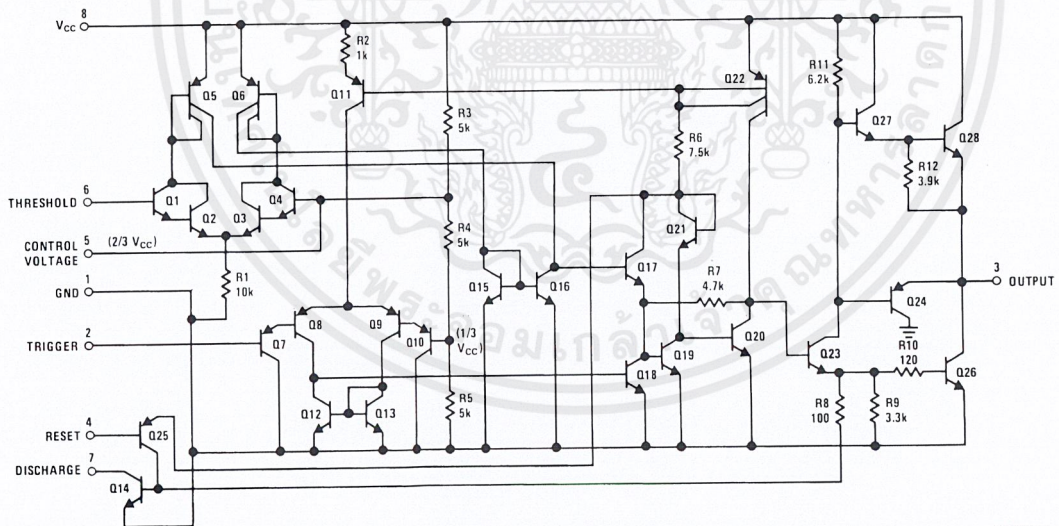
Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output
- Available in 8-pin MSOP package

Applications

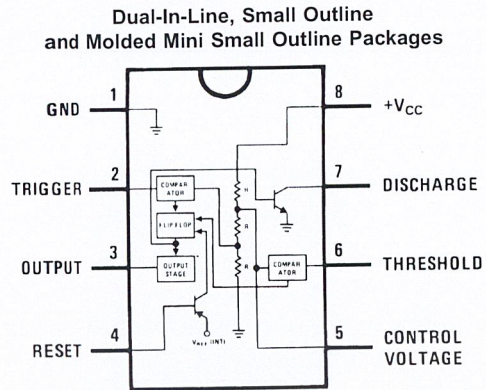
- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

Schematic Diagram



DS007851-1

Connection Diagram



Top View

Ordering Information

Package	Part Number	Package Marking	Media Transport	NSC Drawing
8-Pin SOIC	LM555CM	LM555CM	Rails	M08A
	LM555CMX	LM555CM	2.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MSOP	LM555CMM	Z55	1k Units Tape and Reel	MUA08A
	LM555CMMX	Z55	3.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MDIP	LM555CN	LM555CN	Rails	N08E

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

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

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Note 3)	
LM555CM, LM555CN	1180 mW
LM555CMM	613 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 Seconds)	260°C
Small Outline Packages (SOIC and MSOP)	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics (Notes 1, 2)

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 15\text{V}$, $R_L = \infty$ (Low State) (Note 4)		3 10	6 15	mA
Timing Error, Monostable			1		%
Initial Accuracy			50		ppm/°C
Drift with Temperature	$R_A = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 5)		1.5		%
Accuracy over Temperature			0.1		%/V
Drift with Supply					
Timing Error, Astable			2.25		%
Initial Accuracy			150		ppm/°C
Drift with Temperature	$R_A, R_B = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 5)		3.0		%
Accuracy over Temperature			0.30		%/V
Drift with Supply					
Threshold Voltage			0.667		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$		5 1.67		V V
Trigger Current			0.5	0.9	μA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 6)		0.1	0.25	μA
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	9 2.6	10 3.33	11 4	V
Pin 7 Leakage Output High			1	100	nA
Pin 7 Sat (Note 7)					
Output Low	$V_{CC} = 15\text{V}$, $I_7 = 15\text{mA}$		180		mV
Output Low	$V_{CC} = 4.5\text{V}$, $I_7 = 4.5\text{mA}$		80	200	mV

Electrical Characteristics (Notes 1, 2) (Continued) $(T_A = 25^\circ\text{C}, V_{CC} = +5\text{V to } +15\text{V}, \text{ unless otherwise specified})$

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{V}$				
	$I_{SINK} = 10\text{mA}$		0.1	0.25	V
	$I_{SINK} = 50\text{mA}$		0.4	0.75	V
	$I_{SINK} = 100\text{mA}$		2	2.5	V
	$I_{SINK} = 200\text{mA}$		2.5		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$				V
	$I_{SINK} = 8\text{mA}$		0.25	0.35	V
Output Voltage Drop (High)	$I_{SOURCE} = 200\text{mA}, V_{CC} = 15\text{V}$		12.5		V
	$I_{SOURCE} = 100\text{mA}, V_{CC} = 15\text{V}$	12.75	13.3		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100		ns
Fall Time of Output			100		ns

Note 1: All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 3: For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature and a thermal resistance of 106°C/W (DIP), 170°C/W (S0-8), and 204°C/W (MSOP) junction to ambient.

Note 4: Supply current when output high typically 1 mA less at $V_{CC} = 5\text{V}$.

Note 5: Tested at $V_{CC} = 5\text{V}$ and $V_{CC} = 15\text{V}$.

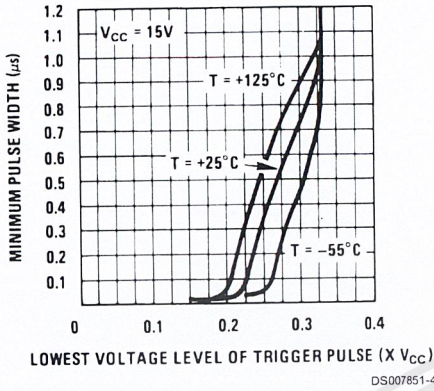
Note 6: This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15V operation. The maximum total ($R_A + R_B$) is $20\text{M}\Omega$.

Note 7: No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

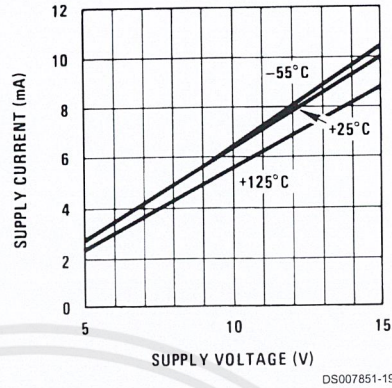
Note 8: Refer to RETS555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

Typical Performance Characteristics

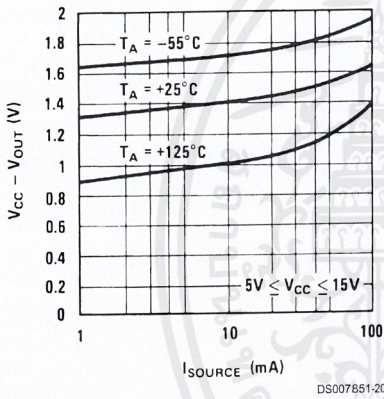
Minimum Pulse Width Required for Triggering



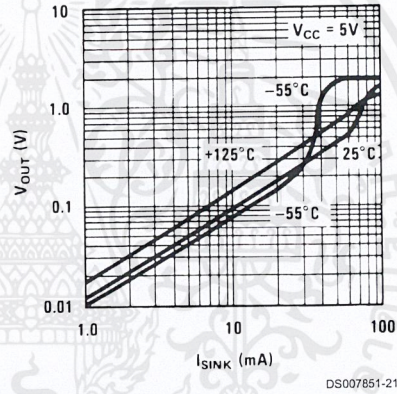
Supply Current vs. Supply Voltage



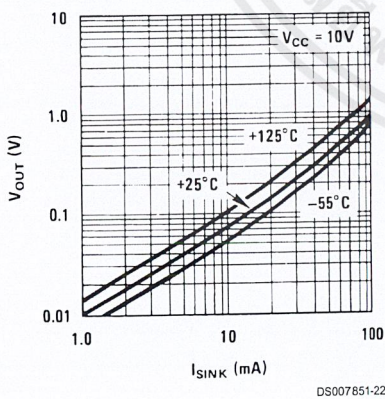
High Output Voltage vs. Output Source Current



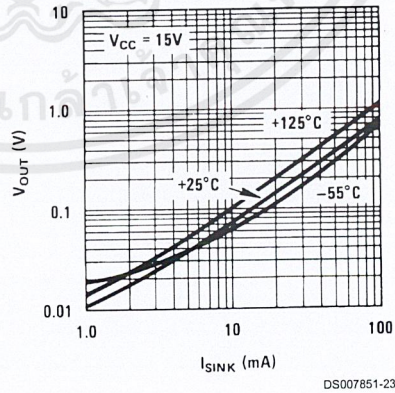
Low Output Voltage vs. Output Sink Current



Low Output Voltage vs. Output Sink Current



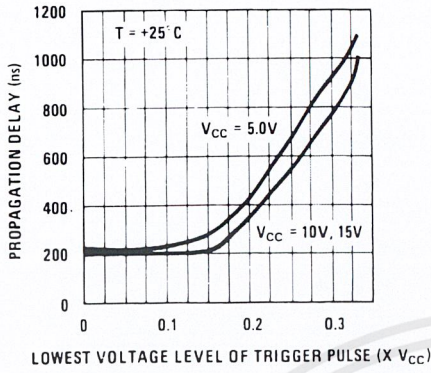
Low Output Voltage vs. Output Sink Current



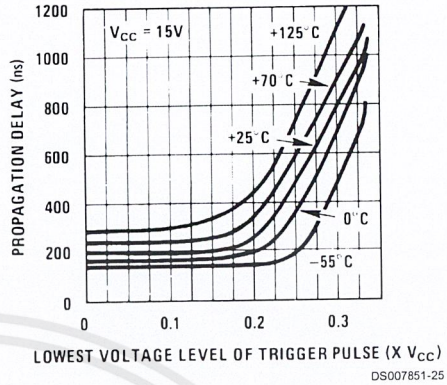
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

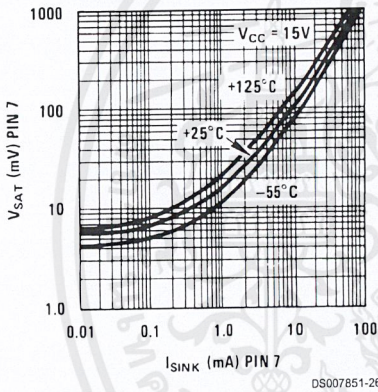
Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



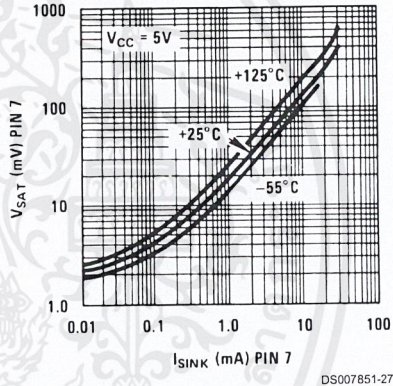
Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



Applications Information

MONOSTABLE OPERATION

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot (Figure 1). The external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative trigger pulse of less than $1/3 V_{CC}$ to pin 2, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high.

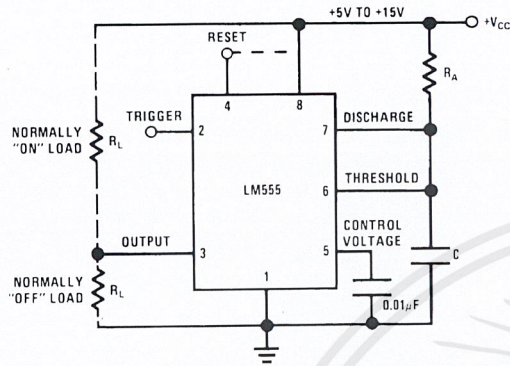
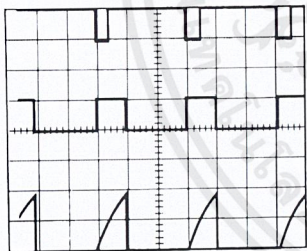


FIGURE 1. Monostable

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of $t = 1.1 R_A C$, at the end of which time the voltage equals $2/3 V_{CC}$. The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. Figure 2 shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply.



DS007851-6

$V_{CC} = 5V$
 TIME = 0.1 ms/DIV.
 $R_A = 9.1k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 5V/Div.
 Middle Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 2V/Div.

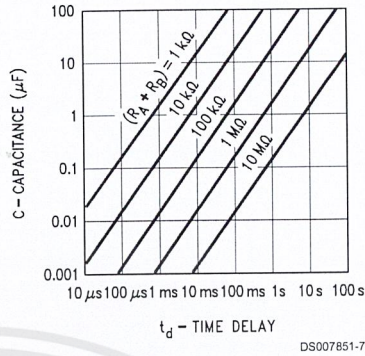
FIGURE 2. Monostable Waveforms

During the timing cycle when the output is high, the further application of a trigger pulse will not effect the circuit so long as the trigger input is returned high at least $10\mu s$ before the end of the timing interval. However the circuit can be reset during this time by the application of a negative pulse to the reset terminal (pin 4). The output will then remain in the low state until a trigger pulse is again applied.

When the reset function is not in use, it is recommended that it be connected to V_{CC} to avoid any possibility of false triggering.

Figure 3 is a nomograph for easy determination of R, C values for various time delays.

NOTE: In monostable operation, the trigger should be driven high before the end of timing cycle.

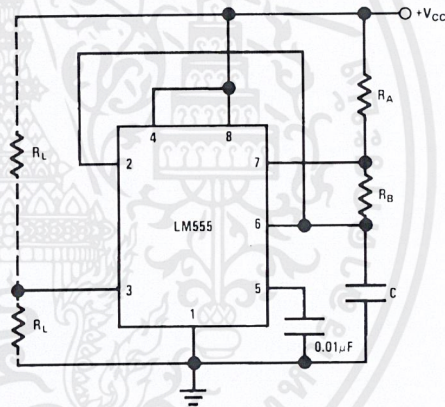


DS007851-7

FIGURE 3. Time Delay

ASTABLE OPERATION

If the circuit is connected as shown in Figure 4 (pins 2 and 6 connected) it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through $R_A + R_B$ and discharges through R_B . Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.



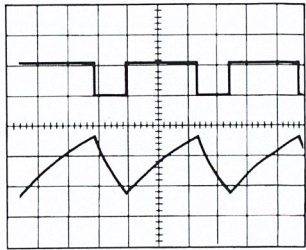
DS007851-8

FIGURE 4. Astable

In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between $1/3 V_{CC}$ and $2/3 V_{CC}$. As in the triggered mode, the charge and discharge times, and therefore the frequency are independent of the supply voltage.

Applications Information (Continued)

Figure 5 shows the waveforms generated in this mode of operation.



DS007851-9

$V_{CC} = 5V$
 TIME = 20 μ s/DIV.
 $R_A = 3.9k\Omega$
 $R_B = 3k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.

FIGURE 5. Astable Waveforms

The charge time (output high) is given by:

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C$$

And the discharge time (output low) by:

$$t_2 = 0.693 (R_B) C$$

Thus the total period is:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

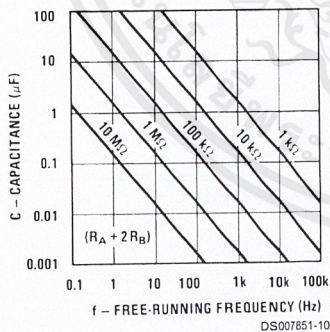
The frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

Figure 6 may be used for quick determination of these RC values.

The duty cycle is:

$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

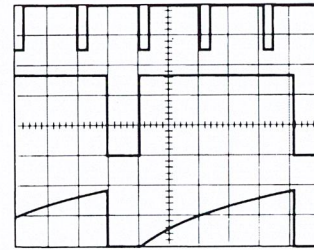


DS007851-10

FIGURE 6. Free Running Frequency

FREQUENCY DIVIDER

The monostable circuit of Figure 1 can be used as a frequency divider by adjusting the length of the timing cycle. Figure 7 shows the waveforms generated in a divide by three circuit.



DS007851-11

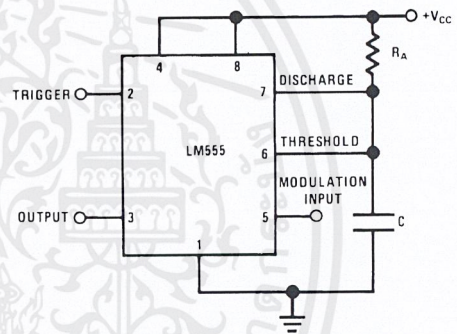
$V_{CC} = 5V$
 TIME = 20 μ s/DIV.
 $R_A = 9.1k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 4V/Div.
 Middle Trace: Output 2V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor 2V/Div.

FIGURE 7. Frequency Divider

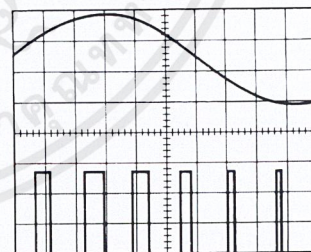
PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 8 shows the circuit, and in Figure 9 are some waveform examples.



DS007851-12

FIGURE 8. Pulse Width Modulator



DS007851-13

$V_{CC} = 5V$
 TIME = 0.2 ms/DIV.
 $R_A = 9.1k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

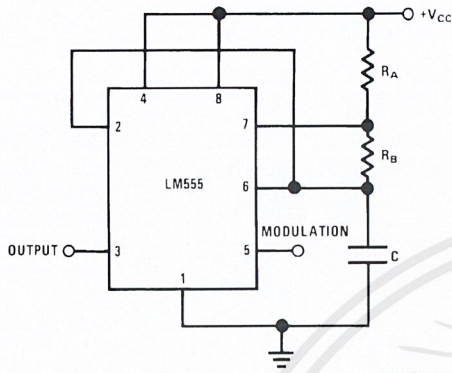
Top Trace: Modulation 1V/Div.
 Bottom Trace: Output Voltage 2V/Div.

FIGURE 9. Pulse Width Modulator

Applications Information (Continued)

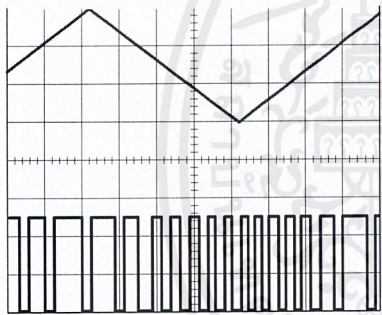
PULSE POSITION MODULATOR

This application uses the timer connected for astable operation, as in *Figure 10*, with a modulating signal again applied to the control voltage terminal. The pulse position varies with the modulating signal, since the threshold voltage and hence the time delay is varied. *Figure 11* shows the waveforms generated for a triangle wave modulation signal.



DS007851-14

FIGURE 10. Pulse Position Modulator



DS007851-15

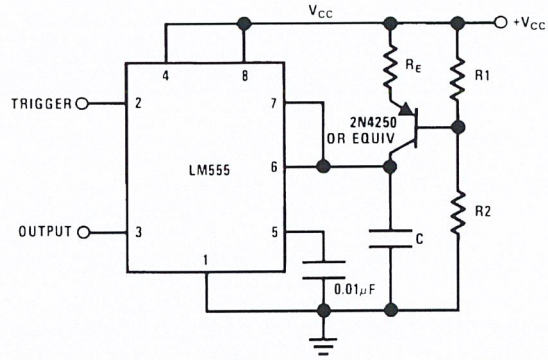
$V_{CC} = 5V$
 TIME = 0.1 ms/DIV.
 $R_A = 3.9k\Omega$
 $R_B = 3k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Modulation Input 1V/Div.
 Bottom Trace: Output 2V/Div.

FIGURE 11. Pulse Position Modulator

LINEAR RAMP

When the pullup resistor, R_A , in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. *Figure 12* shows a circuit configuration that will perform this function.



DS007851-16

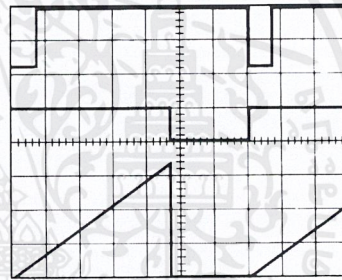
FIGURE 12.

Figure 13 shows waveforms generated by the linear ramp. The time interval is given by:

$$T = \frac{2/3 V_{CC} R_E (R_1 + R_2) C}{R_1 V_{CC} - V_{BE} (R_1 + R_2)}$$

$$V_{BE} \approx 0.6V$$

$$V_{BE} \approx 0.6V$$



DS007851-17

$V_{CC} = 5V$
 TIME = 20μs/DIV.
 $R_1 = 47k\Omega$
 $R_2 = 100k\Omega$
 $R_E = 2.7 k\Omega$
 $C = 0.01 \mu F$

Top Trace: Input 3V/Div.
 Middle Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.

FIGURE 13. Linear Ramp

Applications Information (Continued)

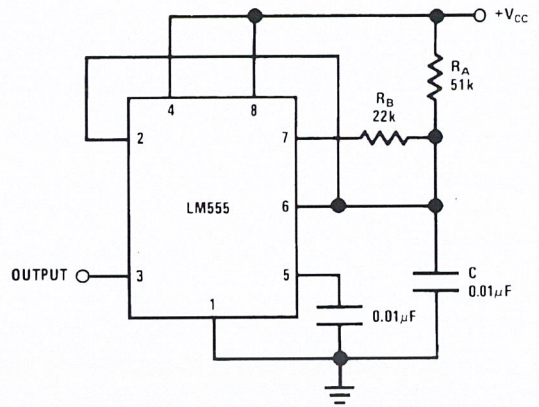
50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle, the resistors R_A and R_B may be connected as in *Figure 14*. The time period for the output high is the same as previous, $t_1 = 0.693 R_A C$. For the output low it is $t_2 =$

$$\left[(R_A R_B) / (R_A + R_B) \right] C \ln \left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right]$$

Thus the frequency of oscillation is

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2}$$



DS007851-18

FIGURE 14. 50% Duty Cycle Oscillator

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater than $1/2 R_A$ because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to $1/3 V_{CC}$ and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

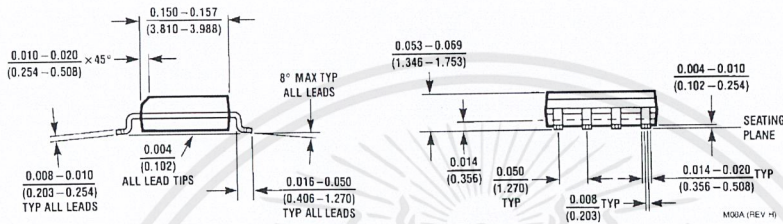
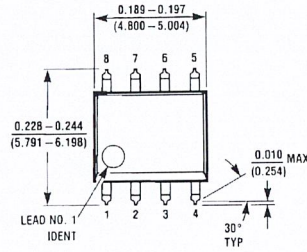
Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is $0.1\mu\text{F}$ in parallel with $1\mu\text{F}$ electrolytic.

Lower comparator storage time can be as long as $10\mu\text{s}$ when pin 2 is driven fully to ground for triggering. This limits the monostable pulse width to $10\mu\text{s}$ minimum.

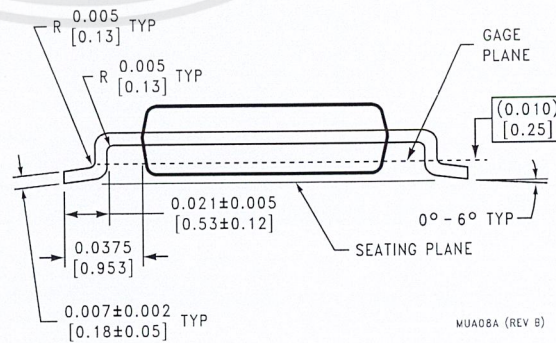
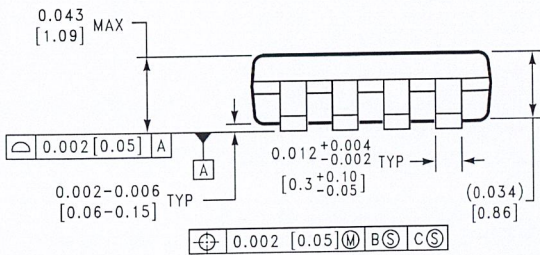
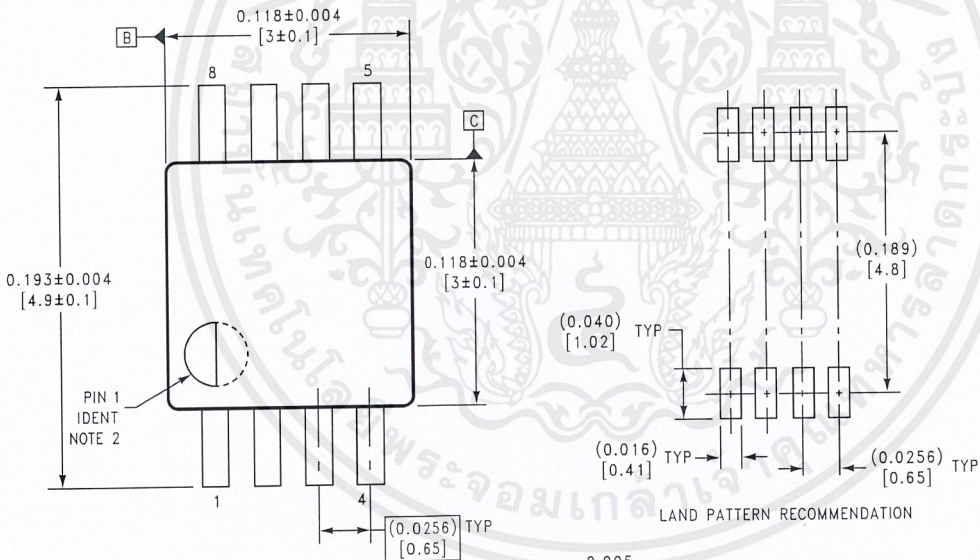
Delay time reset to output is $0.47\mu\text{s}$ typical. Minimum reset pulse width must be $0.3\mu\text{s}$, typical.

Pin 7 current switches within 30ns of the output (pin 3) voltage.

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



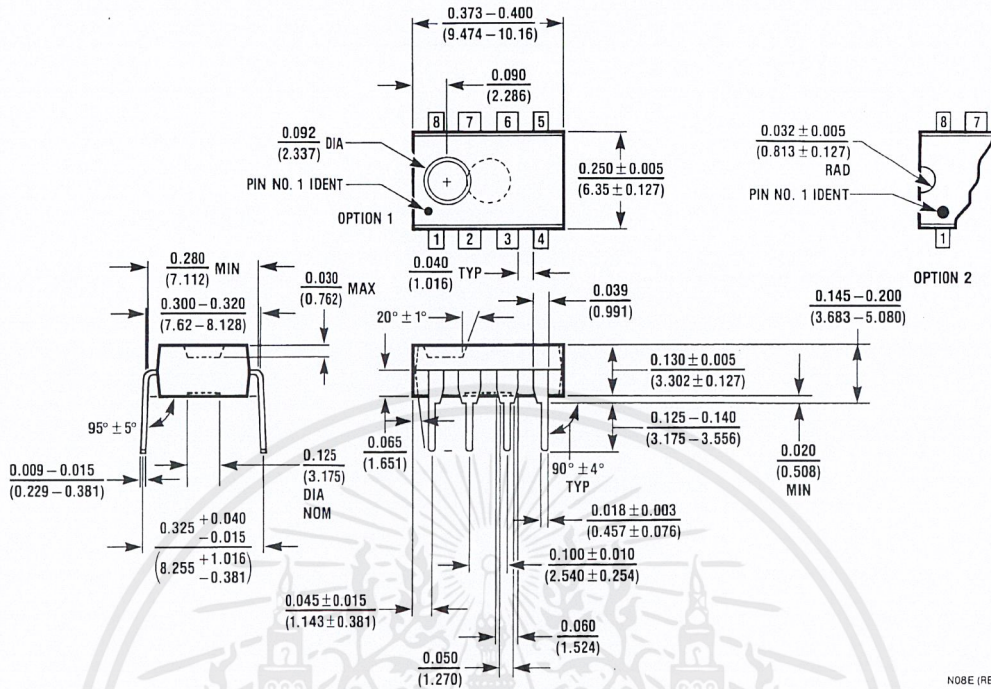
**Small Outline Package (M)
NS Package Number M08A**



**8-Lead (0.118" Wide) Molded Mini Small Outline Package
NS Package Number MUA08A**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Molded Dual-In-Line Package (N)
NS Package Number N08E

N08E (REV F)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

General purpose operational amplifier

 μ A741/ μ A741C/SA741C

DESCRIPTION

The μ A741 is a high performance operational amplifier with high open-loop gain, internal compensation, high common mode range and exceptional temperature stability. The μ A741 is short-circuit-protected and allows for nulling of offset voltage.

FEATURES

- Internal frequency compensation
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- High input voltage range

PIN CONFIGURATION

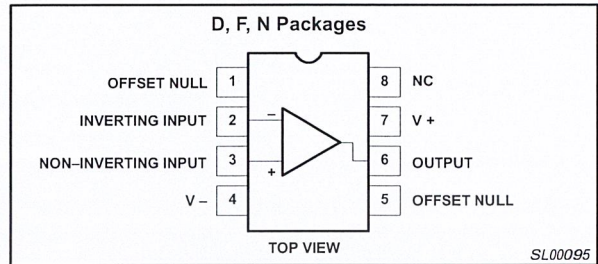


Figure 1. Pin Configuration

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-55°C to +125°C	μ A741N	SOT97-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	μ A741CN	SOT97-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40°C to +85°C	SA741CN	SOT97-1
8-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-55°C to +125°C	μ A741F	0580A
8-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	0 to +70°C	μ A741CF	0580A
8-Pin Small Outline (SO) Package	0 to +70°C	μ A741CD	SOT96-1

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V_S	Supply voltage		
	μ A741C	± 18	V
	μ A741	± 22	V
P_D	Internal power dissipation		
	D package	780	mW
	N package	1170	mW
	F package	800	mW
V_{IN}	Differential input voltage	± 30	V
V_{IN}	Input voltage ¹	± 15	V
I_{SC}	Output short-circuit duration	Continuous	
T_A	Operating temperature range		
	μ A741C	0 to +70	°C
	SA741C	-40 to +85	°C
	μ A741	-55 to +125	°C
T_{STG}	Storage temperature range	-65 to +150	°C
T_{SOLD}	Lead soldering temperature (10sec max)	300	°C

NOTES:

1. For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

General purpose operational amplifier

 μ A741/ μ A741C/SA741C

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	μ A741			μ A741C			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{OS}	Offset voltage	$R_S=10\text{k}\Omega$ $R_S=10\text{k}\Omega$, over temp.		1.0	5.0		2.0	6.0	mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$				1.0	6.0		10	7.5	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{OS}	Offset current	Over temp. $T_A=+125^\circ\text{C}$ $T_A=-55^\circ\text{C}$		20	200		20	200	nA
$\Delta I_{OS}/\Delta T$				7.0	200		200	300	nA
I_{BIAS}	Input bias current	Over temp. $T_A=+125^\circ\text{C}$ $T_A=-55^\circ\text{C}$		80	500		80	500	nA
$\Delta I_B/\Delta T$				30	500		800	800	nA
V_{OUT}	Output voltage swing	$R_L=10\text{k}\Omega$ $R_L=2\text{k}\Omega$, over temp.	± 12	± 14		± 12	± 14		V
A_{VOL}			Large-signal voltage gain	$R_L=2\text{k}\Omega$, $V_O=\pm 10\text{V}$ $R_L=2\text{k}\Omega$, $V_O=\pm 10\text{V}$, over temp.	50	200		20	200
	Offset voltage adjustment range				± 30			± 30	
PSRR	Supply voltage rejection ratio	$R_S \leq 10\text{k}\Omega$					10	150	$\mu\text{V}/\text{V}$
		$R_S \leq 10\text{k}\Omega$, over temp.		10	150				$\mu\text{V}/\text{V}$
CMRR	Common-mode rejection ratio	Over temp.				70	90		dB
				70	90				dB
I_{CC}	Supply current	$T_A=+125^\circ\text{C}$ $T_A=-55^\circ\text{C}$		1.4	2.8		1.4	2.8	mA
				1.5	2.5				mA
				2.0	3.3				mA
V_{IN}	Input voltage range	(μ A741, over temp.)	± 12	± 13		± 12	± 13		V
R_{IN}	Input resistance		0.3	2.0		0.3	2.0		M Ω
P_D	Power consumption	$T_A=+125^\circ\text{C}$ $T_A=-55^\circ\text{C}$		50	85		50	85	mW
				45	75				mW
				45	100				mW
R_{OUT}	Output resistance			75			75		Ω
I_{SC}	Output short-circuit current		10	25	60	10	25	60	mA

General purpose operational amplifier

 μ A741/ μ A741C/SA741C

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	SA741C			UNIT
			Min	Typ	Max	
V_{OS}	Offset voltage	$R_S = 10\text{k}\Omega$		2.0	6.0	mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$		$R_S = 10\text{k}\Omega$, over temp.		10	7.5	mV/ $^\circ\text{C}$
I_{OS}	Offset current	Over temp.		20	200	nA
$\Delta I_{OS}/\Delta T$				200	500	nA/ $^\circ\text{C}$
I_{BIAS}	Input bias current	Over temp.		80	500	nA
$\Delta I_B/\Delta T$				1	1500	nA/ $^\circ\text{C}$
V_{OUT}	Output voltage swing	$R_L = 10\text{k}\Omega$	± 12	± 14		V
		$R_L = 2\text{k}\Omega$, over temp.	± 10	± 13		V
A_{VOL}	Large-signal voltage gain	$R_L = 2\text{k}\Omega$, $V_O = \pm 10\text{V}$	20	200		V/mV
		$R_L = 2\text{k}\Omega$, $V_O = \pm 10\text{V}$, over temp.	15			V/mV
	Offset voltage adjustment range			± 30		mV
PSRR	Supply voltage rejection ratio	$R_S \leq 10\text{k}\Omega$		10	150	$\mu\text{V/V}$
CMRR	Common mode rejection ratio		70	90		dB
V_{IN}	Input voltage range	Over temp.	± 12	± 13		V
R_{IN}	Input resistance		0.3	2.0		M Ω
P_d	Power consumption			50	85	mW
R_{OUT}	Output resistance			75		Ω
I_{SC}	Output short-circuit current			25		mA

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	μ A741, μ A741C			UNIT
			Min	Typ	Max	
R_{IN}	Parallel input resistance	Open-loop, $f = 20\text{Hz}$	0.3			M Ω
C_{IN}	Parallel input capacitance	Open-loop, $f = 20\text{Hz}$		1.4		pF
	Unity gain crossover frequency	Open-loop		1.0		MHz
t_R	Transient response unity gain	$V_{IN} = 20\text{mV}$, $R_L = 2\text{k}\Omega$, $C_L \leq 100\text{pF}$				
	Rise time			0.3		μs
	Overshoot			5.0		%
SR	Slew rate	$C \leq 100\text{pF}$, $R_L \geq 2\text{k}\Omega$, $V_{IN} = \pm 10\text{V}$		0.5		V/ μs

General purpose operational amplifier

μ A741/ μ A741C/SA741C

EQUIVALENT SCHEMATIC

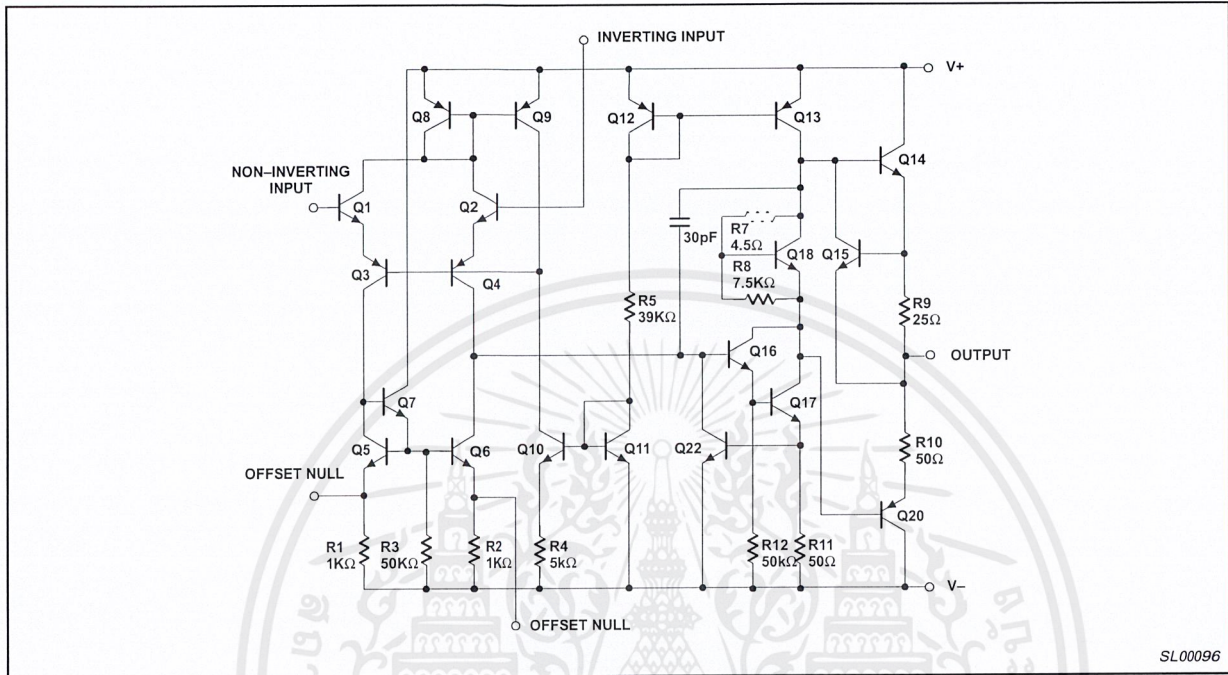


Figure 2. Equivalent Schematic

General purpose operational amplifier

μ A741/ μ A741C/SA741C

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

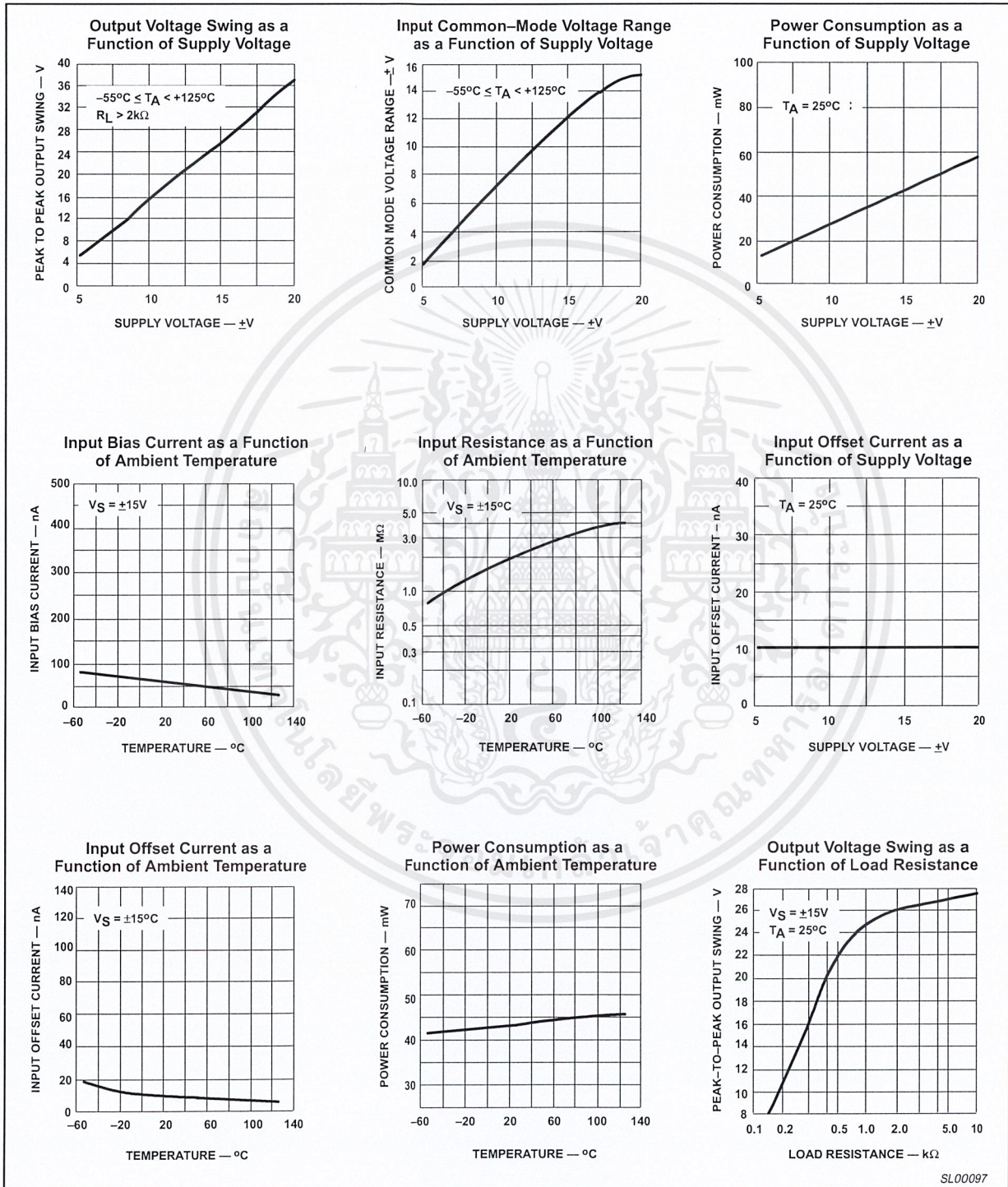


Figure 3. Typical Performance Characteristics

SL00097

General purpose operational amplifier

μ A741/ μ A741C/SA741C

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Continued)

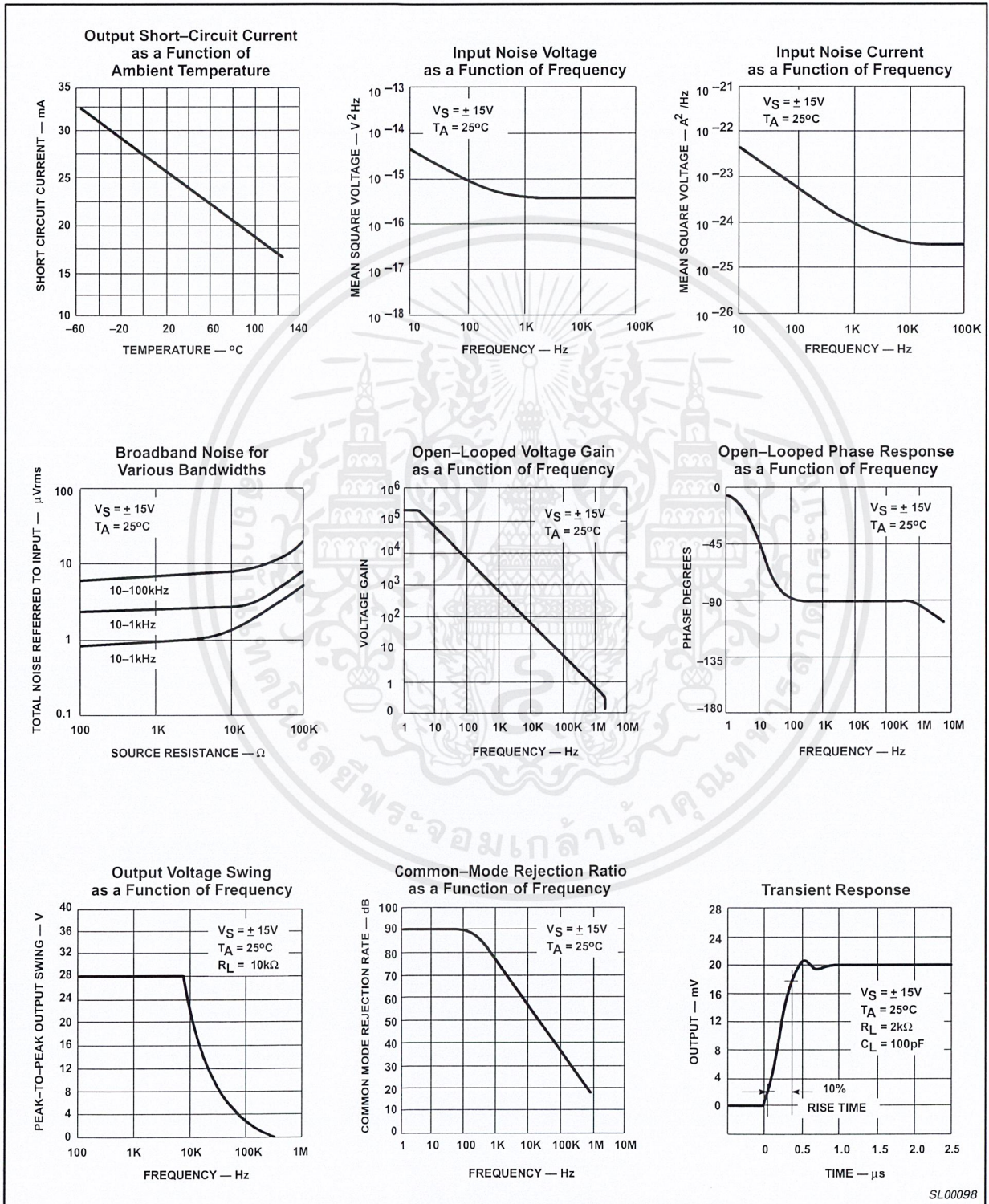


Figure 4. Typical Performance Characteristics (cont.)

General purpose operational amplifier

μ A741/ μ A741C/SA741C

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Continued)

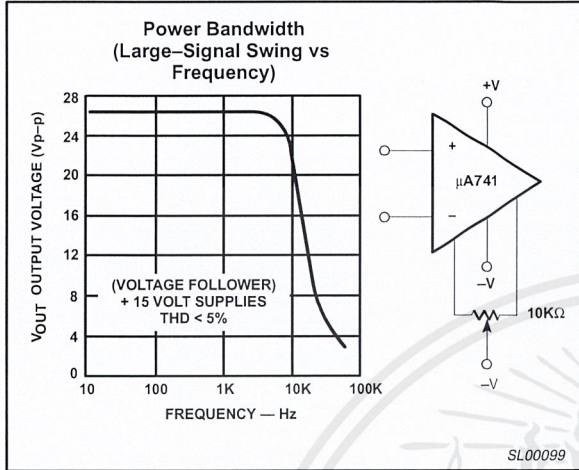


Figure 5. Typical Performance Characteristics (cont.)

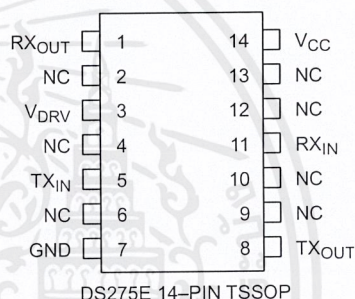
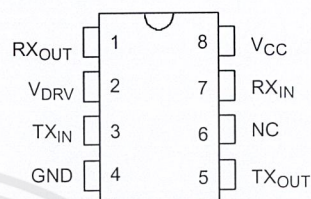
FEATURES

- Low-power serial transmitter/receiver for battery-backed systems
- Transmitter steals power from receive signal line to save power
- Ultra-low static current, even when connected to RS-232-E port
- Variable transmitter level from +5 to +12 volts
- Compatible with RS-232-E signals
- Available in 8-pin, 150 mil wide SOIC package (DS275S)
- Low-power CMOS

ORDERING INFORMATION

DS275	8-pin DIP
DS275S	8-pin SOIC
DS275E	14-pin TSSOP

PIN ASSIGNMENT



PIN DESCRIPTION

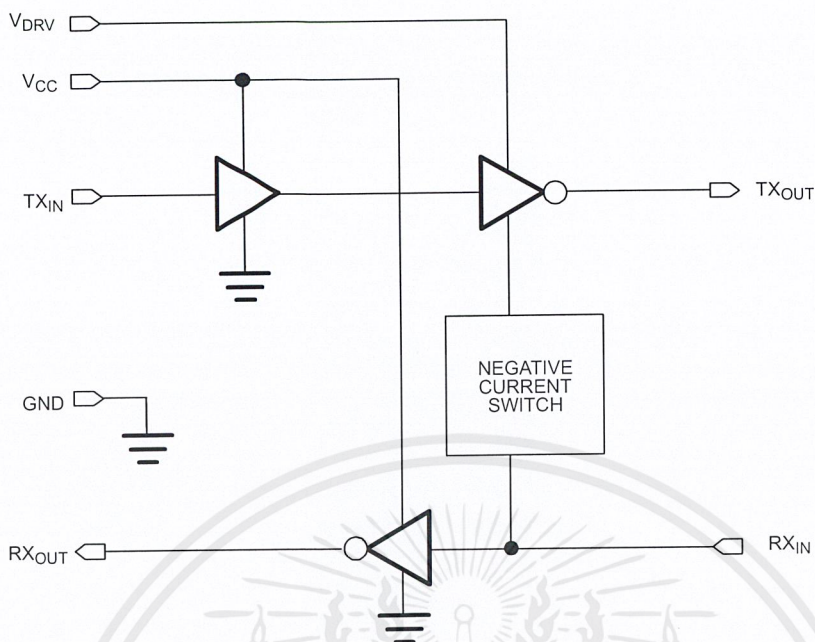
RX _{OUT}	– RS-232 Receiver Output
V _{DRV}	– Transmit driver +V
TX _{IN}	– RS-232 Driver Input
GND	– System Ground (0V)
TX _{OUT}	– RS-232 Driver Output
NC	– No Connection
RX _{IN}	– RS-232 Receive Input
V _{CC}	– System Logic Supply (+5V)

DESCRIPTION

The DS275 Line-Powered RS-232 Transceiver Chip is a CMOS device that provides a low-cost, very low-power interface to RS-232 serial ports. The receiver input translates RS-232 signal levels to common CMOS/TTL levels. The transmitter employs a unique circuit which steals current from the receive RS-232 signal when that signal is in a negative state (marking). Since most serial communication ports remain in a negative state statically, using the receive signal for negative

power greatly reduces the DS275's static power consumption. This feature is especially important for battery-powered systems such as laptop computers, remote sensors, and portable medical instruments. During an actual communication session, the DS275's transmitter will use system power (5–12 volts) for positive transitions while still employing the receive signal for negative transitions.

DS275 BLOCK DIAGRAM Figure 1



OPERATION

Designed for the unique requirements of battery-backed systems, the DS275 provides a low-power half-duplex interface to an RS-232 serial port. Typically, a designer must use an RS-232 device which uses system power during both negative and positive transitions of the transmit signal to the RS-232 port. If the connector to the RS-232 port is left connected for an appreciable time after the communication session has ended, power will statically flow into that port, draining the battery capacity. The DS275 eliminates this static current drain by stealing current from the receive line (RX_{IN}) of the RS-232 port when that line is at a negative level (marking). Since most asynchronous communication over an RS-232 connection typically remains in a marking state when data is not being sent, the DS275 will not consume system power in this condition. System power would only be used when positive-going transitions are needed on the transmit RS-232 output (TX_{OUT}) when data is sent. However, since synchronous communication sessions typically exhibit a very low duty-cycle, overall system power consumption remains low.

RECEIVER SECTION

The RX_{IN} pin is the receive input for an RS-232 signal whose levels can range from ± 3 to ± 15 volts. A negative data signal is called a mark while a positive data signal is called a space. These signals are inverted and then

level-shifted to normal +5 volt CMOS/TTL logic levels. The logic output associated with RX_{IN} is RX_{OUT} which swings from $+V_{CC}$ to ground. Therefore, a mark on RX_{IN} produces a logic 1 at RX_{OUT} ; a space produces a logic 0.

The input threshold of RX_{IN} is typically around 1.8 volts with 500 millivolts of hysteresis to improve noise rejection. Therefore, an input positive-going signal must exceed 1.8 volts to cause RX_{OUT} to switch states. A negative-going signal must now be lower than 1.3 volts (typically) to cause RX_{OUT} to switch again. An open on RX_{IN} is interpreted as a mark, producing a logic 1 at RX_{OUT} .

TRANSMITTER SECTION

TX_{IN} is the CMOS/TTL-compatible input for digital data from the user system. A logic 1 at TX_{IN} produces a mark (negative data signal) at TX_{OUT} while a logic 0 produces a space (positive data signal). As mentioned earlier, the transmitter section employs a unique driver design that uses the RX_{IN} line for swinging to negative levels. The RX_{IN} line must be in a marking or idle state to take advantage of this design; if RX_{IN} is in a spacing state, TX_{OUT} will only swing to ground. When TX_{OUT} needs to transition to a positive level, it uses the V_{DRV} power pin for this level. V_{DRV} can be a voltage supply between 5 to 12 volts, and in many situations it can be tied directly to

the +5 volt V_{CC} supply. *It is important to note that V_{DRV} must be greater than or equal to V_{CC} at all times.*

The voltage range on V_{DRV} permits the use of a 9 volt battery in order to provide a higher voltage level when TX_{OUT} is in a space state. When V_{CC} is shut off to the DS275 and V_{DRV} is still powered (as might happen in a battery-backed condition), only a small leakage current (about 50–100 nA) will be drawn. If TX_{OUT} is loaded during such a condition, V_{DRV} will draw current only if RX_{IN} is not in a negative state. During normal operation ($V_{CC}=5$ volts), V_{DRV} will draw less than 2 μ A when TX_{OUT} is marking. Of course, when TX_{OUT} is spacing, V_{DRV} will draw substantially more current – about 3 mA depending upon its voltage and the impedance that TX_{OUT} sees.

The TX_{OUT} output is slew-rate limited to less than 30 volts/us in accordance with RS–232 specifications. In the event TX_{OUT} should be inadvertently shorted to ground, internal current-limiting circuitry prevents damage, even if continuously shorted.

RS–232 COMPATIBILITY

The intent of the DS275 is not so much to meet all the requirements of the RS–232 specification as to offer a low-power solution that will work with most RS–232 ports with a connector length of less than 10 feet. As a prime example, the DS275 will not meet the RS–232 requirement that the signal levels be at least ± 5 volts minimum when terminated by a $3K\Omega$ load and $V_{DRV}=+5$ volts. Typically a voltage of 4 volts will be present at TX_{OUT} when spacing. However, since most RS–232 receivers will correctly interpret any voltage over 2 volts as a space, there will be no problem transmitting data.

APPLICATIONS INFORMATION

The DS275 is designed as a low-cost, RS–232–E interface expressly tailored for the unique requirements of battery-operated handheld products. As shown in the electrical specifications, the DS275 draws exceptionally low operating and static current. During normal operation when data from the handheld system is sent from the TX_{OUT} output, the DS275 only draws significant V_{DRV} current when TX_{OUT} transitions positively (spacing). This current flows primarily into the RS–232 receiver's 3–7K Ω load at the other end of the attaching cable.

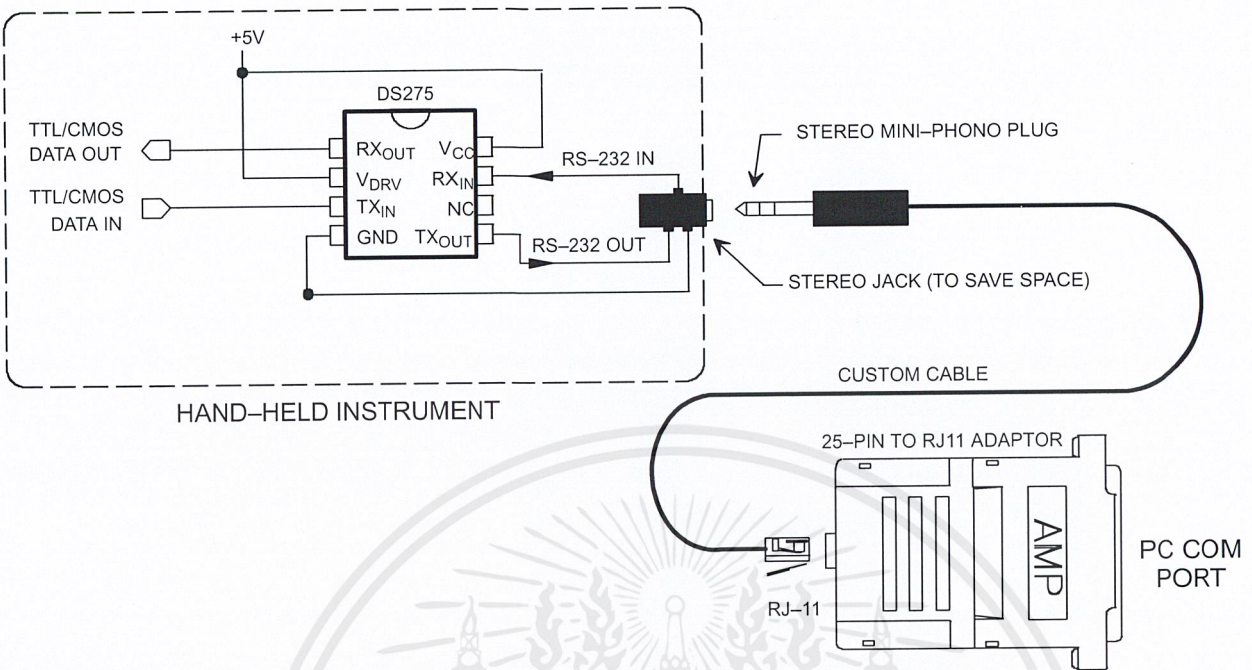
When TX_{OUT} is marking (a negative data signal), the V_{DRV} current falls dramatically since the negative voltage is provided by the transmit signal from the other end of the cable. This represents a large reduction in overall operating current, since typical RS–232 interface chips use charge-pump circuits to establish both positive and negative levels at the transmit driver output.

To obtain the lowest power consumption from the DS275, observe the following guidelines. First, to minimize V_{DRV} current when connected to an RS–232 port, always maintain TX_{IN} at a logic 1 when data is not being transmitted (idle state). This will force TX_{OUT} into the marking state, minimizing V_{DRV} current. Second, V_{DRV} current will drop to less than 100 nA when V_{CC} is grounded. Therefore, if V_{DRV} is tied directly to the system battery, the logic +5 volts can be turned off to achieve the lowest possible power state.

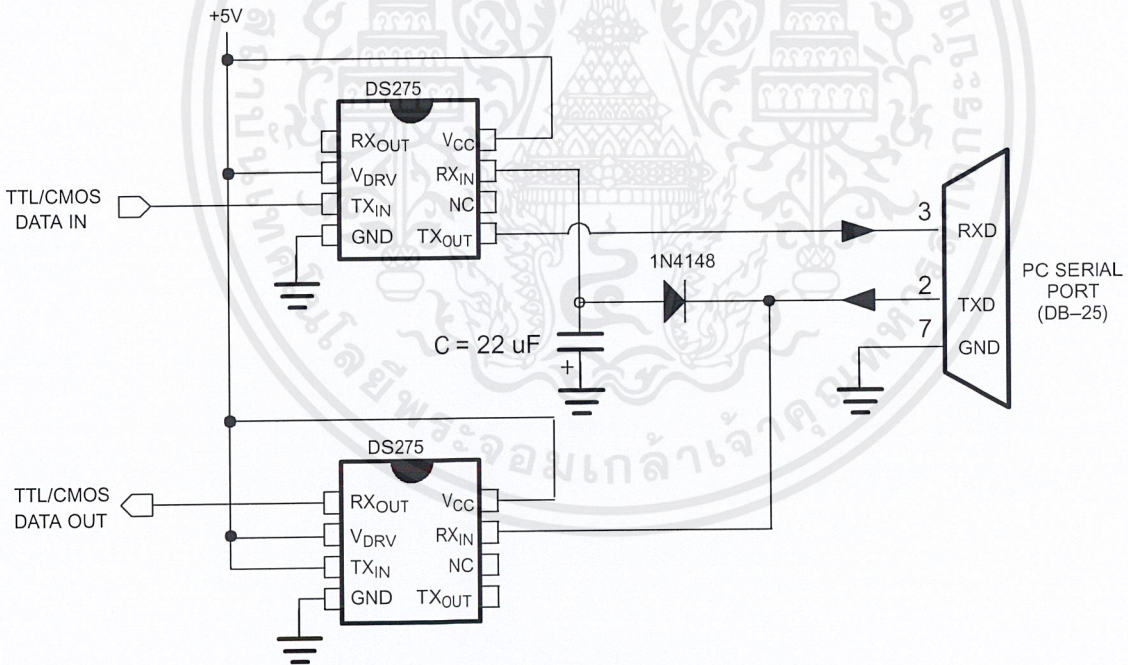
FULL-DUPLEX OPERATION

The DS275 is intended primarily for half-duplex operation; that is, RX_{IN} should remain idle in the marking state when transmitting data out TX_{OUT} and visa versa. However, the part can be operated full-duplex with most RS–232–E serial ports since signals swinging between 0 and +5V will usually be correctly interpreted by an RS–232–E receiver device. The 5-volt swing occurs when TX_{OUT} attempts to swing negative while RX_{IN} is at a positive voltage, which turns on an internal weak pull-down to ground for the TX_{OUT} driver's negative reference. So, transmit mark signals at TX_{OUT} may have voltage jumps from some negative value (corresponding to RX_{IN} marking) to approximately ground. One possible problem that may occur in this case is if the receiver at the other end requires a negative voltage for recognizing a mark. In this situation, the full-duplex circuit shown in Figure 3 can be used as an alternative. The 22 μ F capacitor forms a negative-charge reservoir; consequently, when the TXD line is spacing (positive), TX_{OUT} still has a negative source available for a time period determined by the capacitor and the load resistance at the other end (3–7K Ω). This circuit was tested from 150–19,200 bps with error-free operation using a SN75154 Quad Line Receiver as the receiver for the TX_{OUT} signal. Note that the SN75154 can have a marking input threshold below ground; hence there is the need for TX_{OUT} to swing both positive and negative in full-duplex operation with this device.

HANDHELD RS-232-C APPLICATION USING A STEREO MINI-JACK Figure 2



FULL-DUPLEX CIRCUIT USING NEGATIVE-CHARGE STORAGE Figure 3



NOTE:

The capacitor stores negative charge whenever the TXD signal from the PC serial port is in a marking data state (a negative voltage that is typically -10 volts). The top DS275's TX_{OUT} uses this negative charge reservoir when it is in a marking state. The capacitor will discharge to 0 volts when the TXD line is spacing (and TX_{OUT} is still marking) at a time constant determined by its value and the value of the load resistance reflected back to TX_{OUT}. However, when TXD is marking, the capacitor will quickly charge back to -10 volts. Note that TXD remains in a marking state when idle, which improves the performance of this circuit.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

V_{CC}	-0.3 to +7.0 volts
V_{DRV}	-0.3 to +13.0 volts
RX_{IN}	± 15 volts
TX_{IN}	-0.3 to $V_{CC} + 0.3$ volts
TX_{OUT}	± 15 volts
RX_{OUT}	-0.3 to $V_{CC} + 0.3$ volts
Storage Temperature	-55°C to +125°C
Operating Temperature	0°C to 70°C

* This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Logic Supply	V_{CC}	4.5	5.0	5.5	V	1
Transmit Driver Supply	V_{DRV}	4.5	5–12	13.0	V	1
Logic 1 Input	V_{IH}	2.0		$V_{CC}+0.3$	V	2
Logic 0 Input	V_{IL}	-0.3		+ 0.8	V	
RS-232 Input Range (RX_{IN})	V_{RS}	-15		+15	V	
Dynamic Supply Current $TX_{IN} = V_{CC}$	I_{DRV1}		400	800	μA	3
	I_{CC1}		40	100	μA	
$TX_{IN} = GND$	I_{DRV1}		3.8	5.0	μA	
	I_{CC1}		40	100	μA	
Static Supply Current $TX_{IN} = V_{CC}$	I_{DRV2}		1.5	10.0	μA	4
	I_{CC2}		10.0	15.0	μA	
$TX_{IN} = GND$	I_{DRV2}		3.8	5.0	mA	
	I_{CC2}		10.0	20.0	μA	
Driver Leakage Current ($V_{CC} = 0V$)	I_{DRV3}		0.05	1.0	μA	5

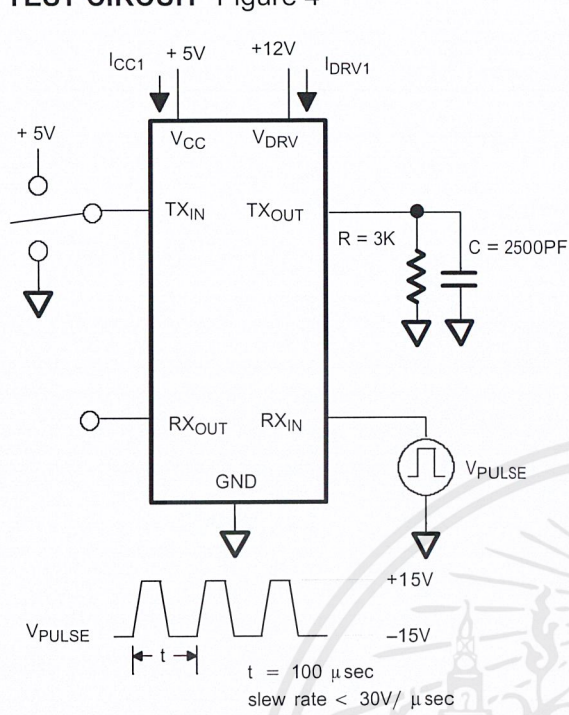
DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS(0°C to 70°C; $V_{CC} = V_{DRV} = 5V \pm 10\%$)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
TX _{OUT} Level High	V _{OTXH}	3.5	4.0	5.0	V	6
TX _{OUT} Level Low	V _{OTXL}	-8.5	-9.0		V	7
TX _{OUT} Short Circuit Current	I _{SC}		+60	+85	mA	
TX _{OUT} Output Slew Rate	t _{SR}			30	V/μs	
Propagation Delay	t _{PD}		5		μs	8
RX _{IN} Input Threshold Low	V _{TL}	0.8	1.2	1.6	V	
RX _{IN} Input Threshold High	V _{TH}	1.6	2.0	2.4	V	
RX _{IN} Threshold Hysteresis	V _{HYS}	0.5	0.8		V	9
RX _{OUT} Output Current @ 2.4 V	I _{OH}	-1.0			mA	
RX _{OUT} Output Current @ 0.4 V	I _{OL}			3.2	mA	

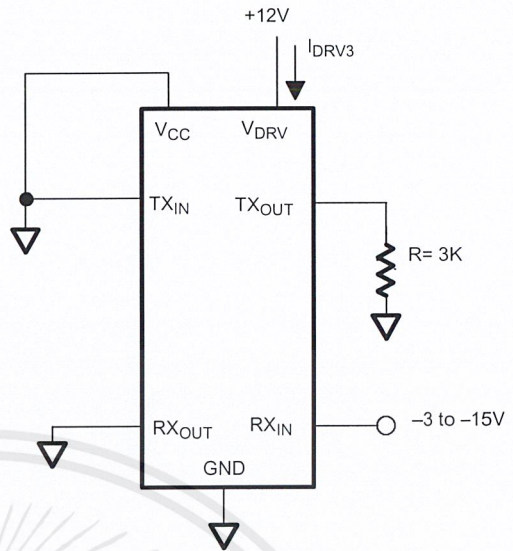
NOTES:

1. V_{DRV} must be greater than or equal to V_{CC} .
2. $V_{CC} = V_{DRV} = 5V \pm 10\%$.
3. See test circuit in Figure 4.
4. See test circuit in Figure 5.
5. See test circuit in Figure 6.
6. TX_{IN} = V_{IL} and TX_{OUT} loaded by 3KΩ to ground.
7. TX_{IN} = V_{IH}, RX_{IN} = -10 volts and TX_{OUT} loaded by 3KΩ to ground.
8. TX_{IN} to TX_{OUT} – see Figure 7.
9. $V_{HYS} = V_{TH} - V_{TL}$.

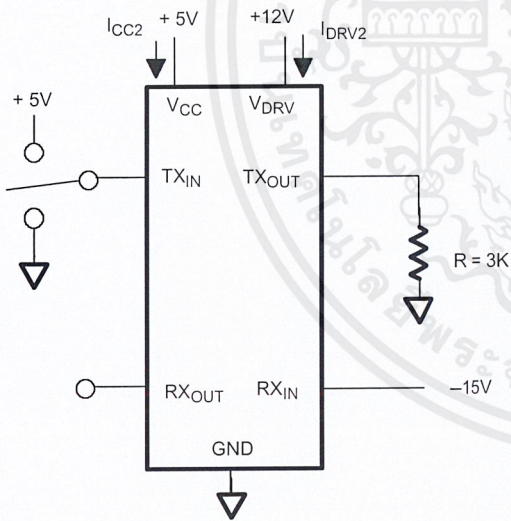
DYNAMIC OPERATING CURRENT TEST CIRCUIT Figure 4



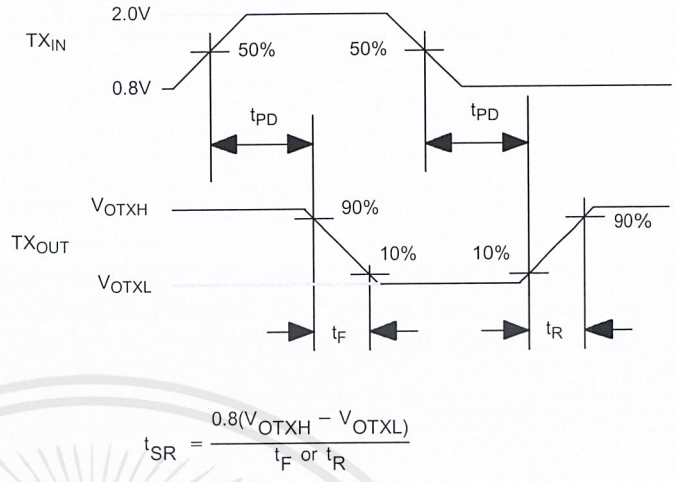
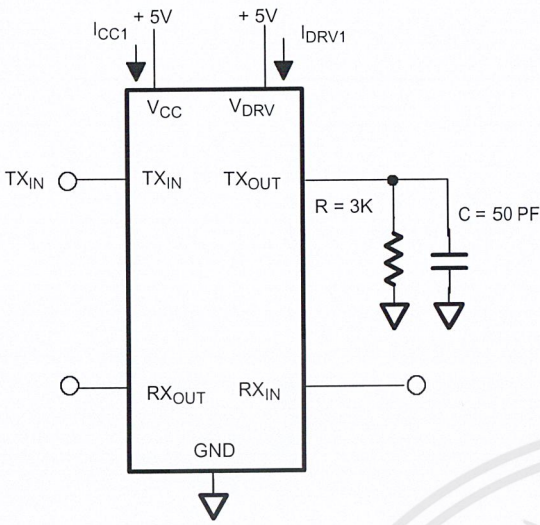
DRIVER LEAKAGE TEST CIRCUIT Figure 6



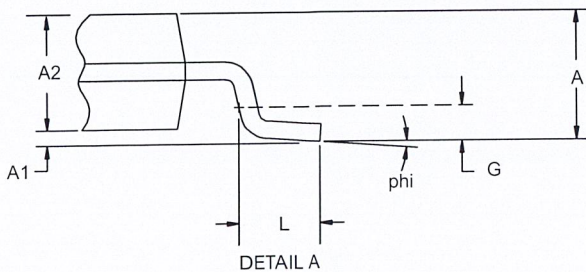
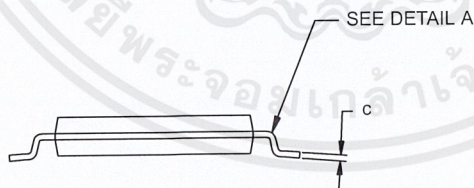
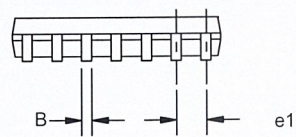
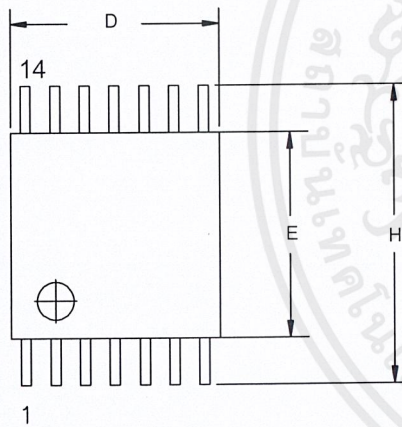
STATIC OPERATING CURRENT TEST CIRCUIT Figure 5



PROPAGATION DELAY TEST CIRCUIT Figure 7



DS275E 14-PIN TSSOP



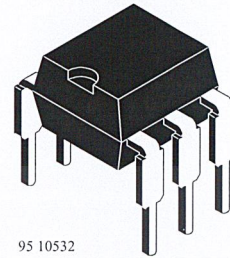
DIM	14-PIN	
	MIN	MAX
A MM	-	1.10
A1 MM	0.05	-
A2 MM	0.75	1.05
B MM	0.18	0.30
C MM	0.09	0.18
D MM	4.90	5.10
E MM	4.40 NOM	
e1 MM	0.65 BSC	
G MM	0.25 REF	
H MM	6.25	6.55
L MM	0.50	0.70
phi	0°	8°

Optocoupler with Phototransistor Output

Description

The 4N25/ 26/ 27/ 28 consist of a phototransistor optically coupled to a gallium arsenide infrared-emitting diode in a 6-lead plastic dual inline package.

The elements are mounted on one leadframe using a coplanar technique, providing a fixed distance between input and output for highest safety requirements.



95 10532

Applications

Galvanically separated circuits for general purposes



Features

- Isolation test voltage (RMS) 3.75 kV
- UL recognized, file No. E-76222
- Low coupling capacity of typical 1 pF
- Current Transfer Ratio (CTR) of typical 100%
- Low temperature coefficient of CTR

Order Schematic

Part Numbers	CTR-Ranking
4N27/ 4N27S/ 4N28/ 4N28S	> 10%
4N25/ 4N25S/ 4N26/ 4N26S	> 20%

Suffix: S = Waterproofed device

Remarks

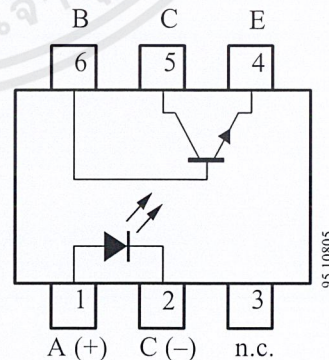
A waterproof construction is recommended for couplers where a pure water cleaning process is used instead of a standard-soldering/ cleaning process. In this case please order the part numbers with the suffix “S”.

The waterproof construction corresponds with the coupling system “S”, and does not belong to the part number itself.

Standard parts are marked with the letter “A”.

This coupling system indicator “A” or “S” is in a separate (second) line of the marking.

Pin Connection



95 10805

Absolute Maximum Ratings

Input (Emitter)

Parameters	Test Conditions	Type	Symbol	Value	Unit
Reverse voltage			V_R	5	V
Forward current			I_F	60	mA
Forward surge current	$t_p \leq 10 \mu s$		I_{FSM}	3	A
Power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ C$		P_V	100	mW
Junction temperature			T_j	125	$^\circ C$

Output (Detector)

Parameters	Test Conditions	Type	Symbol	Value	Unit
Collector base voltage			V_{CBO}	70	V
Collector emitter voltage			V_{CEO}	30	V
Emitter collector voltage			V_{ECO}	7	V
Collector current			I_C	50	mA
Peak collector current	$t_p/T = 0.5, t_p \leq 10 ms$		I_{CM}	100	mA
Power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ C$		P_V	150	mW
Junction temperature			T_j	125	$^\circ C$

Coupler

Parameters	Test Conditions	Type	Symbol	Value	Unit
Isolation test voltage (RMS)			$V_{IO}^{1)}$	3.75	kV
Total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ C$		P_{tot}	250	mW
Ambient temperature range			T_{amb}	-55 to +100	$^\circ C$
Storage temperature range			T_{stg}	-55 to +125	$^\circ C$
Soldering temperature	2 mm from case, $t \leq 10 s$		T_{sd}	260	$^\circ C$

1) Related to standard climate 23/50 DIN 50014

Electrical Characteristics

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$

Input (Emitter)

Parameters	Test Conditions	Type	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Forward voltage	$I_F = 50 \text{ mA}$		V_F		1.25	1.5	V
Breakdown voltage	$I_R = 100 \mu\text{A}$		$V_{(BR)}$	5			V
Junction capacitance	$V_R = 0, f = 1 \text{ MHz}$		C_j		50		pF

Output (Detector)

Parameters	Test Conditions	Type	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Collector base breakdown voltage	$I_C = 100 \mu\text{A}$		$V_{(BR)CB0}$	70			V
Collector emitter breakdown voltage	$I_E = 1 \text{ mA}$		$V_{(BR)CE0}$	30			V
Emitter collector breakdown voltage	$I_E = 100 \mu\text{A}$		$V_{(BR)ECO}$	7			V
Collector dark current	$V_{CB} = 10 \text{ V}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$		I_{CBO} I_{CEO}		0.1 3.5	20 50	nA nA

Coupler

Parameters	Test Conditions	Type	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Isolation test voltage (RMS)	$f = 50 \text{ Hz}, t = 2 \text{ s}$		$V_{IO}^{1)}$	3.75			kV
Isolation resistance	$V_{IO} = 1 \text{ kV}, 40\%$ relative humidity		$R_{IO}^{1)}$		10^{12}		Ω
I_C/I_F	$V_{CE} = 10 \text{ V},$ $I_F = 10 \text{ mA}$	4N25(S), 4N26(S), 4N27(S), 4N28(S)	CTR CTR	0.2 0.1	1 1		
Collector emitter saturation voltage	$I_F = 50 \text{ mA},$ $I_C = 2 \text{ mA}$		V_{CEsat}			0.5	V
Cut-off frequency	$V_{CE} = 5 \text{ V},$ $I_F = 10 \text{ mA},$ $R_L = 100 \Omega$		f_c		110		kHz
Coupling capacitance	$f = 1 \text{ MHz}$		C_k		1		pF

1) Related to standard climate 23/50 DIN 50014

Switching Characteristics (Typical Values)

Type	$R_L = 100 \Omega$ (see figure 1)							$R_L = 1 \text{ k}\Omega$ (see figure 2)		
	$t_d[\mu\text{s}]$	$t_r[\mu\text{s}]$	$t_{on}[\mu\text{s}]$	$t_s[\mu\text{s}]$	$t_f[\mu\text{s}]$	$t_{off}[\mu\text{s}]$	$I_C[\text{mA}]$	$t_{on}[\mu\text{s}]$	$t_{off}[\mu\text{s}]$	$I_F[\text{mA}]$
4N25-28			4			3	10	9	18	10

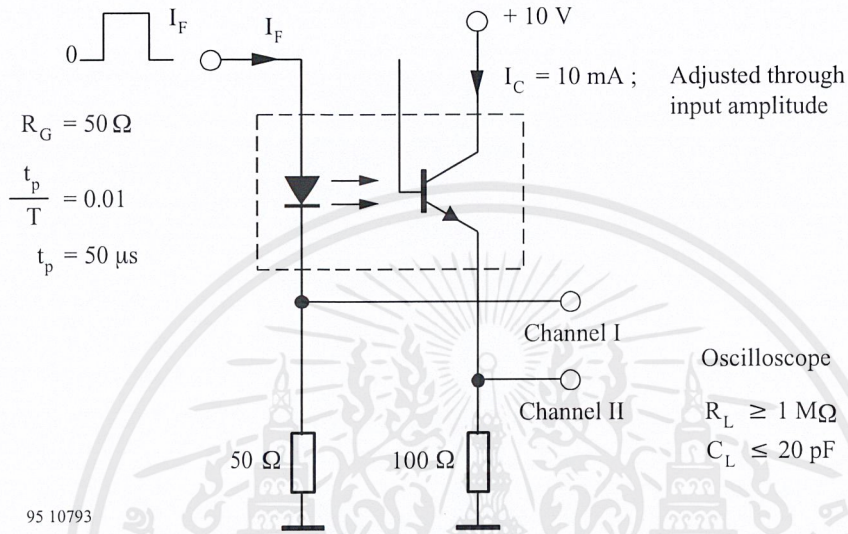


Figure 1. Test circuit, non-saturated operation

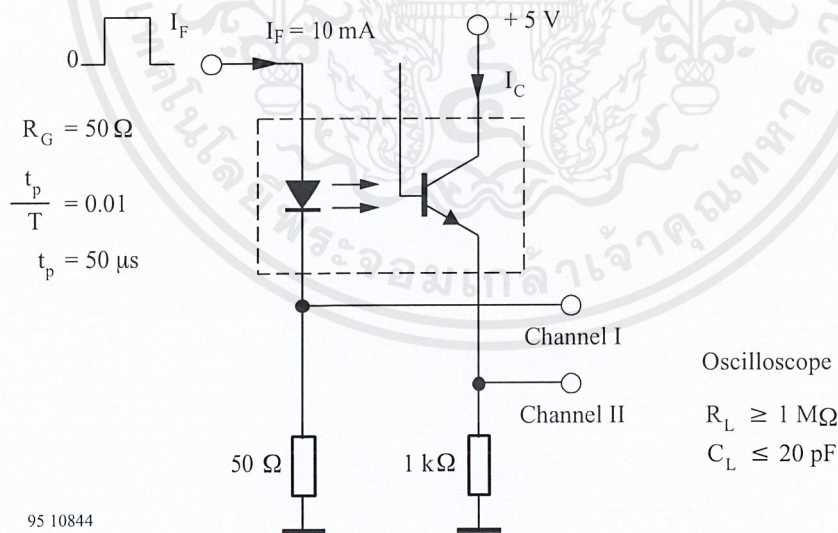


Figure 2. Test circuit, saturated operation

Typical Characteristics ($T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)

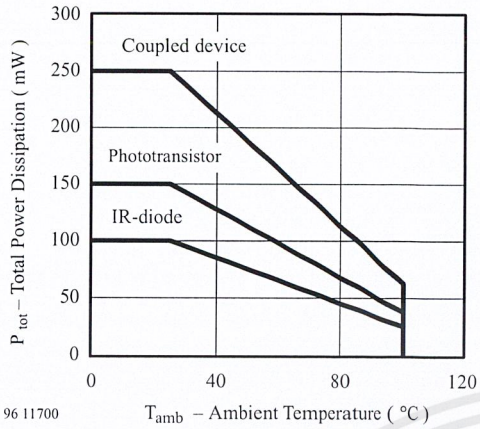


Figure 3. Total Power Dissipation vs. Ambient Temperature

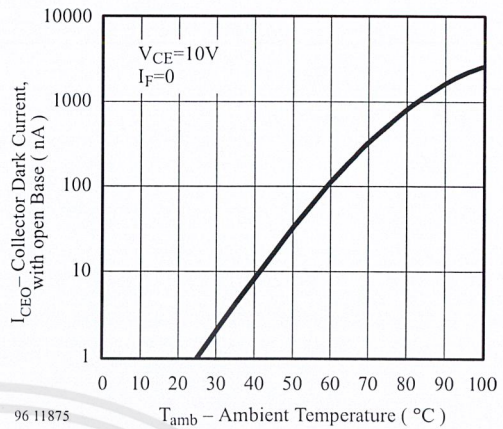


Figure 6. Collector Dark Current vs. Ambient Temperature

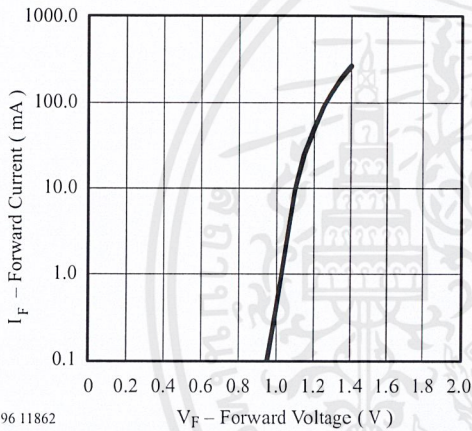


Figure 4. Forward Current vs. Forward Voltage

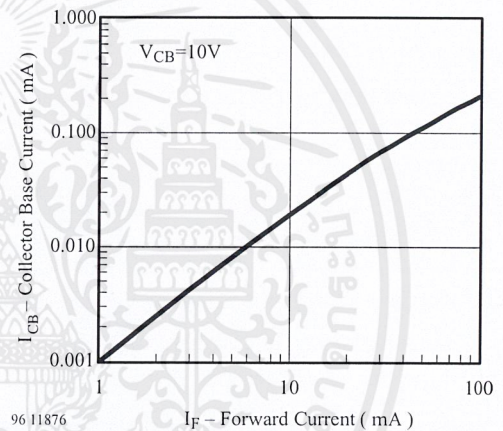


Figure 7. Collector Base Current vs. Forward Current

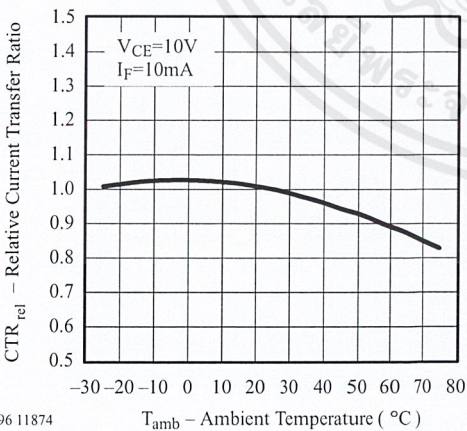


Figure 5. Rel. Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

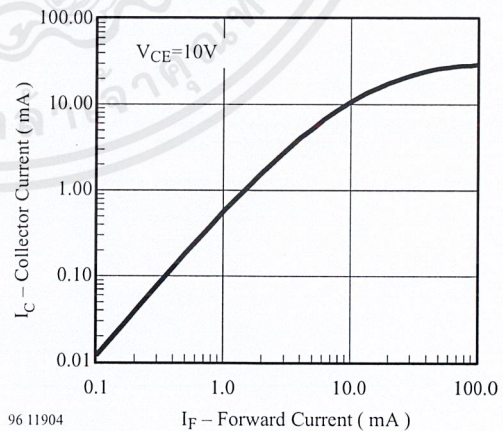
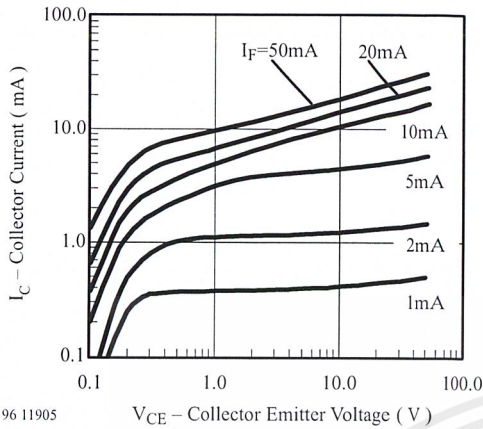
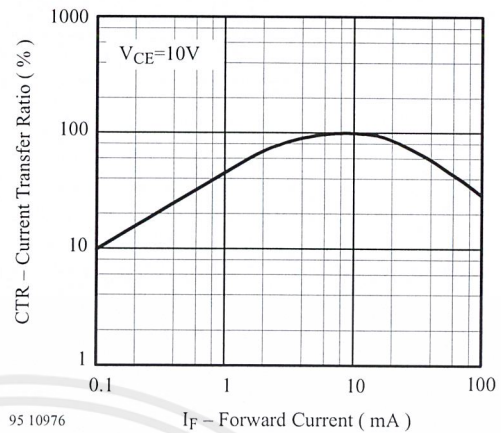


Figure 8. Collector Current vs. Forward Current

Typical Characteristics ($T_{amb} = 25^{\circ}C$, unless otherwise specified)



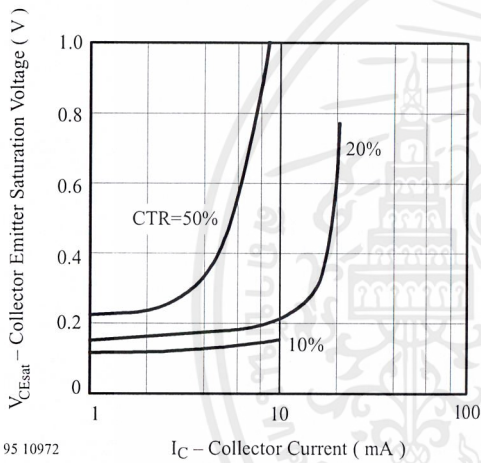
96 11905



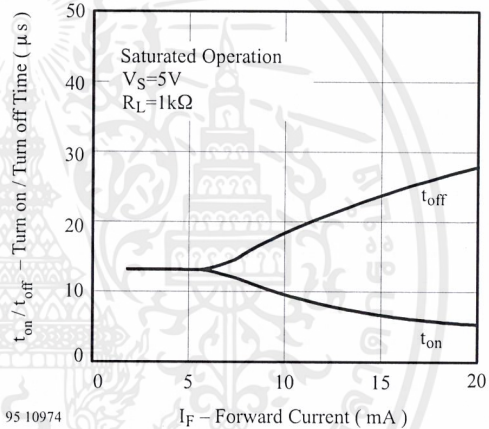
95 10976

Figure 9. Collector Current vs. Collector Emitter Voltage

Figure 12. Current Transfer Ratio vs. Forward Current



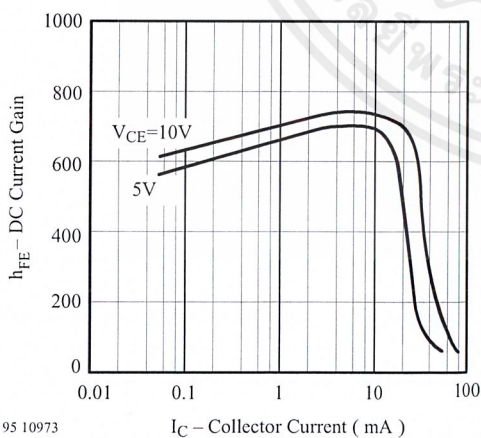
95 10972



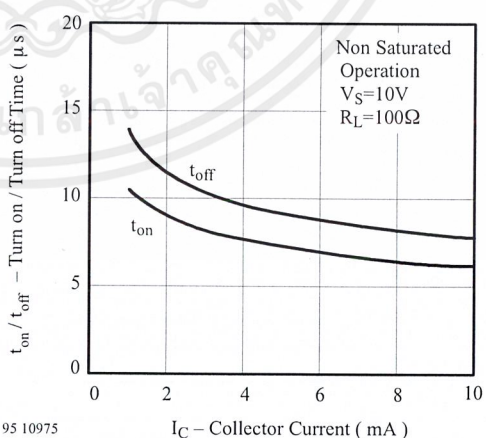
95 10974

Figure 10. Collector Emitter Sat. Voltage vs. Collector Current

Figure 13. Turn on/ off Time vs. Forward Current



95 10973

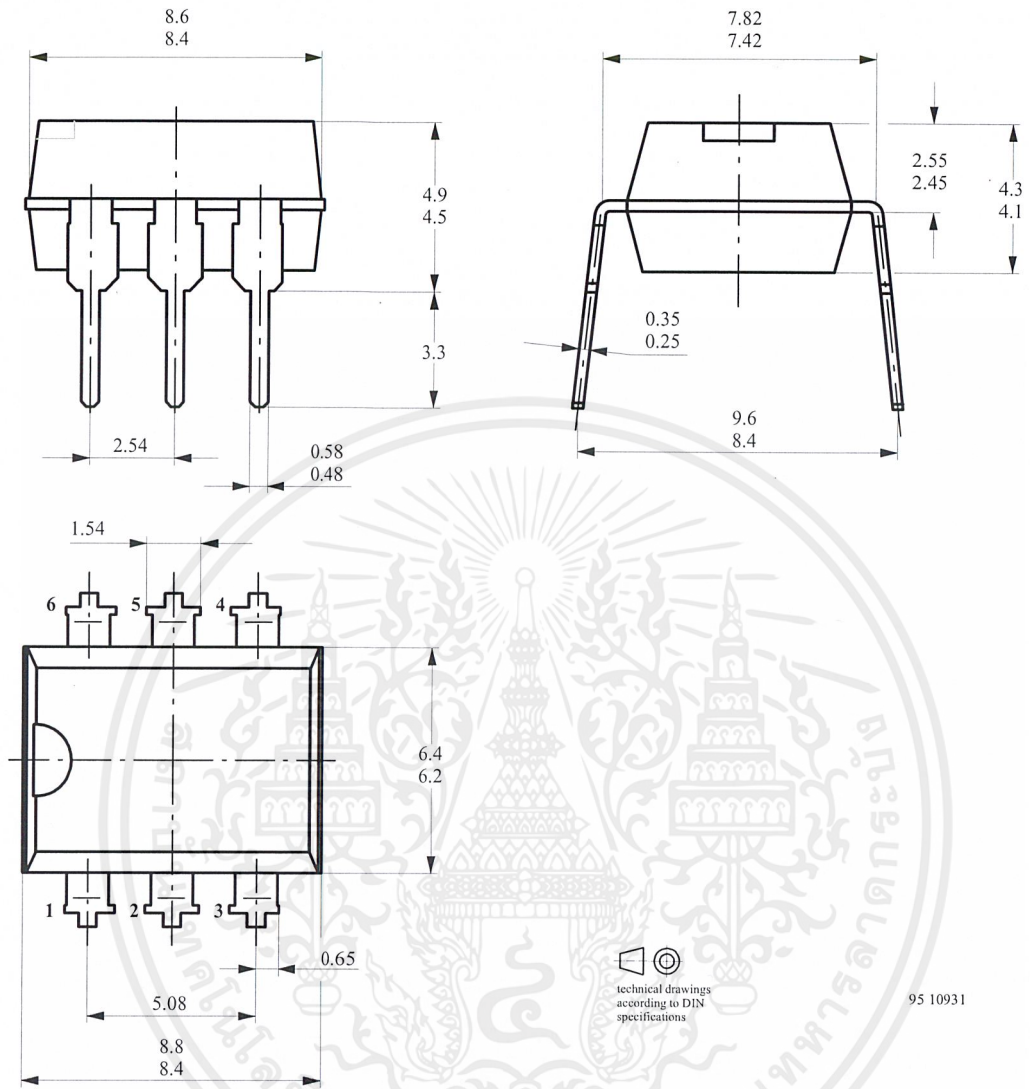


95 10975

Figure 11. DC Current Gain vs. Collector Current

Figure 14. Turn on/ off Time vs. Collector Current

Dimensions in mm



Ozone Depleting Substances Policy Statement

It is the policy of **TEMIC TELEFUNKEN microelectronic GmbH** to

1. Meet all present and future national and international statutory requirements.
2. Regularly and continuously improve the performance of our products, processes, distribution and operating systems with respect to their impact on the health and safety of our employees and the public, as well as their impact on the environment.

It is particular concern to control or eliminate releases of those substances into the atmosphere which are known as ozone depleting substances (ODSs).

The Montreal Protocol (1987) and its London Amendments (1990) intend to severely restrict the use of ODSs and forbid their use within the next ten years. Various national and international initiatives are pressing for an earlier ban on these substances.

TEMIC TELEFUNKEN microelectronic GmbH semiconductor division has been able to use its policy of continuous improvements to eliminate the use of ODSs listed in the following documents.

1. Annex A, B and list of transitional substances of the Montreal Protocol and the London Amendments respectively
2. Class I and II ozone depleting substances in the Clean Air Act Amendments of 1990 by the Environmental Protection Agency (EPA) in the USA
3. Council Decision 88/540/EEC and 91/690/EEC Annex A, B and C (transitional substances) respectively.

TEMIC can certify that our semiconductors are not manufactured with ozone depleting substances and do not contain such substances.

We reserve the right to make changes to improve technical design and may do so without further notice.

Parameters can vary in different applications. All operating parameters must be validated for each customer application by the customer. Should the buyer use TEMIC products for any unintended or unauthorized application, the buyer shall indemnify TEMIC against all claims, costs, damages, and expenses, arising out of, directly or indirectly, any claim of personal damage, injury or death associated with such unintended or unauthorized use.

TEMIC TELEFUNKEN microelectronic GmbH, P.O.B. 3535, D-74025 Heilbronn, Germany
Telephone: 49 (0)7131 67 2831, Fax number: 49 (0)7131 67 2423

บรรณานุกรม

กฤษดา ใจเย็น , อรรถพล บุญยะโกคา และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตวิไล , เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อกอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ทอนุกรม , พิมพ์ครั้งที่ 1 , บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.

มงคล ทองสงคราม , อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น , พิมพ์ครั้งที่ 4 , ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พรินติ้ง.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำโครงการพิเศษ

นายณัฐพล บัวเยี่ยม เกิดเมื่อวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2524 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2535 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน เมื่อปีการศึกษา 2537 จากนั้นเข้าเรียนต่อระดับปริญญาตรี ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2544

นายวิธ เชาวศิลป์ เกิดเมื่อวันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2523 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ บดินทรเดชา เมื่อปีการศึกษา 2535 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน 3 เมื่อปีการศึกษา 2537 จากนั้นเข้าเรียนต่อระดับปริญญาตรี ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้