การประยุกต์ใช้โปรแกรม Lab VIEW

Lab VIEW Application

โดย

นาย สราวุธ แก้วชินพร

นาย สุรชัย อุดมโภชน์

นาย อนุชา ฉิมพาลี

วัน เดือน ปี 24 ตค. 2541

เลขทะเบียน 039132

เลขเรียกหนังสือ T 10371 ส355ก

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้โปรแกรม Lab VIEW

Lab VIEW Application

โดย

นาย สราวุธ แก้วชินพร

นาย สุรชัย อุดมโภชน์

นาย อนุชา ฉิมพาลี

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานเรื่อง การประยุกต์โปรแกรม Lab VIEW

Lab VIEW Application

จัดทำโดย

1. นาย สราวุธ แก้วชินพร เลขประจำตัว 38013253
2. นาย สุรชัย อุดมโภชน์ เลขประจำตัว 38013256
3. นาย อนุชา ฉิมพาลี เลขประจำตัว 38013260

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษา

รายงานนี้ได้ผ่านการตรวจสอบแล้ว โดยอาจารย์ที่ปรึกษา

ลงชื่อ_____อาจารย์ที่ปรึกษา

วันที่__/__/__

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้โปรแกรม Lab VIEW

นาย สราวุธ แก้วชินพร
นาย สุรชัย อุดมโภชน์
นาย อนุชา ฉิมพาลี
รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์
อาจารย์ที่ปรึกษา
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้นำเสนอการวัดคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ โดยแสดงผลออกมาเป็นเส้นแสดงลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ (Characteristic curves) โดยการใช้โปรแกรม LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) มาประยุกต์เขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อและควบคุมอุปกรณ์ GIPB แล้วนำไปวัดและทดสอบกับทรานซิสเตอร์ จากนั้นนำค่าที่ได้มาประมวลผลและแสดงผลเป็นเส้นแสดงลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ นอกจากนั้นยังมีการเก็บผลการวัดและทดสอบเป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการอ้างอิงการออกแบบวงจร ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lab VIEW Application

Mr. SARAWUT KHAEWCHINPRON
Mr. SURACHAI UDOMPOTE
Mr. ANUCHA CHIMPHALEE
Assoc.prof.Dr. MANAS SANGWORASILP
2nd Semester, Educational Year 1997

Abstract

This Report is present to measure characteristic of transistor. The objective to indicate result is characteristic curves by using program LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) to application writing program for link and control instrument of GPIB. Then measurement and test transistor after that takes these values to processing and indication of result is transistor characteristic curves. Beside, it's save result of measurement and test to database. It uses for reference to designing transistor circuit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำรายงานในโครงงานครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับคำชี้แนะจาก รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์ และขอขอบคุณเพื่อนๆ ร่วมโครงงานที่ช่วยทำให้รายงานในโครงงานนี้เสร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
สารบัญรูป	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทรานซิสเตอร์สองรอยต่อ	2
2.1 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์	2
2.2 การทำงานเบื้องต้นของทรานซิสเตอร์	3
2.3 ค่าพิกัดและพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์	4
2.4 การไบแอสทรานซิสเตอร์	11
2.4.1 การไบแอสเบส	11
2.4.2 การไบแอสอิมิตเตอร์	12
2.4.3 การไบแอสด้วยการแบ่งแรงดัน	13
2.4.4 วงจรไบแอสด้วยการป้อนกลับทรานซิสเตอร์	15
2.5 จุดทำงานในวงจรไฟตรง	15
บทที่ 3 Lab VIEW	21
3.1 การทำงานของ LabVIEW	22
3.1.1 Front Panel	22
3.1.2 Block Diagram	23
3.1.3 Icon และ Connector	23
3.2 ส่วนประกอบต่างๆของ LabVIEW	24
3.2.1 Front Panels	24
3.2.2 Block Diagram	25
3.2.3 Icon และ Connector	28
3.2.4 Pull-Down Menus	29
3.2.5 Pop-Up Menu	31
3.2.6 Edit Mode และ Run Mode	34
3.2.7 Help	37
บทที่ 4 หลักการวัดคุณสมบัติทรานซิสเตอร์	39
4.1 หลักการทำงานของโปรแกรม LabVIEW	39

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

4.1.1 การวัดคุณสมบัติพร้อมกับการเก็บฐานข้อมูล 40

4.1.2 การแสดงกราฟจากฐานข้อมูล 42

4.2 อินเตอร์เฟสบัสเอนกประสงค์ (GPIB) 44

4.3 วงจรที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติทรานซิสเตอร์ 46

บทที่ 5 ผลการทดลอง 47

5.1 การแสดงกราฟคุณสมบัติ 47

5.2 ลักษณะการเก็บฐานข้อมูล 54

บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ 55

บรรณานุกรม 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ PNP 2

รูปที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ 3

รูปที่ 2.3 แสดงการไบแอสทรานซิสเตอร์ 3

รูปที่ 2.4 แสดงโมเดลของทรานซิสเตอร์ NPN และ PNP และทิศทางของกระแส I_E, I_C, I_B ที่เกิดการไบแอสถูกต้อง 4

รูปที่ 2.5 แสดงวงจรการไบแอสทรานซิสเตอร์ด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง V_{BB} และ V_{CC} 4

รูปที่ 2.6 แสดงไบแอสทรานซิสเตอร์ NPNและการกำหนดกระแสแรงดันในวงจรเพื่อวิเคราะห์แบบไฟตรง 6

รูปที่ 2.7 แสดงเส้นลักษณะสมบัติของคอลเลกเตอร์ (a),(b) 7

รูปที่ 2.7 แสดงเส้นลักษณะสมบัติของคอลเลกเตอร์ (c) 8

รูปที่ 2.8 แสดงการรั่วไหลที่คอลเลกเตอร์ (I_{CEO}) .ในสภาวะคัตออฟ 8

รูปที่ 2.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแส I_C ,I_B และแรงดันV_{CE} ของทรานซิสเตอร์ในสภาวะจุดอิ่มตัว และเส้นแสดงลักษณะสมบัติของคอลเลกเตอร์ในสภาวะจุดอิ่มตัว 9

รูปที่ 2.10 แสดง β_{dc} และค่า I_C ที่เปลี่ยนไปตามค่าของอุณหภูมิ 9

รูปที่ 2.11 เส้นแสดงลักษณะสมบัติของกำลังไฟฟ้าสูงสุด $P_{D(max)}$ ของทรานซิสเตอร์ 10

รูปที่ 2.12 แสดงวงจรไบแอสเบส (Base Bias) 11

รูปที่ 2.13 แสดงผลของ I_{CBO} 12

รูปที่ 2.14 แสดงวงจรไบแอสอิมิตเตอร์ 12

รูปที่ 2.15 แสดงวงจร Emitter Bias กับทรานซิสเตอร์ชนิด PNP 13

รูปที่ 2.16วงจร Voltage-divider Bias 13

รูปที่ 2.17 Simplified Voltage-divider 13

รูปที่ 2.18 แสดงการใช้วงจรเทียบเท่าของเทเวนิน วิเคราะห์วงจรไบแอสด้วยการแบ่งแรงดัน 14

รูปที่ 2.19 การไบแอสทรานซิสเตอร์ PNP 15

รูปที่ 2.20 การไบแอสทรานซิสเตอร์ PNP ที่เปลี่ยนการจัดวาง 15

รูปที่ 2.21 วงจรไบแอสป้อนกลับที่คอลเลกเตอร์ (Collector-feedback Bias) 15

รูปที่ 2.22 แสดงการหากราฟลักษณะสมบัติทางคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN 16

รูปที่ 2.23 แสดงการปรับจุดทำงาน (Q-Point)ของวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์ 17

รูปที่ 2.24 แสดงเส้นโหลดไฟตรง (DC Load Line) 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.25 แสดงการเปลี่ยนค่าสัญญาณอินพุท (I_B)เป็นผลต่อกระแส I_C และแรงดัน V_{CE} 19
รูปที่ 2.26 แสดงภาพความเพี้ยนของสัญญาณขาออกที่ได้จากวงจรขยายทรานซิสเตอร์ 20
รูปที่ 3.1 แสดง LabVIEW ที่ติดต่อกับผู้ใช้และโปรแกรมภายใต้การติดต่อ 22
รูปที่ 3.2 แสดง Front Panel 23
รูปที่ 3.3 แสดง Block diagram 23
รูปที่ 3.4 แสดง Icon และ Connector 24
รูปที่ 3.5 แสดง LabVIEW Front Panel 25
รูปที่ 3.6 แสดง Node, Terminals และ Wires 26
รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะชนิดของสายต่างๆ 27
รูปที่ 3.8 แสดง Icon และ Connector 28
รูปที่ 3.9 แสดง Icon Pane 29
รูปที่ 3.10 แสดงเมนูต่างๆ 29
รูปที่ 3.11 แสดง Function Menu 30
รูปที่ 3.12 แสดงลำดับขั้นต่างๆของเมนู 32
รูปที่ 3.13 แสดง Pop-Up Menu 33
รูปที่ 3.14 แสดง Tool Palette-Edit Mode 34
รูปที่ 3.15 แสดง Tool Palette-Run Mode 35
รูปที่ 3.16 แสดง Help Window 37
รูปที่ 4.1 แสดงการเชื่อมต่อของส่วนต่างๆที่ใช้ในการวัดกราฟคุณสมบัติ 39
รูปที่ 4.2 แสดง Block Diagram การทำงานหลักของการเก็บคุณสมบัติพร้อมกับการเก็บฐานข้อมูล 41
รูปที่ 4.3 แสดง Block Diagram การทำงานหลักของโปรแกรมในการแสดงกราฟจากฐานข้อมูล 43
รูปที่ 4.4 แสดง Block Diagram การปรับค่า Power Supply ของ GPIB โดยควบคุมจากโปรแกรม LabVIEW 45
รูปที่ 4.5 แสดงวงจรที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ PNP 46
รูปที่ 5.1 แสดงกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์จากฐานข้อมูลที่ I_B มีค่า 20uA-40uA 48
รูปที่ 5.2 แสดงกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์จากการวัดและเก็บฐานข้อมูลที่ I_B มีค่า 20uA-40uA 49
รูปที่ 5.3 แสดงกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์จากฐานข้อมูลที่ I_B มีค่า 50uA-100uA 50

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.4 แสดงกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์จากการวัดและเก็บฐานข้อมูลที่ I_B มีค่า 50uA-100uA 51
รูปที่ 5.5 แสดงกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์จากฐานข้อมูลที่ I_B มีค่า 100uA-200uA 52
รูปที่ 5.6 แสดงกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์จากการวัดและเก็บฐานข้อมูลที่ I_B มีค่า 100uA-200uA 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในวงจรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับทางอิเล็กทรอนิกส์นั้น จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดมาประกอบกันเป็นวงจร ซึ่งทรานซิสเตอร์ก็เป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญในวงจรต่างๆมากมาย และในการใช้งานทรานซิสเตอร์นี้จำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติของมัน เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้งานได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับลักษณะของงาน

Lab VIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบสำหรับเครื่อง Personal Computers (PCs) ทำงานบน Microsoft Windows โปรแกรม Lab VIEW เรียกว่า Virtual Instruments (VIs)ซึ่ง VI ประกอบด้วย Front panel และ Block diagram โดยมีทั้ง อินพุท(Input) และ เอาท์พุท (Output) มีลักษณะสำคัญคือให้ผู้ใช้สั่งงานผ่านทางหน้าจอ (Front panel มีลักษณะคล้ายกับด้านหน้าของเครื่องมือต่างๆ) และ Block diagram เป็นส่วนของโปรแกรมทำหน้าที่ ประมวลผล ในการใช้งานในโครงงานนี้จะให้ต่อร่วมกับ IEEE 488 (GPIB) โดยใช้ Lab VIEW ควบคุม GPIB (ควบคุม Power Supply และ MultiMater) ให้จ่ายแรงดันเป็นระดับและวัดกระแส เพื่อนำไปประมวลผลและแสดงโดยพล็อตเป็นกราฟออกทางจอมอนิเตอร์

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทรานซิสเตอร์สองรอยต่อ
บทที่ 3 โปรแกรม Lab VIEW
บทที่ 4 หลักการวัดคุณสมบัติทรานซิสเตอร์
บทที่ 5 ผลการทดลอง
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์

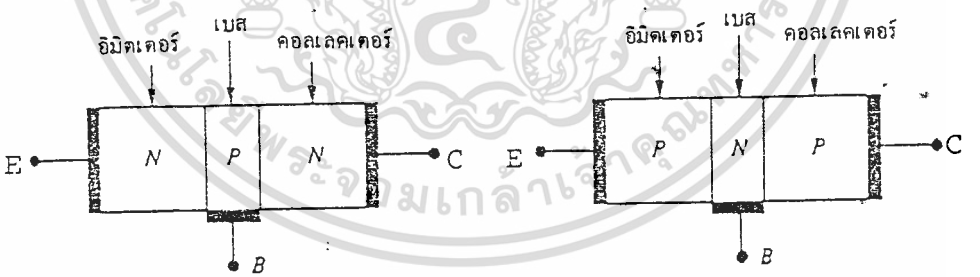
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการทรานซิสเตอร์สองรอยต่อ

ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อถูกค้นพบครั้งแรกโดยคณะทำงานของห้องปฏิบัติการของบริษัทเบลเทเลคฟนในปี ค.ศ. 1947 นับได้ว่าเป็นการปลุกโลกของวิวัฒนาการการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ทรานซิสเตอร์สองรอยต่อเรียกด้วยตัวย่อว่า BJT (Bipolar Junction Transistor) ทรานซิสเตอร์ (BJT) ถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น วงจรขยายในเครื่องรับวิทยุและเครื่องรับโทรทัศน์หรือนำไปใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ (Switching) เช่น เปิด-ปิด รีเลย์ (Relay) เพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ เป็นต้น

2.1 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อหรือ BJT นี้ ประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นต่อกันโดยการเติมสารเจือปน (Doping) จำนวน 3 ชั้นทำให้เกิดรอยต่อ (Junction) ขึ้นจำนวน 2 รอยต่อ การสร้างทรานซิสเตอร์จึงสร้างได้ 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีสารชนิดเอ็น 2 ชั้นหรือเรียกว่า ชนิด NPN และชนิดที่มีสารชนิดพี 2 ชั้นเรียกว่า ชนิด PNP โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN แสดงใน รูปที่ 3.1(a) และชนิด PNP แสดงในรูปที่ 3.1 (b)



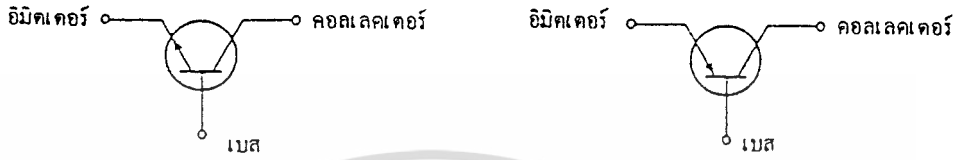
(a) npn (b) pnp

รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ PNP

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าโครงสร้างของทรานซิสเตอร์จะมีสารกึ่งตัวนำ 3 ชั้น แต่ละชั้นจะต่อลวดตัวนำจากเนื้อสารกึ่งตัวนำไปใช้งาน ชั้นที่เล็กที่สุด (บางที่สุด) เรียกว่า เบส (Base) ใช้ตัวอักษรย่อ B สำหรับสารกึ่งตัวนำชั้นที่เหลือคือคอลเลกเตอร์ (Collector หรือ C) และ อิมิตเตอร์ (Emitter หรือ E) นั่นคือทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด NPN และชนิด PNP จะมี 3 ขา คือ ขาเบส ขาคอลเลกเตอร์ และขาอิมิตเตอร์ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์นิยมเขียนทรานซิสเตอร์แทนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 การสังเกตขาของทรานซิสเตอร์นั้นจะบอกชนิดของทรานซิสเตอร์ ได้ดูที่ขาอิมิตเตอร์ (E) ถ้าหัวลูกศรชี้ออกจะเป็นสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN แต่ถ้าหัวลูกศรของขา E ตรงกันข้ามจะเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด PNP หัวลูกศรนั้นจะแสดงทิศทางการไหลของกระแส ในรอยต่อของทรานซิสเตอร์



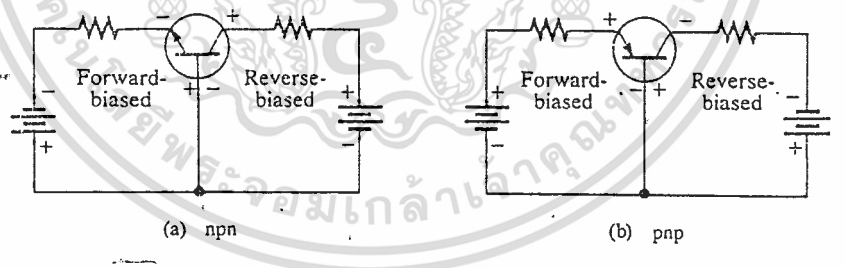
รูปที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์

2.2 การทำงานเบื้องต้นของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ทั้งสองชนิด NPN และชนิด PNP เมื่อนำไปใช้งานไม่ว่าจะใช้ในวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) หรือทำงานเป็นสวิตช์ จะต้องทำการไบแอสให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ โดยใช้หลักการไบแอสดังนี้

1. ไบแอสตรง ให้รอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์กับเบส
2. ไบแอสกลับ ให้กับรอยต่อระหว่างคอลเลกเตอร์กับเบส

ดังแสดงในรูปที่2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการไบแอสทรานซิสเตอร์

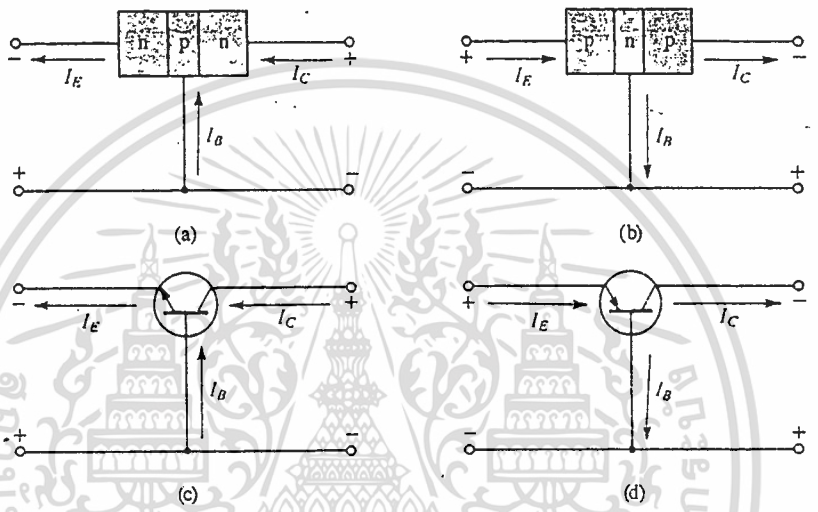
พิจารณาการไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ดังรูปที่ 2.3 (a) จะเห็นว่าทำการไบแอสตรงให้กับรอยต่ออิมิตเตอร์-เบส โดยให้ศักดาบวกกับเบส (เพราะเบสเป็น P) และให้ศักดาลบกับอิมิตเตอร์ (เพราะอิมิตเตอร์เป็น N) เช่นเดียวกันต้องให้ไบแอสกลับกับรอยต่อคอลเลกเตอร์-เบส โดยให้ศักดาบวกกับคอลเลกเตอร์ (เพราะคอลเลกเตอร์เป็น N) และให้ศักดาลบกับเบส (เพราะเบสเป็น P) นี่คือ การไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ที่ต้องถูกต้องตามเงื่อนไข 2 ข้อที่กำหนดไว้ การไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ก็กระทำเช่นเดียวกันดังรูปที่ 2.3 (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสคอลเลกเตอร์ (I_C) จะไหลเป็นจำนวนมาก และไหลออกจากคอลเลกเตอร์มารวมกับกระแสเบส (I_B) กระแสทั้งสองจำนวนนี้จะไหลไปสู่ขาอิมิตเตอร์เป็นกระแสอิมิตเตอร์ (I_E) เป็นไปตามสมการ 2-1

$$I_E = I_C + I_B \qquad \text{.....(2-1)}$$

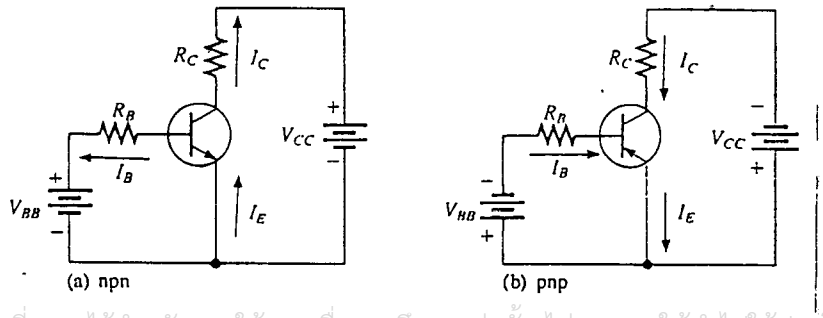
เมื่อนำทิศทางการไหลของกระแสระหว่างรอยต่อต่างๆ ของทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด NPN และ PNP สามารถเขียนได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงโมเดลของทรานซิสเตอร์ NPN และ PNP และทิศทางของกระแส I_E, I_C, I_B ที่เกิดการไบแอสที่ถูกต้อง

2.3 ค่าพิกัดและพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์

แรงดันไบแอสที่นิยมเขียนกำกับไว้ที่แหล่งจ่ายที่ไบแอสให้กับวงจรทรานซิสเตอร์มี 2 ค่า คือ V_{BB} ใช้แทนแหล่งจ่ายที่ให้ไบแอสตรงกับทรานซิสเตอร์และ V_{CC} ให้แทนแหล่งจ่ายที่ให้ไบแอสกลับกับทรานซิสเตอร์ใช้ได้กับทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด NPN และ PNP แสดงในรูปที่ 2.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 แสดงวงจรการไบแอสทรานซิสเตอร์ด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง V_{BB} และ V_{CC}

ค่าดีซี เบต้า (β_{dc}) และค่าดีซี แอลฟา (α_{dc}) ค่าเบต้า (Beta) หรือ β_{dc} หมายถึงอัตราส่วนระหว่างกระแสคอลเลกเตอร์ (I_C) กับกระแสเบส (I_B) ดังสมการ

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} \qquad \text{.....(3-2)}$$

ทรานซิสเตอร์โดยทั่วไปจะมีค่า β_{dc} อยู่ระหว่าง 20-200 หรือมากกว่าจากคู่มือ (Data sheet) ของทรานซิสเตอร์ อาจเรียกค่า β_{dc} ว่า h_{fe} ซึ่งหมายความถึงอัตราขยาย (Gain) ทางกระแสของทรานซิสเตอร์

สำหรับ α_{dc} (แอลฟา, Alpha) คืออัตราขยายทางกระแสระหว่างกระแสคอลเลกเตอร์ (I_C) กับกระแสอิมิตเตอร์ (I_E) ปกติจะมีค่าไม่เกิน 1 คือ มีค่าระหว่าง 0.95-0.99 ดังสมการ

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_B} \qquad \text{.....(2-3)}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า α_{dc} และ β_{dc} (Relationship of α_{dc} และ β_{dc})

เมื่อกำหนดให้ $I_E = I_C + I_B$ (หารตลอดด้วย I_C)

ดังนั้น

$$\frac{I_E}{I_C} = \frac{I_C}{I_C} + \frac{I_B}{I_C}$$

$$\alpha_{dc} = 1 + \frac{I_C}{I_B}$$

แต่ $\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$ และ $\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$ ดังนั้น

$$\frac{1}{\alpha_{dc}} = 1 + \frac{1}{\beta_{dc}}$$

$$\frac{1}{\alpha_{dc}} = \frac{\beta_{dc} + 1}{\beta_{dc}}$$

$$\alpha_{dc} = \frac{\beta_{dc}}{1 + \beta_{dc}} \qquad \text{.....(2-4)}$$

จากสมการ 2-4 สามารถหาค่า α_{dc} ได้เมื่อรู้ค่า β_{dc} ในทำนองเดียวกันสามารถหาค่า β_{dc} ได้จากค่า α_{dc} ตามสมการ 2-5

$$\alpha_{dc}(\beta_{dc} + 1) = \beta_{dc}$$

$$\alpha_{dc}\beta_{dc} + \alpha_{dc} = \beta_{dc}$$

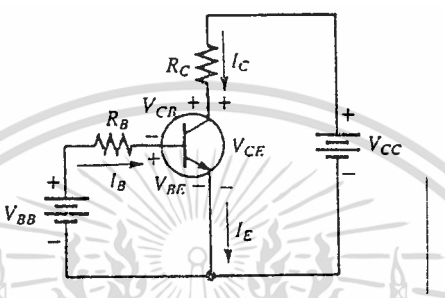
$$\alpha_{dc} = \beta_{dc} - \alpha_{dc} \cdot \beta_{dc}$$

$$\beta_{dc}(1 - \alpha_{dc}) = \alpha_{dc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta_{dc} = \frac{\alpha_{dc}}{1+\alpha_{dc}} \qquad \text{.....(2-5)}$$

การวิเคราะห์วงจรไฟตรง (DC Analysis) วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์เมื่อวิเคราะห์แบบไฟตรงแสดงดังรูปที่ 2.6 พารามิเตอร์สำคัญที่ต้องพิจารณาคือ กระแส I_B, I_E, I_C และแรงดัน V_{BE}, V_{CB} และ V_{CE}



รูปที่ 2.6 แสดงการไบแอสทรานซิสเตอร์ NPN และการกำหนดกระแสแรงดันในวงจรเพื่อวิเคราะห์แบบไฟตรง

การกำหนดชื่อแหล่งจ่ายไบแอสนิยมกำหนด V_{BB} เป็นแหล่งจ่ายไบแอสตรงระหว่างเบสและอิมิตเตอร์ สำหรับ V_{CC} นิยมกำหนดเป็นแหล่งไบแอสกลับให้กับรอยต่อคอลเลกเตอร์กับอิมิตเตอร์ จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่า เมื่อเบสและอิมิตเตอร์ได้รับไบแอสตรงจะเกิดแรงดันคร่อมรอยต่อดังนี้

$$V_{BE} \cong 0.7V \qquad (2\text{-}6)$$

แรงดันตกคร่อม R_B คือ

$$V_{RB} = V_{BB} - V_{BE}$$

และ $V_{RB} = I_B R_B$

ดังนั้น $I_B R_B = V_{BB} - V_{BE}$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \qquad \text{.....(2-7)}$$

จากสมการ (2-3) หาค่า I_E ได้จาก

$$I_E = \frac{I_C}{\alpha_{dc}}$$

จากสมการ (2-2) หาค่า I_C ได้จาก

$$I_C = \alpha_{dc} I_B$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแรงดันตกคร่อม R_C คือ

$$V_{RC} = I_C R_C$$

แรงดันตกคร่อมรอยต่อคอลเลกเตอร์กับอิมิตเตอร์คือ

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad \text{.....(2-8)}$$

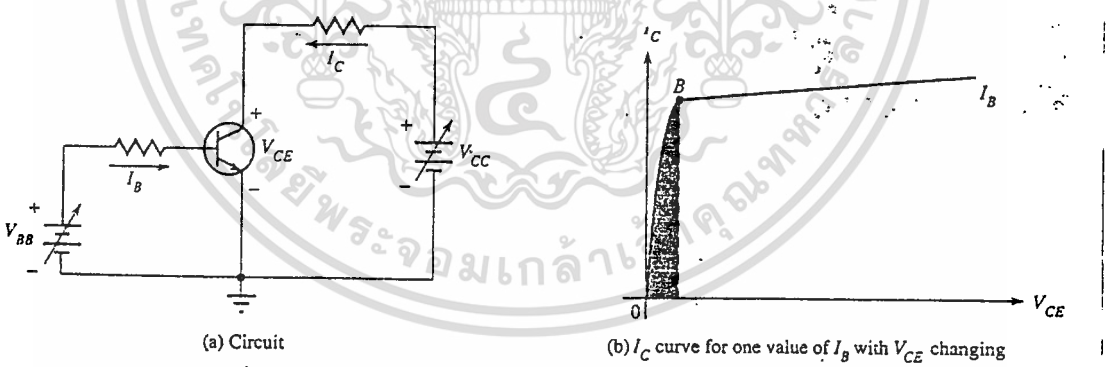
แรงดันตกคร่อมรอยต่อคอลเลกเตอร์กับเบสคือ

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} \quad \text{.....(2-9)}$$

เส้นแสดงลักษณะสมบัติของคอลเลกเตอร์ (Collector Characteristic Curves) เส้นกราฟนี้จะแสดงคุณลักษณะของกระแสและแรงดันที่คอลเลกเตอร์ โดยที่มีกระแสเบสเป็นตัวควบคุมตามความสัมพันธ์ของสมการ

$$I_C = \beta_{dc} I_B$$

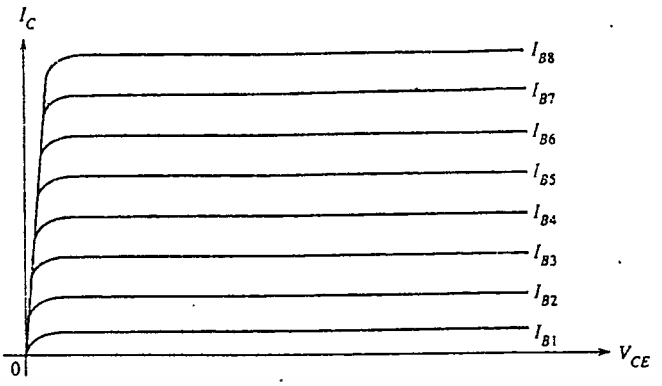
พิจารณาจากวงจรในรูปที่ 2.7 (a) ให้แหล่งจ่าย V_{BB} เป็นแหล่งจ่ายปรับค่าได้ไบแอสตรงให้กับรอยต่อ B และ E การปรับค่า V_{BB} คือการปรับค่าของกระแส I_B ถ้าปรับค่า I_B ให้มีค่าคงที่หนึ่งซึ่ง $I_B > 0$ และค่อย ๆ ปรับค่าแรงดัน V_{CC} เพิ่มมากขึ้นจาก 0 โวลต์ จะปรากฏว่า I_C ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุด B ในรูป 2.7 (b) ค่า I จะคงที่และเป็นไปตามสมการ $I_C = \beta_{dc} I_B$



(a) Circuit (b) I_C curve for one value of I_B with V_{CE} changing

รูปที่ 2.7 (a),(b) แสดงเส้นลักษณะสมบัติของคอลเลกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

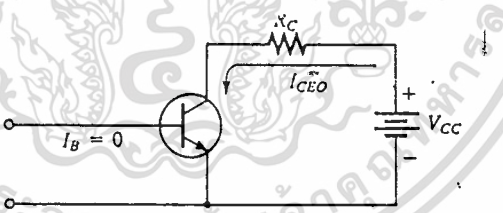


(c) Family of collector curves ($I_{B1} < I_{B2} < I_{B3}$, etc.)

รูปที่ 2.7 (C) แสดงเส้นลักษณะสมบัติของคอลเลกเตอร์

เมื่อทำการกำหนดค่า I_B หลาย ๆ ค่าจากค่าน้อย ๆ ไปหาค่าที่มากขึ้นจะได้เส้นแสดงลักษณะสมบัติคอลเลกเตอร์ ดังรูปที่ 2.7 (c) เมื่อ $I_{B1} < I_{B2} < I_{B3}$

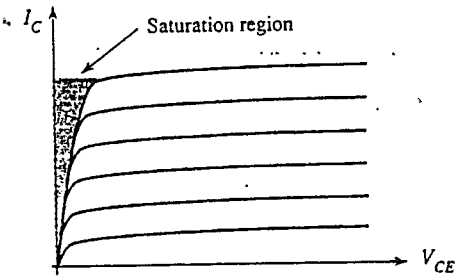
คัตออฟและจุดอิ่มตัว (Cutoff and Saturation) เมื่อให้กระแสเบส I_B = o ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงานหรือคัตออฟ (Cutoff) นั่นคือไม่มีกระแสคอลเลกเตอร์ไหลจาก V_{CC} ไปสู่อิมิตเตอร์ แต่เมื่อพิจารณาวงจรในรูปที่ 2.8 อย่างรอบคอบ จะเห็นว่า จะเกิดกระแสรั่วไหลระหว่างรอยต่อคอลเลกเตอร์ไปสู่อิมิตเตอร์เรียกว่า I_{CEO} ซึ่งมีค่าน้อยมาก (ปกติจะมีประมาณ เป็น μA เท่านั้น)



รูปที่ 2.8 แสดงการรั่วไหลที่คอลเลกเตอร์ (I_{CEO})ในสภาวะคัตออฟ

จุดอิ่มตัว(Saturation) หมายถึง สภาวะที่มีกระแสคอลเลกเตอร์ไหลผ่านอิมิตเตอร์ จนทำให้แรงดันตกคร่อมรอยต่อระหว่าง C กับ E มีค่าคงที่หนึ่งซึ่งน้อยมาก เรียกว่า $V_{CE\ (sat)}$ ในกรณีซิลิคอนทรานซิสเตอร์ค่าแรงดันจุดอิ่มตัวระหว่างรอยต่อ C กับ E คือ $V_{CE\ (sat)} = 0.2$ โวลต์

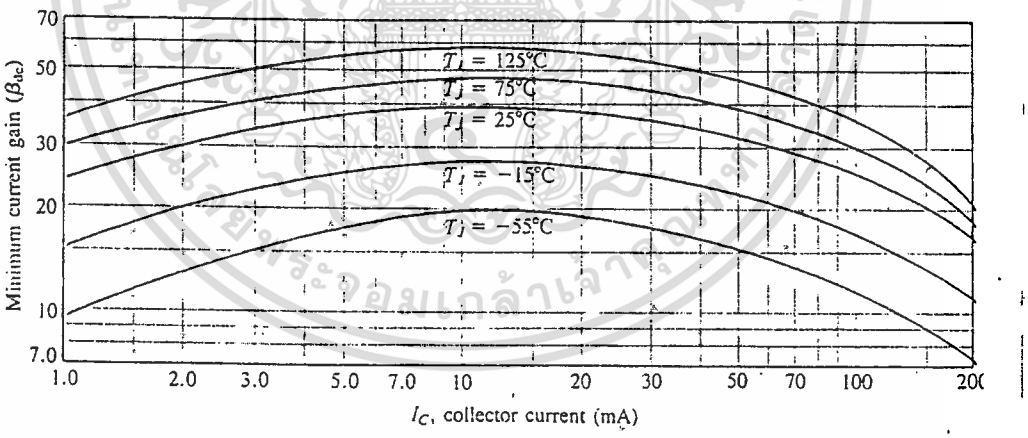
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแส I_C,I_B และแรงดัน V_{CE} ของทรานซิสเตอร์ใน สภาวะจุดอิ่มตัวและเส้นแสดงลักษณะสมบัติของคอลเลกเตอร์ในสภาวะจุดอิ่มตัว

ความรู้เกี่ยวกับค่า β_{dc} (More About β_{dc}) β_{dc} ค่า นับว่าเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากอันหนึ่งของการเลือกทรานซิสเตอร์ไปใช้ในวงจรขยาย (Amplifier) แบบต่าง ๆ ค่า β_{dc} นี้คืออัตราขยายทางกระแสของทรานซิสเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงไปได้ถ้าอุณหภูมิที่รอยต่อของทรานซิสเตอร์เปลี่ยนไป (TJ = Junction Temperature) ค่าβ_{dc} จะมีค่ามากขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่รอยต่อสูงขึ้นตามไปด้วย

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า β_{dc} และ ค่า I_C ที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของรอยต่อทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นไปดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดง β_{dc} และค่า I_C ที่เปลี่ยนไปตามค่าของอุณหภูมิ

ค่าพิกัดสูงสุด (Maximum Ratings) ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่มีขีดจำกัดในการทำงานเหมือนกับอุปกรณ์อิเล็กนิกส์อื่นๆ ซึ่งขีดจำกัดเหล่านี้จะอธิบายไว้ในคู่มือของบริษัทผู้ผลิต โดย กำหนดเป็นค่าใช้งานทั่วไป (Topically)และค่าพิกัดสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพิกัดสูงสุด (Maximum Ratings) ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีขีดจำกัดในการทำงานเหมือนกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ซึ่งขีดจำกัดเหล่านี้จะอธิบายไว้ในคู่มือของบริษัทผู้ผลิต โดยกำหนดเป็นค่าใช้งานทั่วไป (Topically) และค่าพิกัดสูงสุด

ค่าพิกัดสูงสุดที่สำคัญของทรานซิสเตอร์มีดังนี้

V_{CE} : แรงดันระหว่างรอยต่อคอลเลกเตอร์กับอิมิตเตอร์

V_{CB} : แรงดันระหว่างรอยต่อคอลเลกเตอร์กับเบส

V_{EB} : แรงดันระหว่างรอยต่ออิมิตเตอร์กับเบส

I_C : กระแสคอลเลกเตอร์

P_D : กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power Dissipation)

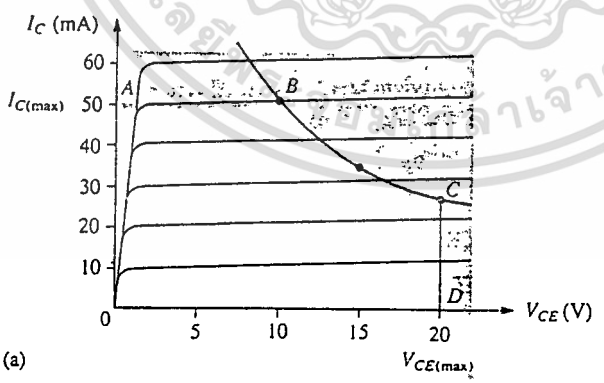
เช่นค่าพิกัดกระแสคอลเลกเตอร์สูงสุด $I_{C(max)}$ หาได้จากสมการ

$$I_{C(max)} = \frac{P_{D(max)}}{V_{CE}} \qquad \text{.....(2-10)}$$

หรือถ้าทราบค่า $I_{C(max)}$ ก็อาจหาค่า V_{CE} ได้จากสมการ

$$V_{CE} = \frac{P_{D(max)}}{I_{C(max)}} \qquad \text{.....(2-11)}$$

เส้นแสดงลักษณะสมบัติของ $P_{D(max)}$ สามารถพล็อตได้จากเส้นแสดงลักษณะสมบัติของคอลเลกเตอร์ คือเส้นกราฟ BC ในรูปที่ 2.11 (a) เมื่อพิจารณารูปที่ 2.11 (a) ที่จุด A, $I_{C(max)}$ = 50 mA อ่านค่าของ V_{CE} =10 V ดังนั้น $P_{D(max)}$ = 50 mA × 10 V = 0.5 W และค่าของ $P_{D(max)}$ นี้จะเท่ากันทุกค่าของ $I_{C(max)} \times V_{CE}$ สามารถคำนวณหาค่า V_{CE} และ I_C ได้ดังตารางในรูปที่ 2.11(b)



$P_{D\ (max)}$	V_{CE}	I_C
0.5 W	5 V	100 mA
0.5 W	10 V	50 mA
0.5 W	15 V	33 mA
0.5 W	20 V	25 mA

(b)

รูปที่ 2.11 เส้นแสดงลักษณะสมบัติของกำลังไฟฟ้าสูงสุด $P_{D(max)}$ ของทรานซิสเตอร์

สรุป เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 2.11 (a) จะเห็นว่าค่าของ $I_{D(max)}$ ถูกจำกัดระหว่างเส้น A และ B ส่วนค่า $P_{D(max)}$ จะถูก จำกัดระหว่างเส้น B และ C และ $V_{D(max)}$ จะถูกจำกัดอยู่ระหว่างเส้นกราฟ C และ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Derating ($P_{D(max)}$) ค่า $P_{D(max)}$ ที่กำหนดเป็นพิกัดสูงสุดในคู่มือผู้ผลิตนั้นเป็นค่าที่ทดลอง ณ อุณหภูมิ 25 °C แต่ Derating Factor จะเป็นตัวบอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ P_D ต่ออุณหภูมิ เช่น Derating Factor = 2 mW/C หมายถึง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกินกว่า 25 °C เช่น เพิ่มขึ้น 1 °C ค่า P_D จะเพิ่มขึ้น 2 mW เป็นต้น

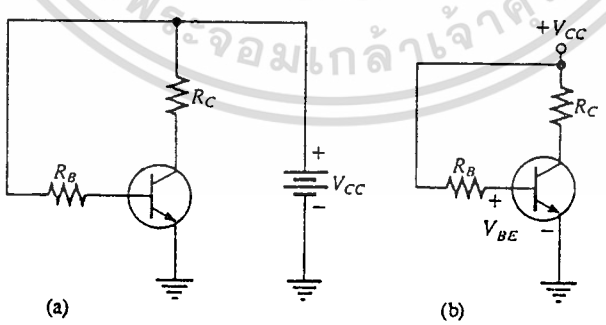
2.4 การไบแอสทรานซิสเตอร์

การไบแอสทรานซิสเตอร์นั้นมีหลายวิธีแต่ละวิธีจะให้เสถียรภาพ (stabilized) ในการทำงานของวงจรทรานซิสเตอร์แตกต่างกัน เมื่อนำทรานซิสเตอร์นั้นไปใช้งานในที่ที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจุดทำงาน (Q-Point) ของทรานซิสเตอร์นั้นจะเปลี่ยนไปด้วย เป็นผลให้แรงดันที่จุดต่างๆ ซึ่งตกคร่อมทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลงไป

วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์ที่ดีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอก จะเป็นผลให้จุดทำงานของทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลงไปน้อยมากหรือไม่เปลี่ยนแปลงเลย ผลคือเสถียรภาพในการทำงานของทรานซิสเตอร์ในวงจรไบแอสนั้นดีขึ้น

2.4.1 การไบแอสเบส

การไบแอสเบส เป็นวิธีการไบแอสทรานซิสเตอร์เบื้องต้น ที่ประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายไบแอสที่คอลเลกเตอร์ (V_{CC}) และแหล่งจ่ายไบแอสที่เบส (V_{BB}) หรืออาจใช้แหล่งจ่ายไบแอสชุดเดียวกันก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (a) แสดงการไบแอสด้วยสัญลักษณ์ของแบตเตอรี่ (V_{CC}) สำหรับรูปที่ 2.12 (b) ใช้สัญลักษณ์ของแหล่งจ่ายแรงดันแทน

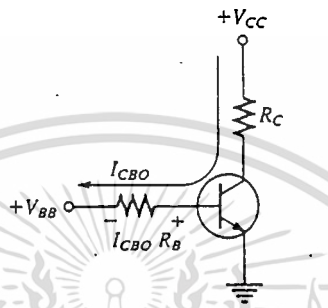


รูปที่ 2.12 แสดงวงจรไบแอสเบส (Base Bias)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แฟคเตอร์อื่นๆ ที่ทำให้เสถียรภาพของวงจรไบแอสเบสลดลง(Other Factors Influencing Bias Stability) จุดทำงานของวงจรจะเปลี่ยนแปลงไปถึง50% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25 °C-75 °C นั้นเป็นเพราะว่าค่า β_{dc} ทรานซิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

สำหรับกระแสรั่วไหลระหว่างรอยต่อคอลเลกเตอร์กับเบส (I_{CBO}) เช่นกันจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.13 แต่อาจละทิ้งได้ถ้า $V_B >> I_{CBO} \cdot R_B$

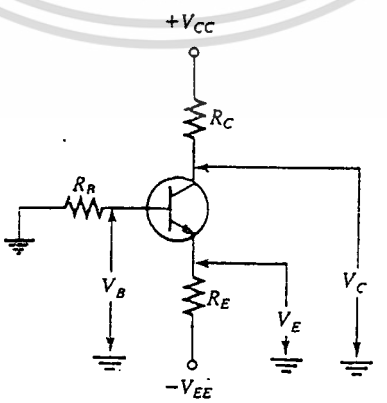


รูปที่ 2.13 ผลของ I_{CBO}

อีกส่วนหนึ่งคือ แรงดัน V_{BE} ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเป็นผลให้ค่ากระแส I_B เพิ่มขึ้นไปด้วย

2.4.2 การไบแอสอิมิตเตอร์

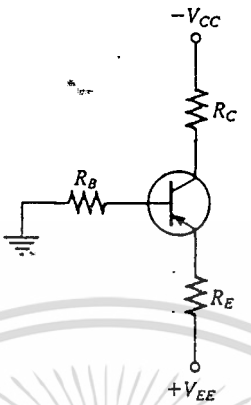
วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์แบบ Emitter Bias นี้มีเสถียรภาพของการทำงานดีกว่าแบบไบแอสเบส ต้องให้แหล่งจ่ายไบแอส 2 ชุดคือ V_{CC} เป็นแหล่งจ่ายแรงดันบวกไบแอสที่คอลเลกเตอร์ และ $-V_{EE}$ เป็นแหล่งจ่ายแรงดันลบไบแอสระหว่างอิมิตเตอร์กับเบส ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงวงจรไบแอสอิมิตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

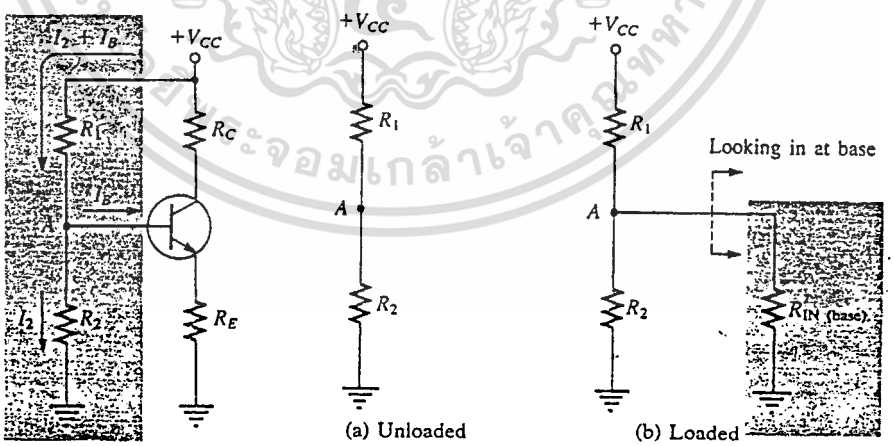
การไบแอสอิมิตเตอร์กับทรานซิสเตอร์ PNP (Emitter Biased PNP) วงจรการไบแอสเบื้องต้นแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงวงจร Emitter Bias กับทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

2.4.3 การไบแอสด้วยการแบ่งแรงดัน

การไบแอสด้วยการแบ่งแรงดัน (Voltage - Divider Bias) ใช้เทคนิคของวงจรแบ่งแรงดันเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงของกระแสเบส (I_B) เนื่องจากค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 มีค่าคงที่ ดังนั้น (I_B) จึงเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าปกติและที่อิมิตเตอร์ยังคงมีตัวต้านทาน R ต่ออยู่คล้ายวงจรไบแอส อิมิตเตอร์ ดังรูปที่ 2.16



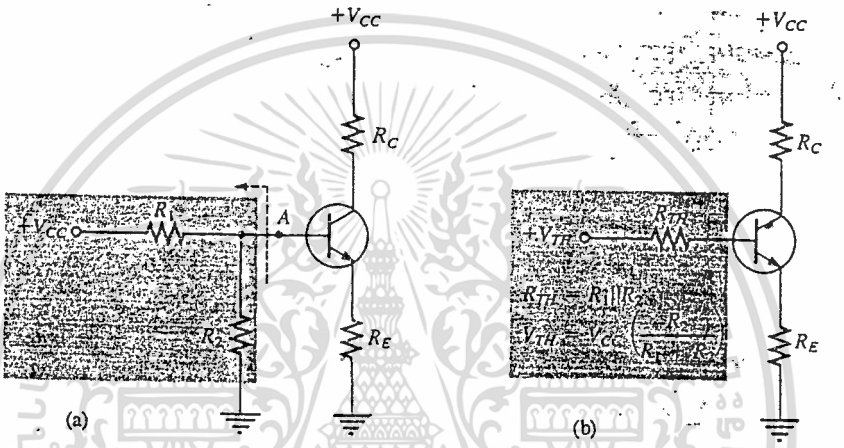
รูปที่ 2.16 วงจร Voltage - divider Bias

รูปที่ 2.17 Simplified Voltage - divider

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อพิจารณาค่าความต้านทานทางด้านอินพุตของวงจร จะเห็นว่าวงจรไบแอสด้วยการแบ่งแรงดันนั้นจะเป็นดังรูปที่ 2.17 (a), (b) ในวงจรนี้ค่าความต้านทานภายในของเบส คือ $R_{IN(base)}$ ดังรูปที่ 2.17 (b)

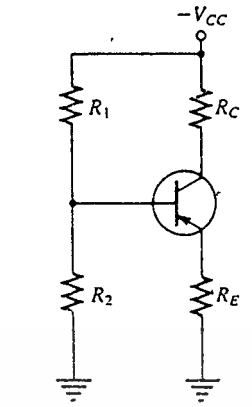
เสถียรภาพของวงจรไบแอสด้วยการแบ่งแรงดัน (Stability of Voltage - divider Bias) เพื่อให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้นจากวงจรในรูปที่ 2.18 (a) จะใช้ทฤษฎีของเทเวนินในการวิเคราะห์ โดยพิจารณาที่จะ A แปลงวงจรของ R และ R ให้อยู่ในรูปของวงจรเทียบเท่าของเทเวนิน (Thevenin Equivalent Circuit) ดังรูปที่ 2.18 (b)



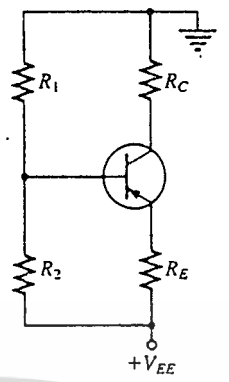
รูปที่ 2.18 แสดงการใช้วงจรเทียบเท่าของเทเวนิน วิเคราะห์วงจรไบแอสด้วยการแบ่งแรงดัน

วงจรไบแอสแบบการแบ่งแรงดันกับทรานซิสเตอร์ PNP (Voltage - divider Biased PNP) ผู้ศึกษาคงสังเกตเห็นว่าการไบแอสทรานซิสเตอร์ PNP นั้นต้องการแรงดันไบแอสที่มีขั้วตรงข้ามกับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN กรณีนี้ก็เช่นเดียวกันเราสามารถไบแอสทรานซิสเตอร์ PNP ได้หลายวิธี เช่น ไบแอสด้วยแรงดันลบ (Negative Supply Voltage) โดยต่อแหล่งจ่าย $-V_{CC}$ ที่คอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ดังรูปที่ 2.19 (a) หรือการไบแอสด้วยแรงดันบวก (Positive Supply Voltage) โดยต่อแหล่งจ่าย $+V_{EE}$ที่อิมิตเตอร์ของวงจรและต่อคอลเลกเตอร์ลงจุดดิน ดังรูปที่ 2.20 (b) หรืออาจจัดรูปวงจร 2.19 (b) ใหม่ โดยนำอิมิตเตอร์ไว้ด้านบนได้ดังรูปที่ 2.20

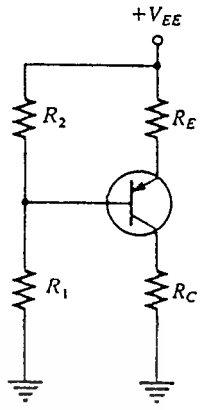
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Negative supply voltage



(b) Positive supply voltage

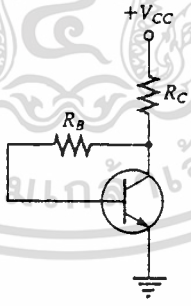


รูปที่ 2.19 การไบแอสทรานซิสเตอร์ PNP

รูปที่ 2.20 การไบแอสทรานซิสเตอร์ PNP ที่เปลี่ยนรูปแบบการจัดวาง

2.4.4 วงจรไบแอสป้อนกลับที่คอลเลกเตอร์

การไบแอสด้วยวิธีป้อนกลับโดยใช้แรงดันคอลเลกเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อ β_{dc} เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมาควบคุมค่ากระแส I_B เพื่อให้ค่ากระแส I_B เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง และเพื่อให้ค่ากระแส I_B ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ค่าของ I_C และV_{CE} ค่อนข้างคงที่ ผลคือจุดทำงานของวงจรจะคงที่ด้วย ลักษณะของวงจรไบแอสป้อนกลับที่คอลเลกเตอร์แสดงในรูปที่ 2.21

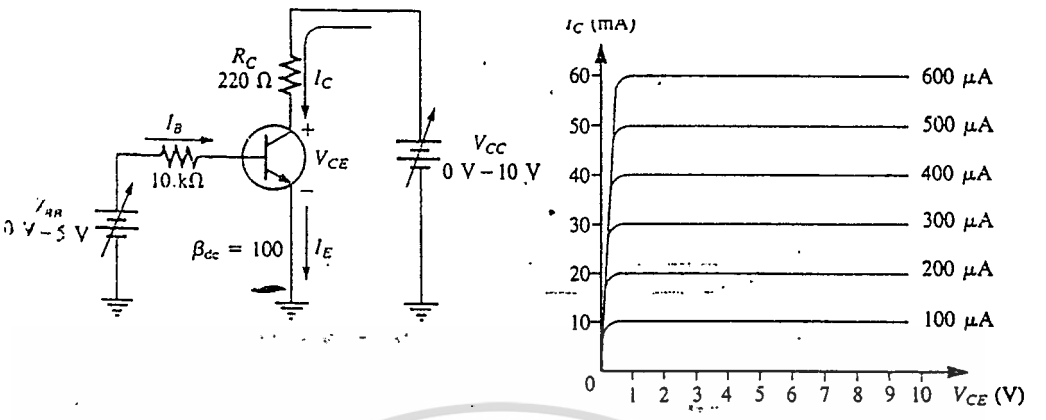


รูปที่ 2.21 วงจรไบแอสป้อนกลับที่คอลเลกเตอร์ (Collector-feedback Bias)

2.5 จุดทำงานในวงจรไฟตรง

การวิเคราะห์ด้วยกราฟ (Graphical Analysis) วงจรทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 2.22 (a) ได้รับแรงดันไบแอสที่เบสคือ V_{BB} และแรงดันที่คอลเลกเตอร์ ด้วย V_{CC} ทำให้เกิดกระแส I_B, I_C และ I_B ไหลในวงจรเมื่อทำการปรับค่าแรงดัน V_{BB} ให้ได้กระแส I_B 100 μA จนถึง 600 μA โดยให้แรงดัน V_{CC} คงที่ ที่10 V จะได้ลักษณะสมบัติทางคอลเลกเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 2.22(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Bias circuit (b)Charateristic curves

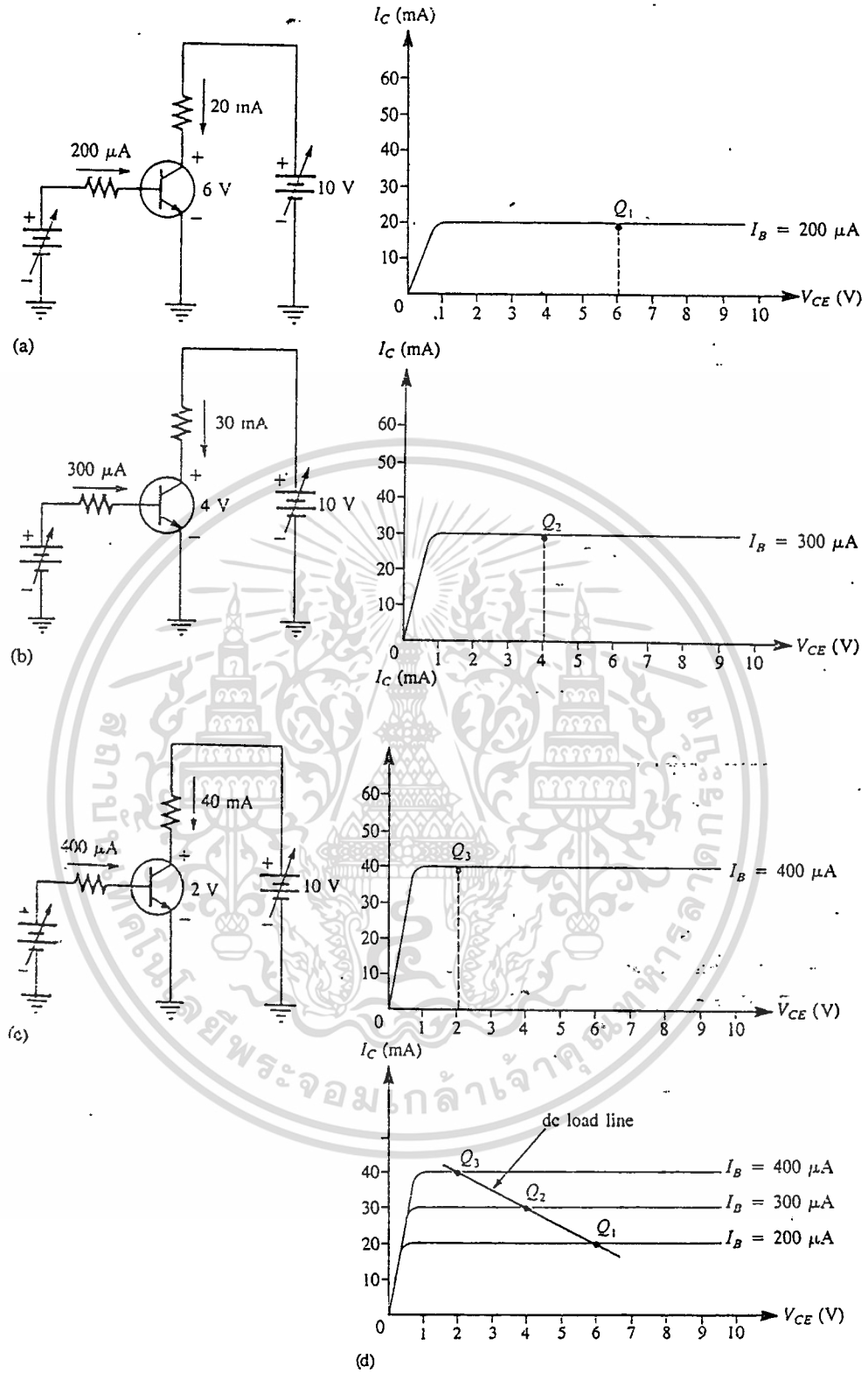
รูปที่ 2.22 แสดงการหากราฟลักษณะสมบัติทางคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ชนิดNPN

การหาจุดทำงานของทรานซิสเตอร์ เริ่มจากการปรับ V_{BB} ให้ได้ I_B = 200 μA ดังรูป2.23 (a) จะได้ค่ากระแส I_C ตามสมการ $I_C = \beta_{dc} \cdot I_B = 20$ และค่าแรงดัน V_{CB} คือ

$$V_{CB} = V_{CC} - I_C R_C$$
$$= 10\ V - 4V$$
$$= 6V$$

เมื่อลากเส้นประจากจุดแรงดัน V_{CB} = 6V ไปตัดเส้นกราฟ I_Cที่ I_B =200μA จะได้จุดทำงาน (Q_1) ของวงจร ดังรูปที่ 2.23 (a) ในทำนองเดียวกันเมื่อปรับแรงดัน V_{BB} ให้กระแส I_B เพิ่มขึ้นเป็น 300 μA จะได้ I_C เพิ่มขึ้นเป็น 30mA เป็นผลให้แรงดัน V_{CB} = 4V ขณะที่จุดทำงาน (Q) ของวงจรเปลี่ยนไปจาก Q_1เป็น Q_2 ดังรูปที่ 2.23 (b) และเมื่อปรับแรงดัน V_{BB} อีกครั้งให้ได้ I_B = 400 μA จะได้ I_C = 40 μA ทำให้แรงดัน V_{CE} เท่ากับ 2 V จะได้จุดทำงานเปลี่ยนจาก Q_2 เป็น Q_3 ดังรูปที่ 2.23(c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

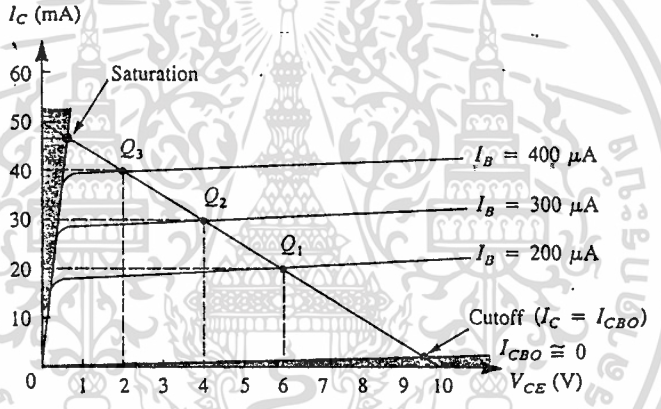


รูปที่ 2.23 แสดงการปรับจุดทำงาน (Q-Point) ของวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นโหลดไฟตรง (DC-load Line) จากการสังเกตจะพบว่าค่ากระแส I_C เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่ากระแส I_B และค่าแรงดัน V_{CE} จะลดลงเมื่อกระแส I_C เพิ่มขึ้น ดังนั้นจุดทำงานของทรานซิสเตอร์จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่ากระแส I_C (คือกระแสที่วงจรไบแอสจ่ายให้กับทรานซิสเตอร์) และทางเดินของจุด Q นี้เองเรียกว่า เส้นโหลดไฟตรง ดังรูปที่ 2.23 (d)

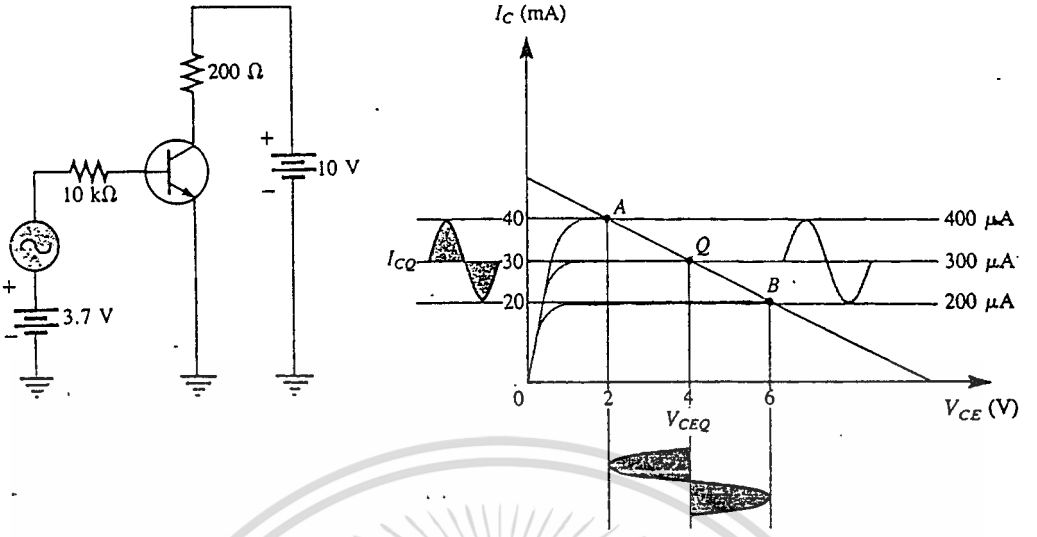
จากวงจรในรูปที่ 2.23 นั้นถ้าทำการปรับค่ากระแส I_B เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ค่ากระแส I_C จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดเรียกว่าจุดอิ่มตัว ที่ค่ากระแส I_C ประมาณ 50 mA ดังรูปที่ 2.24 และถ้าลดค่ากระแส I_B ลงมาจนทรานซิสเตอร์หยุดทำงานคือ I_C = 0 mA (I_B =0 μA) จะเรียกว่าจุดคัตออฟ ในขณะนี้กระแสคอลเลกเตอร์จะเกิดเฉพาะกระแสรั่วไหลระหว่างรอยต่อคอลเลกเตอร์กับเบสเท่านั้น (I_C=I_{CBO}) จากรูปที่ 2.24 จะเห็นว่าเส้นโหลดไฟตรงจะลาดเอียงจากจุดอิ่มตัวไปสู่จุดคัตออฟ และนี่คือทางเดินของจุดทำงานของวงจรในแอสทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.24 แสดงเส้นโหลดไฟตรง (DC Load Line)

การทำงานแบบเชิงเส้น (Linear Operation) เมื่อพิจารณาในกราฟรูปที่ 2.24 ย่านการทำงานระหว่างจุดอิ่มตัวจนถึงจุดคัตออฟเรียกว่า ย่านขยายสัญญาณเชิงเส้น (Linear Rigion) หมายความว่าถ้านำทรานซิสเตอร์ไปขยายสัญญาณไฟสลับ เช่น รูปไซน์ ฯลฯ ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้รับปรากฏอย่างสมบูรณ์ไม่มีการผิดเพี้ยน (Distortion) ในย่านนี้เท่านั้น ถ้านำทรานซิสเตอร์ที่ได้รับไบแอสไปขยายสัญญาณไซน์ดังรูปที่ 2.25 ถ้าเส้นโหลดไฟตรงแสดงจุดทำงานของวงจรที่แรงดันอินพุตเท่ากับมุมศูนย์ จุดทำงาน(Q) คือจุดที่แรงดัน V_{CE}= 4V และ I_C = 30 mA จุดนี้จะเรียกว่ากระแสคอลเลกเตอร์ที่จุด Q (I_{CQ} = 30mA) และเรียกแรงดัน V_{CE} ที่จุด Q ว่า (V_{CEO}=4 V) ที่จุดทำงานจะมีกระแส I_B เท่ากับ300μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 แสดงการเปลี่ยนค่าสัญญาณอินพุต (I_B) เป็นผลต่อกระแส I_Cและแรงดัน V_{CE}

สมมติว่าแรงดันคลื่นไซน์สูงสุดทำให้เกิด I_B = 400 และเมื่อแรงดันคลื่นไซน์ต่ำสุดทำให้เกิด I_B เท่ากับ200 μA จะทำให้กระแส I_C เปลี่ยนแปลงไปด้วยกล่าวคือ เมื่อ I_B = 400 μA จะได้ I_C = 40 mA(เมื่อβ_{dc} = 100) และเมื่อกระแส I_B = 200 μA จะได้กระแส I_C = 20 mA ในทำนองเดียวกันเมื่อกระแส I_C เปลี่ยนแปลงเป็นคลื่นไซน์ระหว่าง 20 mA ถึง 40 mA จะทำให้แรงดัน V_{CE} เปลี่ยนแปลงไปด้วยคือเปลี่ยนแปลงไปในย่าน 2 V ถึง 4 V เมื่อกำหนดจุดที่เกี่ยวข้องทั้ง 3 จุด คือ จุด A จุด Q และจุด B ลงบนเส้นโหลดไฟตรงเราจะได้ข้อมูลเพิ่มเติมพออธิบายได้ดังนี้

ที่จุด A ของเส้นโหลดไฟตรง เรียกว่า จุดสูงสุดด้านบวก (Positive Peak)

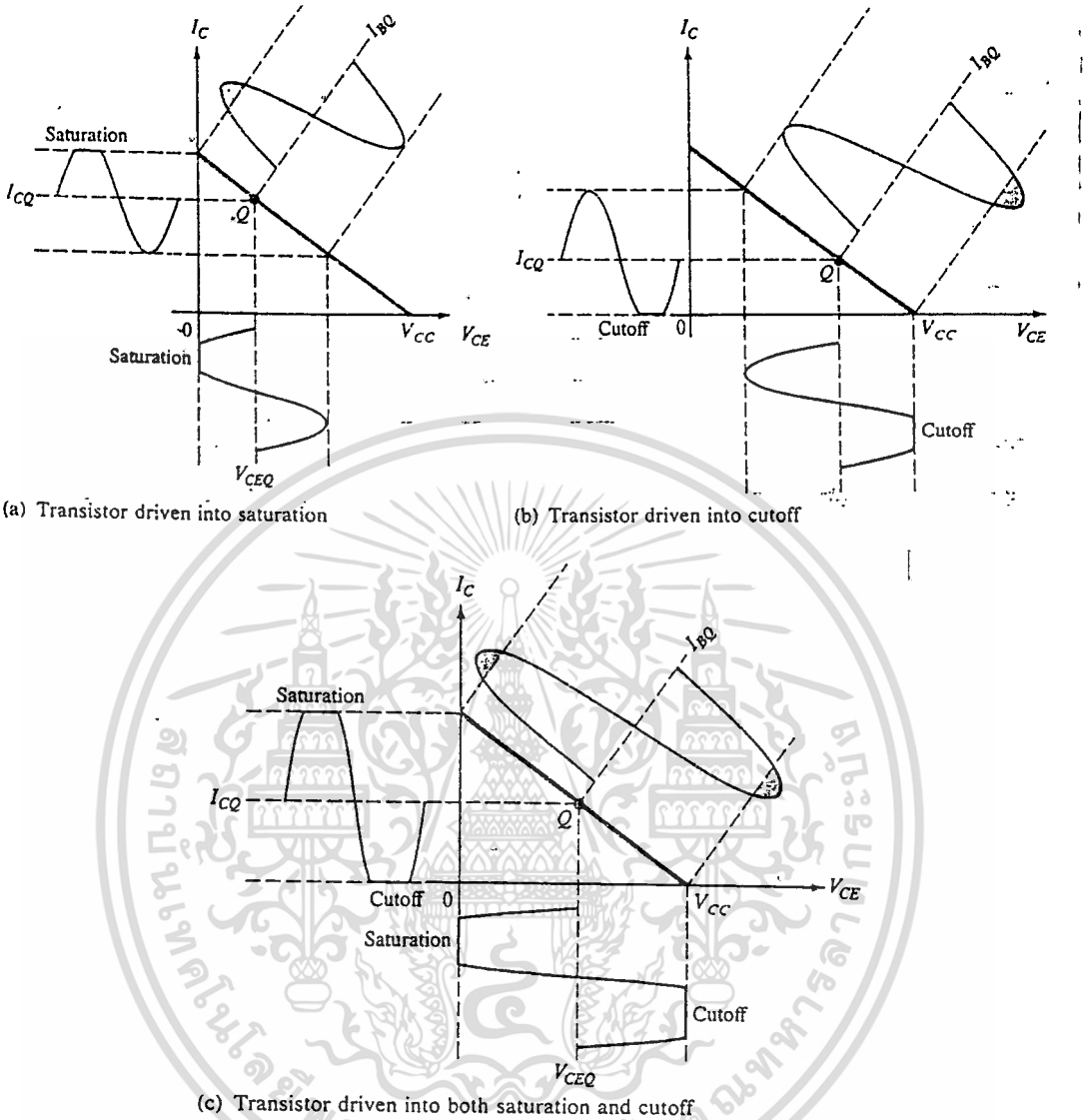
ที่จุด B ของเส้นโหลดไฟตรง เรียกว่า จุดสูงสุดด้านลบ (Negative Peak)

ที่จุด Q คือจุดทำงานของวงจรทรานซิสเตอร์ที่จุดนี้คือจุดที่คลื่นไซน์อินพุตมีค่าแรงเท่ากับศูนย์จะทำให้เกิดค่าของ V_{CEQ}, I_{CQ} และI_{BQ}

ความเพี้ยนของสัญญาณขาออก (Distrotion of the Output) ความเพี้ยนของสัญญาณขาออกเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณขาออกโดนขริบ (Clip) เนื่องมาจากสาเหตุ 3 ประการคือ

1. จุดทำงานอยู่ใกล้จุดอิ่มตัว ดังรูปที่ 2.26 (a) ทำให้สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าสู่วงจรเกินขอบเขต (Over Driver) จะเห็นว่าด้านบนของ I_B ส่วนที่แรงเกาเกินจากจุดอิ่มตัว ทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ขยายกระแส I_C ออกมาถูกขริบทางด้านบนด้วย ส่วนด้านล่างกระแส I_C ขยายแล้วไม่เกินจุดคัตออฟจึงไม่ถูกขริบเหมือนด้านบน สำหรับ V_{CE} จะถูกขริบด้านบนเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 แสดงภาพความเพี้ยนของสัญญาณขาออกที่ได้จากวงจรขยายทรานซิสเตอร์

2. จุดทำงานอยู่ใกล้จุดคัตออฟ ตามรูป2.26 (b) เมื่อจุดทำงานของวงจรอยู่ใกล้จุดคัตออฟทำให้การขยายสัญญาณ I_B ไปสู่สัญญาณขาออก I_C ถูกขริบด้านล่างออกไป คือส่วนที่แรเงาในรูปที่ 2.16 (b)ทำให้สัญญาณขาออก I_C และ V_{CE} ถูกขริบออกด้านล่างดังรูป

3.จุดทำงานอยู่กลางเส้นโหลดไฟตรง ตามรูปที่ 2.26 (c) สภาวะที่ปกติคือการกำหนดจุดทำงานของวงจรทรานซิสเตอร์ให้อยู่กลางเส้นโหลดไฟตรง เพราะจะทำให้การขยายสัญญาณขาออกสามารถขยายได้สูงสุดทั้งทางด้านบนและด้านล่าง แต่จะเกิดความเพี้ยนของสัญญาณขาออกได้เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตมากเกินขอบเขต สัญญาณอินพุตจะถูกขริบทั้งด้านบนและด้านล่าง เป็นผลให้สัญญาณขาออกถูกขริบทั้งสองด้านเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 2.26(c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

LabVIEW

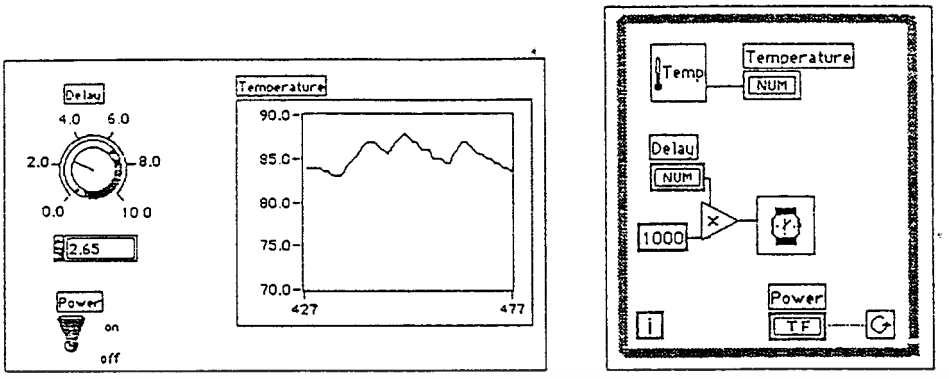
LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Work) เป็นโปรแกรมภาษาภาพ (Graphical Programming Languages) ที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในงานเกี่ยวกับอุตสาหกรรม สถาบันการศึกษา LabVIEW มีความเหมาะสมในการคิดคำนวณตัวเลขที่มากมายทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่ง LabVIEW เป็นโปรแกรมที่มีความคล่องตัวสูง และเป็นซอร์ฟแวร์สำหรับเครื่อง PCs ทำงานบน Microsoft Window และ Apple Macintosh Computers ซึ่ง LabVIEW จะมีลักษณะการทำงานเป็นไปตามลำดับของโปรแกรม และมีลักษณะสำคัญคือง่ายต่อการใช้ ซึ่งมันได้รวบรวมเครื่องมือต่างๆ ที่จำเป็นในการใช้สำหรับการกำหนดสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์และแสดงผลในส่วนของ Graphical Programming Languages ซึ่งเรียกว่า "G" ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมได้โดยการใช้ Block Diagram มาต่อกัน และ Block Diagram นั้นก็จะถูกแปลงไปเป็นภาษาเครื่อง

LabVIEW เป็นโปรแกรมที่สามารถนำไปใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมและนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เช่น

- ทดสอบอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์และทดสอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในคอมพิวเตอร์
- ควบคุมการเคลื่อนไหวของ เซอร์โว (Servo) และสเตปเปอร์ มอเตอร์ (Stepper Motors)
- ควบคุมกระบวนการทำไอศกรีม
- ตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรเจน บน Space Shuttle
- จำลองระบบกำลังต่างๆ เพื่อวิเคราะห์หาคุณภาพของระบบกำลังนั้น

LabVIEW ใช้ Graphical Programming Language (G) สำหรับสร้างเป็นโปรแกรมขึ้นมาซึ่งมีรูปแบบคล้ายกับ Flowchart ซึ่งเรียกว่า "Block Diagram" ซึ่งแยกแยะรายระเอียดได้มากมาย สามารถแสดง LabVIEW ที่ติดต่อกับผู้ใช้ และ โปรแกรมภายใต้การติดต่อดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

รูปที่ 3.1 แสดง LabVIEW ที่ติดต่อกับผู้ใช้และโปรแกรมภายใต้การติดต่อ

LabVIEW เป็นโปรแกรมที่รวบรวมเครื่องมือต่างๆ ที่เป็นรูปร่าง ซึ่งทำให้สามารถตั้งจุด Break Point ได้ทีละขั้นตอนตลอดทั้งโปรแกรมได้ และจนกระทั่งโปรแกรมทำงานเสร็จดังนั้นเราจึงสมารถสังเกตการไหลของข้อมูลในแต่ละขึ้นตอนได้ และเอาท์พุทจะแสดงในรูปแบบที่เราได้ออกแบบไว้เช่น Charts, Graphs

3.1 การทำงานของ LabVIEW

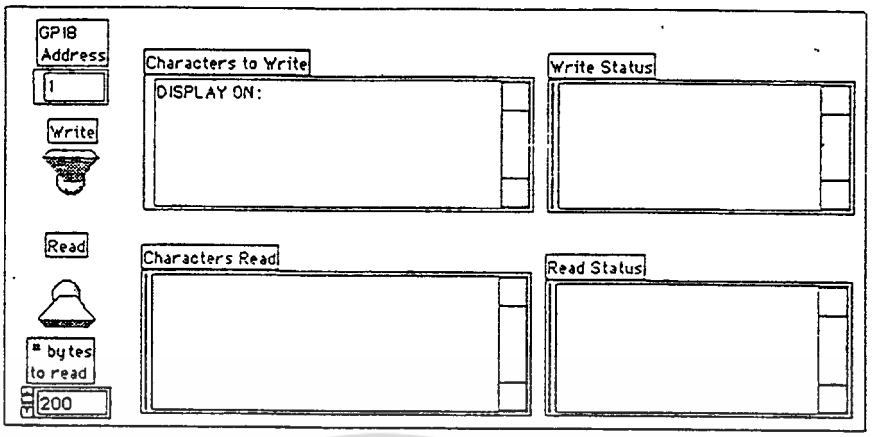
โปรแกรม LabVIEW เรียกว่า "Virtual Instruments (VIs)" เพราะว่ามันมีรูปร่างและการทำงานเลียนแบบเครื่องมือจริง ๆ ซึ่ง VI สามารถแยกได้ 3 ส่วน หลักๆ คือ

1. Front Panel
2. Block Diagram
3. Icon and Connector

3.1.1 Front Panel

Front Panel เป็นการติดต่อกันระหว่างผู้ใช้กับ VI สาเหตุที่ได้ชื่อว่า VI (Virtual Instrument) นั้นเพราะว่าที่หน้าจอนั้นจะเป็นการเลียนแบบรูปของเครื่องมือนั้นๆ ขึ้นมาจริงๆ โดย Front Panel นั้นอาจจะประกอบด้วย ลูกบิด, ปุ่มกดต่างๆ, กราฟและตัวควบคุมต่างๆ (ที่ผู้ใช้กำหนดขึ้นมา) และตัวแสดงผล (ทางด้านเอาท์พุท) เราสามารถใส่ค่าอินพุทต่างๆ ได้โดยการใช้เมาส์ (Mouse) และคีบอร์ด (Keyboard) และเราสามารถสร้างภาพการแสดงผลได้ทางหน้าจอ ซึ่งรูปตัวอย่างของ Front Panel แสดงดังรูปที่ 3.2

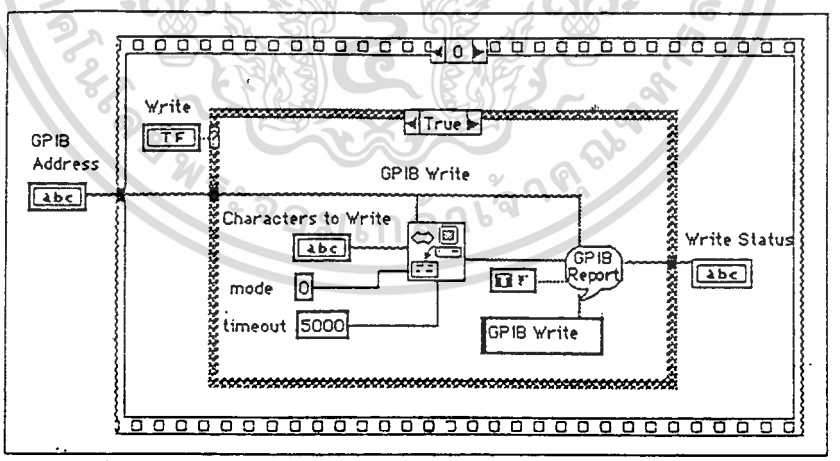
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดง Front Panel

3.1.2 Block Diagram

Block Diagram หรือเป็น VI's Source Code ซึ่ง Block Diagram นั้นแม้ว่ามันจะเป็นเพียงรูปภาพแต่มันก็คือ โปรแกรมที่สามารถปฏิบัติงานให้สำเร็จได้จริงๆ ส่วนประกอบของ Block Diagram คือ Icon โครงสร้างภายในของ Function ตัวแทนของ Lower-Level VIs และโปรแกรมควบคุมโครงสร้างของ Block Diagram เราใช้สายต่อ Icon เข้าด้วยกัน เพื่อแสดงการไหลของข้อมูลในBlock Diagram แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดง Block Diagram

3.1.3 Icon และ Connector

Icon และ Connector ของ VI จะยอมให้ VIs อื่นผ่านข้อมูลต่างๆ มายัง VI ซึ่ง Icon จะเป็นตัวที่จะแสดงให้เห็น VI ใน Block Diagram ของ VI โดย VIs ต่างๆ นั้นจะมีความสำคัญเป็นไปตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับและแล้วแต่ว่าจะนำมาต่อใช้งานแบบใด ซึ่งสามารถนำ VIs ต่างๆมาใช้งานได้เหมือนกับการนำโปรแกรมสำรองที่อยู่ภายในโปรแกรมอื่นออกมาใช้งาน หรือการนำโปรแกรมสำรองอื่นๆ ที่อยู่ภายในซึ่งเป็นโปรแกรมระดับเดียวกันออกมาใช้งาน VI ที่ใช้งานภายใน VI อื่นๆ ก็เปรียบเสมือนกับ Subroutine ซึ่งเรียกว่า SubVI รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างของ Icon และ Connector

รูปที่ 3.4 แสดง Icon และ Connector

3.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของ LabVIEW

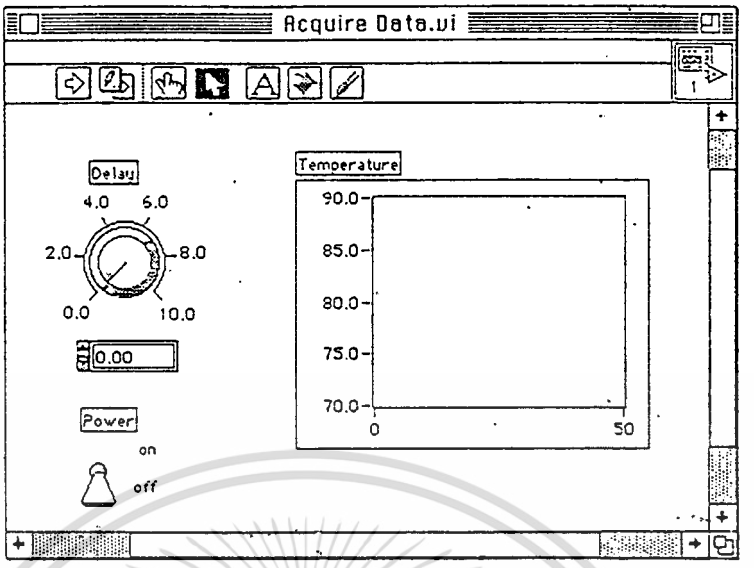
ในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึง สิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ LabVIEW ดังนี้

- Front Panel, Block Diagram และ Icon/Connect ซึ่งทั้ง 3 ส่วนจะมาทำงานร่วมกัน
- เมนูต่างๆ ของ LabVIEW ซึ่งมีการทำงานอยู่ 2 โหมด (Run Mode และ Edit Mode)
- Help Window
- Sub VIs
- ความหมายของ Virtual Instrument (VI)

3.2.1 Front Panels

Front panel จะยึดหลักง่ายๆ ว่า Front Panel ก็คือหน้าต่างบานหนึ่งซึ่งผู้ใช้จะใช้กระทำต่อโปรแกรม เมื่อเราต้องการให้ VI ทำงาน เราก็จะเปิด Front Panel และใส่ค่าอินพุทต่างๆ เพื่อให้โปรแกรมทำงาน ถ้าหากต้องการให้โปรแกรมทำงานจนกระทั่งได้ผลทางเอ้าท์พุทแล้ว Front Panel จะเป็นสิ่งที่ขาดเสียมิได้เลย ตัวอย่างของ Front Panel แสดงดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดง LabVIEW Front Panel

Controls และ Indicators

โดยพื้นฐาน Front Panel จะเป็นการรวมกันของ Controls และ Indicatorsซึ่ง

- Controls คืออุปกรณ์ทางด้านอินพุทชนิดต่างๆ ที่จะอยู่บนหน้าปัดเครื่องมือต่างๆเช่น ลูกบิด และสวิตช์ต่างๆที่ใช้ควบคุมข้อมูลที่ Block Diagram ของ VI
- Indicators เปรียบเทียบการแสดงผลทางเอาท์พุทที่ได้ทำการประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว

เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาเราจะคิดว่า Controls และ Indicators คือ

Controls = Inputs

Indicator = Outputs

Controls กับ Indicators สามารถวางลงบน Front Panel ได้โดยการเลือกจาก Controls Menu ซึ่งอยู่ด้านบนหน้าต่างของ Front Panel และจุดประสงค์อีกอย่างหนึ่งของ Panel คือ สามารถปรับขนาด รูปร่าง และตำแหน่งต่างๆ บน Panel ได้

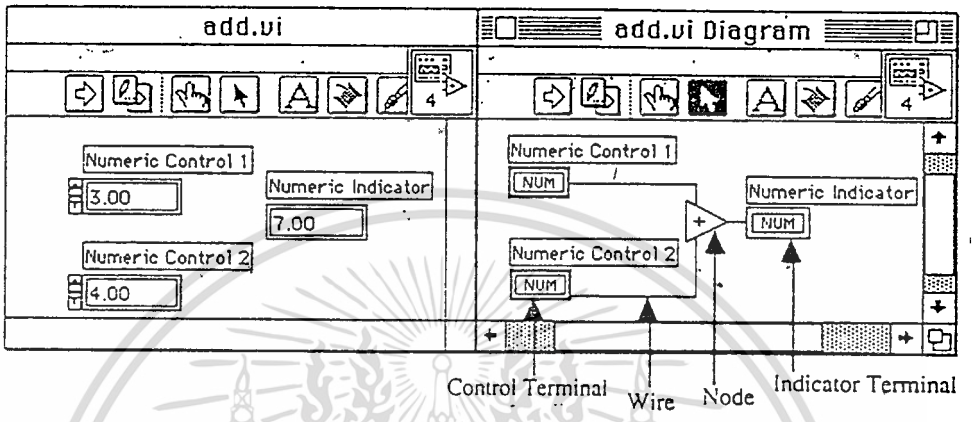
3.2.2 Block Diagram

บน Block Diagram Window จะเป็นแหล่งบรรจุภาพสัญลักษณ์ต่างๆ ของ LabVIEW VI โดย Block Diagram ของ LabVIEW จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับภาษาที่นิยมใช้กันคือภาษา ซี หรือ Basic ซึ่ง Block Diagram จะมีสัญลักษณ์ที่สามารถใช้งานได้จริง สามารถสร้าง Block Diagram ได้โดยการต่อสายสิ่งต่างๆ ตามหน้าที่ของมันเข้าด้วยกัน ซึ่งภาพที่เกิดจากการต่อเข้าด้วยกันจะแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เห็นเหมือนกับว่าเป็น Flowchart ชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นตามแบบโปรแกรมที่ใช้กัน ในส่วนนี้เราจะพิจารณาส่วนประกอบต่างๆ ของ Block Diagram ซึ่งได้แก่ Terminals, Nodes และ Wires

รูปที่ 3.6 เป็นรูปที่แสดงผลรวมระหว่างเลขสองจำนวน ซึ่ง Diagram นี้จะแสดงตัวอย่างของ Node, Terminals และ Wires



รูปที่ 3.6 แสดง Node, Terminals และ Wires

Terminals

เมื่อวาง Control หรือ Indicator ลงบน Front Panel LabViEW ก็จะสร้างสิ่งที่มีลักษณะเช่นเดียวกับTerminal ขึ้นเองบน Block Diagram Terminal นั้นจะเป็นส่วนหนึ่งของ Control หรือ Indicator ซึ่งไม่สามารถลบ Terminal ที่อยู่บน Block Diagram ได้ แม้ว่าจะสร้างความรำคาญใจมากขนาดไหนก็ตาม Terminal นั้นจะหายไปก็ต่อเมื่อเราลบ Control หรือ Indicator ออกจาก Front Panel

หมายเหตุ

ลักษณะของ Control Terminals นั้นจะมีขอบที่หน้า ขณะที่ Indicator Terminals นั้นจะมีขอบที่บาง ซึ่งลักษณะสำคัญที่แตกต่างกันระหว่าง Terminals ทั้ง 2 ชนิด จะเป็นการแยกให้รู้ว่า Terminal แต่ละชนิด จะมีลักษณะหน้าที่การทำงานที่แตกต่างกัน (Control = Input, Indicator = Output ซึ่งไม่สามารถสับเปลี่ยนกันได้)

อาจคิดว่า Terminal ก็คือ พอร์ตทางเข้าและพอร์ตทางออก หรือ คือต้นทางปลายทาง ข้อมูลก็จะผ่านเข้าไปยัง Numeric Control Terminals บน Diagram ของ Block Diagram ซึ่งจะมีเงื่อนไขว่าให้ทำหน้าที่บวก ข้อมูลก็จะไหลไปตามสายที่ได้ต่อไว้เข้าไปยังส่วนที่ทำหน้าที่บอก เมื่อส่วนที่ทำหน้าที่บวกทำการคำนวณภายในตัวเองเสร็จสมบูรณ์แล้วจะได้ข้อมูลค่าใหม่ซึ่งข้อมูลใหม่ที่ได้ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะไหลไปยัง Numeric Indicator Terminal และจะกลับเข้าไปยัง Front Panel อีกทีเพื่อแสดงผล ซึ่งการแสดงผลนั้นจะเร็วหรือช้าก็ขึ้นอยู่กับระยะทางและความยาวของกระบวนการทำงานที่กำหนด

Nodes

Node คือ โปรแกรมการจัดการเบื้องต้น ซึ่งมีข้อคล้ายคลึงกับการ กำหนด การปฏิบัติ, หน้าที่และหน้าที่การทำงานย่อยๆในโปรแกรมทั่วๆไป การบวกลบก็เป็นตัวอย่างของหน้าที่ของ Node ชนิดหนึ่ง ซึ่งลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกันไปจะเป็นการแสดงให้เห็นถึงชนิดอื่นๆ ของ Node โดยโครงสร้างสามารถทำให้เป็นรหัสที่ซ้ำกันได้ หรือทำให้เป็นเงื่อนไข ซึ่งเหมือนกับการทำเป็นวงรอบ (Loop) และกำหนดให้เป็นอย่างๆ ไปในโปรแกรมทั่วๆ ไป LabVIEW จะมี Nodes พิเศษเรียกว่า Formular Nodes ซึ่งใช้ประโยชน์สำหรับหาค่าของสูตรพื้นฐานต่างๆ

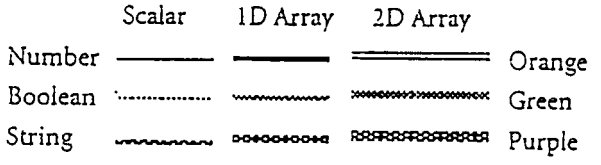
Wires

Wires เป็นเส้นทางเดินของข้อมูลระหว่าง Terminals ต้นทางกับ Terminals ต้นทางกับ Terminals ปลายทาง ซึ่งเราไม่สามารถที่จะต่อสายจาก Terminals ต้นทางไปยังต้นทางอื่นๆได้ หรือจาก Terminal ปลายทางไปยังปลายทางอื่นๆได้ แต่สามารถต่อสายจากต้นทางหนึ่งไปยัง Terminals ปลายทางหลายๆ Terminal ได้

หมายเหตุ

เหตุผลหลักว่าทำไม Controls และ Indicator sถึงไม่สามารถสับเปลี่ยนหน้าที่กันได้ เพราะว่า Ccontrols เป็น Terminals ต้นทางส่วน Indicators เป็น Sinks

สายแต่ละเส้นจะมีรูปแบบและสีแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลที่จะส่งไปตามสาย จากรูปที่แสดง Block Diagram ที่ผ่านมาจะแสดงลักษณะของสายประเภท Nemric Scalar Value รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะชนิดของสายต่าง ๆ



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะชนิดของสายต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

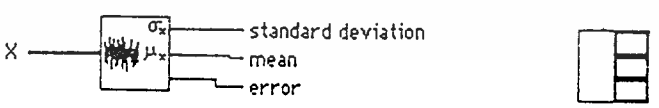
Dataflow Programming

เนื่องจาก LabVIEW ภาษาพื้นฐาน หลักเกณฑ์การทำงานของมันไม่สามารถกระทำได้แบบ "Line By Line" หลักการการปฏิบัติงานของโปรแกรม LabVIEW นั้นจะเรียกว่า "DataFlow" กำหนดง่ายๆ คือ Node จะเป็นตัวปฏิบัติการเท่านั้น เมื่อข้อมูลมาถึงที่ Node และ Node ก็จะมีสถานะเป็นเอาท์พุท Terminals ซึ่งบรรจุข้อมูลอยู่ภายในและข้อมูลก็จะผ่านจากต้นทางไปยัง Sink หรือ Terminals ปลายทางโดยตรง ความแตกต่างของ Dataflow กับ วิธีการควบคุมการไหลของโปรแกรมพื้นฐานทั่วไปปฏิบัติกันซึ่งจะกระทำเป็นลำดับไปเรื่อยๆ ซึ่งสามารถเขียนให้เป็นลำดับรูปร่างได้ ซึ่งเป็นวิธีการที่รู้จักและคุ้นเคยกันอยู่แล้ว ขณะที่การกระทำแบบ Dataflow จะเป็นแบบการผลักดันของข้อมูลที่เข้ามาหรือไม่ขึ้นอยู่กับข้อมูล

3.2.3 Icon และ Connector

เมื่อ VI กำลังปฏิบัติงานอยู่นั้น Sub VI ที่อยู่ภายใน VI อื่นๆ ก็จะปฏิบัติงานเช่นเดียวกับ Control และ Indicators ก็จะรับข้อมูล และส่งข้อมูลกลับไปยัง VI ตัวที่ร้องขอมา Icon ของ VI นั้นจะแสดงอยู่ในBlock Diagram ของ VI อื่น Icon นั้นจะแสดงให้เห็นเป็นลักษณะของภาพ หรือมีลักษณะเหมือนกับรูปร่างของ VI โดยตรง หรือทั้งสองอย่างร่วมกัน

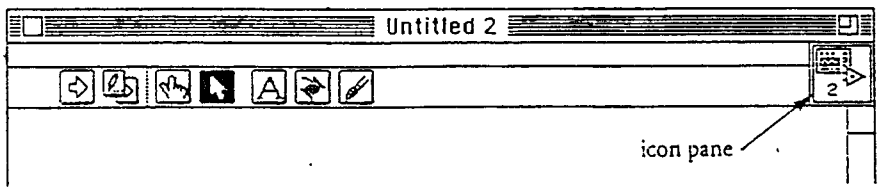
Connector ของ VI นั้นจะจัดการเกี่ยวกับ Terminals ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับ Controls และ Indicator ซึ่ง Connector นั้น พารามิเตอร์ต่างๆจะมีหน้าที่เหมือนกับชื่อที่เรียกกันโดยตรง โดย Connector Terminals จะมีลักษณะรูปร่างเป็นเส้นที่ใช้ส่งผ่านข้อมูล และรับข้อมูลจาก SubVI แต่ละ Terminals จะมีลักษณะที่เหมือนกับตัวของ Controls หรือ Indicator ที่อยู่บน Front Panel Connectorของ SubVI จะรับข้อมูลเข้ามาที่อินพุท Terminals และผ่านข้อมูลไปยัง SubVI โดยทาง SubVI Control และมันจะรับข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์จาก SubVI ทางเอาท์พุท Terminals ของมันด้วย



รูปที่3.8 แสดง Icon และ Connector

แต่ละ VI จะมี Default Icon ซึ่งจะแสดงอยู่ใน Icon Paneที่อยู่มุมด้านบนขวามือของหน้าจอ และ Diagram Windows ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

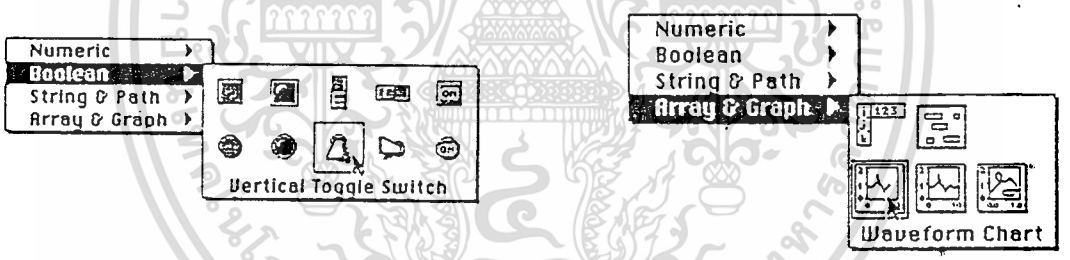


รูปที่3.9 แสดง Icon Pane

3.2.4 Pull– Down Menus

LabVIEW นั้นจะมีเมนูอยู่ 2 ชนิด คือ Pull-Down และ Pop-Up ซึ่งทั้งเมนูทั้ง 2 ชนิดนี้เราจะใช้ประกอบในการสร้างโปรแกรม แต่ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง Pull–Down Menus ซึ่งจะได้รู้ว่ามันสามารถทำอะไรได้บ้าง

แถบของเมนูจะอยู่ด้านบนของ VI Windows ซึ่งจะประกอบไปด้วยเมนูหลายๆเมนู เมื่อClikเลือกที่เมนูตัวใด เมนูนั้นก็จะปรากฏขึ้นที่ด้านล่างของแถบเมนูตัวนั้น Pull–Down เมนูนี้จะประกอบไปด้วยรายการต่างๆ สำหรับนำไปใช้งานอยู่รวมกัน เช่น Open save Copy และ Paste และอื่นๆที่ใช้สำหรับโปรแกรม LabVIEW ซึ่งเมนูต่าง แสดงได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่3.10 แสดงเมนูต่างๆ

File Menu

ที่ File Menu จะประกอบไปด้วย Command ต่างๆ ที่สำหรับใช้งานเช่น Save และ Print เราสามารถที่จะสร้าง VI ใหม่ หรือเปิด VI อื่นๆที่สร้างไว้แล้วได้จาก File Menu และสามารถที่จะ Get Info บนVI จากเมนูนี้ได้อีกด้วย

Edit Menu

Edit Menu จะมี Commands ต่างๆมากมาย เช่น Cut Copy และ Paste ซึ่งคำสั่งเหล่านี้ใช้สำหรับแก้ไข Window ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงสิ่งที่เขียนและเคลื่อนย้ายสายต่อที่ไม่ดีออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operate Menu

สามารถที่จะสั่งให้โปรแกรมทำงานหรือหยุดการทำงานได้จาก Operate Menu ทำให้สามารถเปลี่ยนค่า Default Values และ Switch ของ VI ได้ ระหว่าง 2 โหมด LabVIEW คือ Run Mode และ Edit Mode

Controls Menu

เมื่อ Click เมาส์ไปที่ Controls เมนูก็จะปรากฏเป็นเมนูขึ้นมาทั้งสองประกอบไปด้วย Controlsและ Indicators ซึ่งที่เมนูนี้จะรวม Controls และ Indicator ที่จะผ่านไปไปยัง Front Panel เข้าไว้ด้วยกัน จากเมนูนี้สามารถที่จะเลือก Graphics ต่างๆ ของ Controls และ Indicator ไปใช้บน Front Panel ได้ตามต้องการ

หมายเหตุ

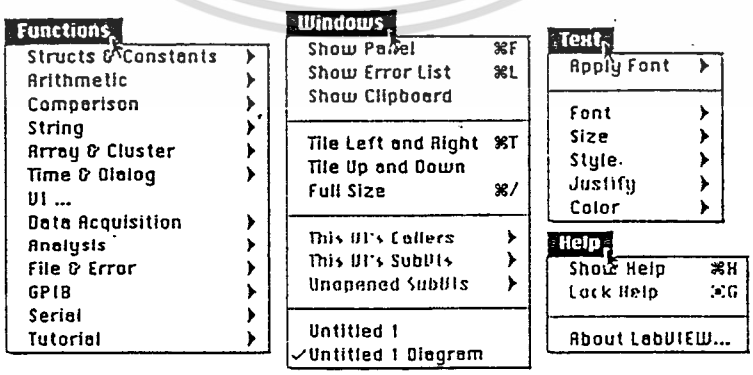
Controls เมนูนี้จะแสดงบน Front Panel Window เท่านั้นไม่ได้อยู่ใน Block Diagram

Function Menu

เปลี่ยนไปที่ Block Diagram และสังเกตุ ที่ Function Menu ซึ่งจะอนุญาติให้เลือกใช้ Function ต่างๆ ภายในเมนูสำหรับใช้ใน VI ได้ตามต้องการ ซึ่งจะใช้สำหรับสร้าง Block Diagram

หมายเหตุ

Function Menu หาได้จาก Front Panel Window เท่านั้น



รูปที่ 3.11 แสดง Functions Menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Windows Menu

Windows Menu สามารถที่จะต่อระหว่าง Panel กับ Diagram Windows ได้ ซึ่งจะแสดง Error List และ Clipboard โดย Tile ทั้งสอง Windows สามารถดูได้ทั้งสอง Tile ในเวลาเดียวกัน Windows Menu สามารถแสดงให้ดูได้เหมือนกัน ซึ่งเป็น SubVI เรียกว่า Current VI$_s$

Text Menu

สามารถเปลี่ยน Front Size Style Justification และ Color ต้นฉบับของ LabVIEW โดยใช้ Option ต่างๆ ที่อยู่ใน Text Menu

Help Menu

สามารถที่จะแสดง ซ่อน หรือเก็บเอาไว้ได้ตามความพอในโดยใช้ Help Menu และยังสามารถที่จะหาข่างสารเกี่ยวกับ LabVIEW ได้อีกด้วย เช่น เวอร์ชั่นของโปรแกรม

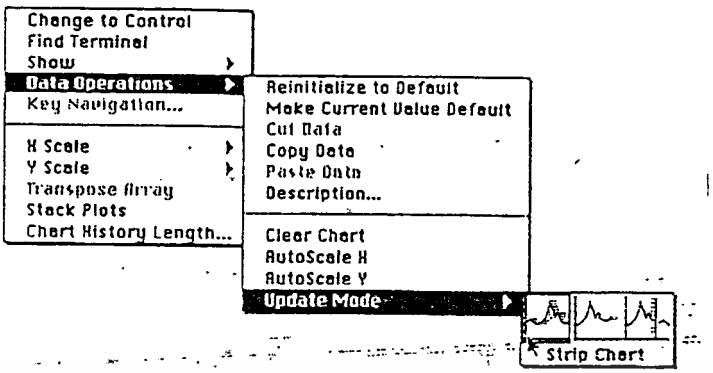
3.2.5 Pop-Up Menu

ถ้าหาก Pull-Down Menu นั้นยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการใช้ ก็จะเมนูชนิดอื่นๆ ของ LabVIEW อีกนั่นคือ Pop-Up Menu ซึ่ง Pop-Up Menu จะใช้บ่อยกว่าเมนูชนิดอื่นๆ ของ LabVIEW ซึ่งสามารถเรียก Pop-Up Menu ขึ้นมาใช้ได้โดยการ Click ที่ปุ่มขวามือของเมาส์ Pop-Up Menu ก็จะปรากฏขึ้นมา ซึ่งเมนูที่ปรากฏขึ้นมานั้นจะขึ้นมาทังเกือบเต็มพื้นที่ของ Front Panel และ Block Diagram ซึ่ง Pop-Up Menu นั้นจะมีเมนูให้เลือกและเมนูบังคับโดยที่เมนูให้เลือกนี้จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งานของมัน ตัวอย่างเช่น Numberic นั้นจะมี Pop-Up Menu ที่แตกต่างกันมากมายกว่า Graph Indicator

Pop-Up Menu ต่างๆที่ควรรู้

ส่วนของเมนูที่ขยายออกไปเป็นเมนูย่อยๆเราเรียกว่าลำดับขั้นต่างๆของเมนู (Hierarchical Menu) และใช้แทนโดยลูกศรที่ชี้ไปทางขวา ดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงลำดับขั้นต่างๆของเมนู

Hierarchical Menu บางครั้งจะมีตัวเลือกที่นอกเหนือไปจาส่วนที่ใช้อยู่ปัจจุบัน ซึ่งตัวเลือกที่ใช้อยู่ปัจจุบันนั้นจะใช้แทนเป็นเครื่องหมายแสดงสำหรับตัวเลือกหลัก หรือใช้เป็น Box สำหรับตัวเลือกประเภท บางส่วนของเมนูจะประกอบไปด้วยตัวเลือกต่างๆอีกให้พิจารณาเลือกใช้ เมนูที่สำคัญที่อยู่ใน Box จะมีสัญลักษณ์จุดไข่ปลา (....)อยู่ตามหลัง

เมนูที่ไม่มีสัญลักษณ์ลูกศรที่ชี้ขวาหรือจุดไข่ปลานั้นโดยปกติจะเป็น Commands ซึ่งเมื่อเลือกใช้แล้วจะเป็นตัวปฏิบัติโดยตรง เช่น Chang to Indicator เมื่อเลือกใช้แล้ว Commands ต่างๆ ในเมนูก็จะเปลี่ยนไปเป็น Commands ตรงกันข้าม ตัวอย่างเช่น หลังจากที่เลือก Chang to Indicator เมนู Commands ต่างๆ ก็จะเปลี่ยนไปเป็น Commands ของ Chang to Controls

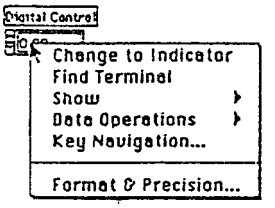
หมายเหตุ

บางครั้งในส่วนของจุดประสงค์ที่แตกต่างไปก็จะมีเมนูที่แตกต่างไปด้วยตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการ Pop-Up ในส่วนของ Label ดังนั้นรายการตัวเลือกที่ขึ้นมาก็จะเป็น Size To Text เท่านั้น ซึ่งรายการต่างๆ ที่เกี่ยวกับจุดประสงค์ที่ต้องการก็จะถูกรวบรวมมาให้

ลักษณะสำคัญของ Pop-Up

Pop-Up Menu จะมีรายการต่างๆ มากมายดังที่มันปรากฏขึ้นมาโดยจะมีให้เลือกใช้ตามวัตถุประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.13 แสดง Pop-Up Menu

Change To Control และ Change to Indicator

โดยการเลือก Change To Control/Indicator ก็สามารถเปลี่ยน Control (หรือ อินพุท) ไปเป็น Indicator (หรือเอาท์พุท) เมื่อขณะนั้นอยู่ในสถานะของ Control ดังนั้น Pop-Up Menu ก็จะมี Change To Indicator และเมื่อขณะนั้นอยู่ในสถานะ Indicator ดังนั้น Pop-Up Menu ก็จะมี Change To Control

Show Terminals/Show Icon

Show Terminals หรือ Show Icon จะหาได้บน Block Diagram เท่านั้นถ้าต้องการดู Connector Terminals บน Function หรือ SubVI เลือก Show Terminals จาก Pop-Up Menu เมื่อต้องการให้กลับมาที่ Icon ก็เลือก Show Icon

Show

ในหลายๆหัวข้อจะมีเมนู Show ซึ่งสามารถที่จะแสดง หรือ ซ่อนได้ถ้าเลือก Show ก็จะได้เมนูอื่นเพิ่มออกมาอีกทางด้านขวา ซึ่งเป็นตัวเลือกที่บอกว่าสามารถแสดงอะไรได้บ้าง ถ้าตัวเลือกนั้นตรวจสอบต่อไปได้อีก ตัวเลือกนั้นก็จะสามารถมองเห็นได้ชัด แต่ถ้าไม่สามารถตรวจสอบได้อีก ก็จะมัวไว้ไม่สามารถมองเห็นได้

Data Operation

Data Operation ใน Pop-Up Menu มีตัวเลือกที่เป็นประโยชน์หลายๆ อย่าง ดังนั้นสามารถถ่ายเทข้อมูลใน Control หรือ Indicator ได้

ใช้ Cut Data Copy Data และ Paste Data เพื่อจะนำข้อมูลออกหรือใส่เข้าไปใน Control หรือ Indicator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 Edit Mode และ Run Mode

VI นั้นสามารถที่จะอยู่ใน Edit Mode หรือ Run Mode ได้อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถ Run VI ในขณะที่อยู่ใน Run Mode ได้โดย Edit Mode นั้นจะสามารถทำการสร้างหรือเปลี่ยนแปลง VI ได้ ส่วน Run Mode จะสามารถกระทำ VI เมื่อร่างโปรแกรมเสร็จแล้วและ VI อยู่ใน Run Mode แล้วจะทำการแปลเป็นภาษาเครื่อง และคอยป้อนคำสั่งให้ทำงาน

ข้อควรระวัง

ในวัตถุประสงค์ที่เหมือนกัน Run Mode จะมีความแตกต่างของ Pop-UP Menu มากกว่า Edit Mode ถ้าไม่สามารถหาตัวเลือก Pop-UP ที่แน่นอนได้ คือในแต่ละตัวเลือกไม่สามารถตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ที่ต้องการได้ จะต้องเปลี่ยนโหมดหรือควรจะ Pop-UP บนส่วนอื่น

ถ้าต้องการเปลี่ยนจาก Run Mode มาเป็น Edit Mode ทำได้โดยการ Click บนปุ่ม หรือ เลือก Change To Edit Mode จาก Operate Menu เมนู หรือนอกจากนี้ยังใช้ คีย์บอร์ดได้ โดยกดปุ่ม <Ctrl> <M>

หมายเหตุ

สามารถ Run VIได้ขณะอยู่ที่ Edit Mode โดยมันจะเปลี่ยนมาเป็น Run mode แล้วปฏิบัติงานจนเสร็จ เมื่อเสร็จแล้วก็จะกลับไปอยู่ใน Edit Mode เหมือนเดิม

Tools

Tool เป็นโหมดการปฏิบัติพิเศษของ Mouse Cursor ใช้ Tools ตามคุณสมบัติเฉพาะหน้าที่ของมัน

Edit Mode Palette

ใน Edit Mode นั้นสามารถที่จะหา Editing tools ได้จากด้านล่างของ Menu bar ของ Window

รูปที่ 3.14 แสดง Tool Palette -Edit Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operating Tool มีไว้สำหรับเปลี่ยนค่าของ Front Panel (และ Indicators ถ้าอยู่ใน Edit Mode)
ซึ่งสามารถทำลูกบิด สวิตซ์ และอื่นๆ โดยใช้ Operating Tool ซึ่งชื่อ Operating Tool นี้จะมีอยู่ใน Run Mode เท่านั้น

Positioning Toolใช้สำหรับเลื่อน เลือก และเปลี่ยนขนาดตามที่ต้องการ

Labeling Tool ใช้สำหรับสร้าง และแก้ไข Label เดิม

Wiring Tool ใช้สำหรับต่อสาย Block Diagram เข้าด้วยกันตามต้องการและกำหนด Controls
และ Indicators บน Front Panelไปยัง Terminals บน VI Connector

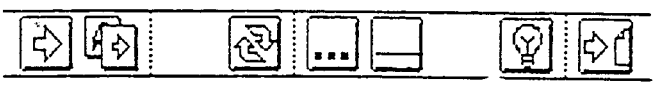
Coloring Tool ใช้เกี่ยวกับการให้แสงสีสันหรือพื้นต่างๆ ซึ่งจะมีสีต่างๆให้เลือกใช้

การเปลี่ยน Tools ทำได้โดยการ Click บน Tool Icon ใน Edit Mode แล้วเลือก Tool ตามที่ต้องการ หรือกดปุ่ม Tab บนคีย์บอร์ด ซึ่งจะเป็นการเลื่อน Tool ที่ใช้อยู่ปัจจุบันไปยัง Tool อื่นตามลำดับ หรือใช้การกด Space Bar เพื่อเป็นการเลื่อนไปมาระหว่าง Operating Tool กับ Positioning ในขณะที่ Panel Window ทำงานอยู่ และระหว่าง Wiring Tool กับ Positioning Tool ขณะที่ Diagram Window ทำงานอยู่

Warning ซึ่งสัญลักษณ์ของปุ่มนี้จะปรากฏขึ้นถ้ารูปร่าง VI แสดง Warning และมี Warning อื่นๆค้างอยู่แล้ว เราสามารถ Click ไปที่ปุ่ม Warning ได้เพื่อแก้ไขต่อไป Warning จะไม่เกิด Error ขึ้นถ้ากระทำบางสิ่งที่นอกเหนือไปจากหน้าที่ของมัน เช่นถ้าอยู่ใน Front Panel ก็ไม่ควรลากสายต่อสิ่งอื่นใด

Run Mode Palette

เมื่อพร้อมที่จะทดลอง VI ทำได้โดยการกดที่ปุ่ม Run หรือ เลือกไปที่ Change To Run Modeจาก Operate Menu ซึ่งคำสั่งนี้จะแปลง VI และนำ VI ข้าไปสู่ Run Mode ซึ่ง Run Mode Palette แสดงได้ดังรูปที่ 4.15 ใน Run Mode นั้นตัวเลือกการแก้ไข ต่างๆ จะหาได้ง่าย



รูปที่ 3.15 แสดง Tool Palette-Run Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ่ม Run ซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับลูกศร เมื่อ Click ปุ่มนี้เป็นการสั่งให้ VI เริ่มปฏิบัติงานจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อ VI นั้น Run ลูกศรจะกลายเป็นลูกศรแตกหัก เมื่อ VI นั้นไม่สามารถกระทำได้

ปุ่ม Stop ปุ่มนี้จะดูคล้ายกับเครื่องหมาย Stop ขนาดเล็ก ซึ่งจำได้ง่าย ปุ่มนี้จะปรากฏขึ้นเมื่อ VI เริ่มต้นปฏิบัติงานไปแล้วสามารถกดปุ่มนี้ เพื่อให้ VI หยุดการทำงานได้

ข้อควรระวัง

การใช้ปุ่ม Stop นี้จะคล้ายกับคีย์ <Break> โดยโปรแกรมจะหยุดโดยทันทีจะไม่กระทำไปจนจบ และข้อมูลมีโอกาสจะเสียได้ ดังนั้นเราควรจะสำรวจข้อมูลต่างๆ ก่อนที่เราจะปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อเลิกทำโปรแกรม

ปุ่ม Mode เป็นปุ่มที่ใช้เลือกเปลี่ยน Mode ระหว่าง Run Mode กับ Edit Mode

ปุ่ม Continuous Run เป็นปุ่มที่สั่งให้ VI ทำงานกลับไปกลับมา จนกระทั่งกดปุ่ม Stop จึงหยุดทำงาน ซึ่งปุ่มนี้จะคล้ายกับกำหนดให้ Go to ดังนั้นจึงไม่ควรใช้มากเกินไป

ปุ่ม Breakpoint เมื่อมีปัญหาใน SubVI ปุ่มนี้จะเป็นปุ่มที่ส่งให้หยุดพักการทำงานชั่วคราว เมื่อมีการร้องขอมาจาก SubVI ดังนั้นจึงสามารถดูได้ว่าต้องทำอะไรและแม้แต่เปลี่ยนค่าอินพุท

ปุ่ม Step mode ปุ่มนี้จะสั่งให้ VI นั้นทำงานไปทีละขั้นในแต่ละครั้ง เมื่อกดปุ่มนี้ก็จะทำให้ปุ่ม Single Step ( )ปรากฏขึ้นมา Click ปุ่ม Single Step ในแต่ละครั้งก็จะทำให้ VI ทำงานไปทีละขั้นเรื่อยๆ

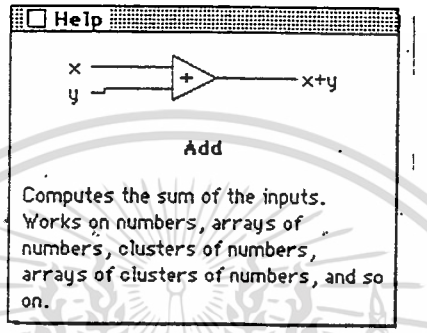
ปุ่ม Execution Highlighting ซึ่งปุ่มนี้ทำให้ VI เกิดการไหลของข้อมูลผ่านตลอด Diagram เมื่อกดปุ่มนี้ให้ทำงานหลอดไฟก็จะสว่างขึ้น แล้วทำให้สามารถดูค่าต่างๆ ของข้อมูลใน Block Diagram ได้

ปุ่ม Print Mode ซึ่ง Front Panel ของ VI ส่งติดต่อไปยัง Printer แล้วจากที่ VI ปฏิบัติงานเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 Help

Help Window ของ LabVIEW จะช่วยแจ้งเรื่อยราวที่เกี่ยวกับ หน้าที่ ค่าคงที่ SubVI และ Control กับ Indicators ของ LabVIEW โดยแสดงเป็น Windows ให้เลือก Show Help จาก Help Menuหรือใช้คีย์บอร์ดโดยกด <Ctrl-H> ก็สามารถเลื่อน Help Windowไปไว้ส่วนใดของจอภาพได้ เพื่อไม่ให้ขวางทาง รูป Help แสดงได้ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 3.16 แสดง Help Window

เมื่อเลื่อนทั่วทั้ง Function, SubVI Node หรือ VI Icon (รวมทั้ง Icon ของ VI ที่เปิดจากมุมบนด้านขวาของ VI Window) Help Window จะแสดง Icon สำหรับ Function หรือ SubVI กับสายต่อที่เกี่ยวพันเหมาะสมกับชนิดของข้อมูลของแต่ละ Terminal ทางด้านอินพุท สายต่อจะอยู่ด้านซ้าย และทางด้านเอาท์พุท สายต่อจะอยู่ด้านขวา ซึ่งชื่อของ Terminal จะปรากฏอยู่ด้านข้างของสายต่อแต่ละเส้น ถ้า VI มีรูปร่างลักษณะเหมือนกับมันแล้วมันก็จะแสดงรูปร่างลักษณะนี้เหมือนกัน สำหรับบาง SubVI, หรือ Function กับอินพุทหลายๆ อินพุท Help Windows ก็จะแสดงชื่อของอินพุทที่เราจะต้องต่อสายเข้าด้วยกัน เมื่อเลือกที่ Lock Help จาก Help Menu ก็สามารถเก็บ Help Window ที่ไม่ต้องการให้เปลี่ยนแปลงค่าไว้ได้ถ้าตำแหน่งของสายที่ต้องการต่อเข้าด้วยกันอยู่เกินกว่า Node ที่เจาะจงไว้บนFunction หรือ SubVI แล้ว Help Window ก็จะแสดง Node ที่ถูต้องที่เราสามารถต่อสายได้อย่างถูกต้องตามตำแหน่ง

3.2.8 SubVI,

จะต้องเข้าในและใช้ Hierarchical ของ VI ถ้าหากว่าต้องการใช้ประโยชน์ของ LabView อย่างเต็มความสามารถ หลังจากที่สร้าง VI ขึ้นมา สามารถใช้ได้เช่นเดียวกับ SubVI ใน Block Diagramของ VI ในระดับสูงขึ้น ซึ่ง SubVI ของ LabView คล้ายคลึงกับ Subroutines ในภาษาซี ซึ่งสามารถใช้ ในโปรแกรมภาษาซี ได้โดยไม่มีการจำกัดจำนวนรอบการใช้ และในโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LabView ก็เช่นเดียวกัน สามารถใช้ SubVI ได้โดยไม่มีการจำกัดจำนวนรอบของการใช้ สามารถเรียก SubVI ที่อยู่ใน อื่นๆได้อีกด้วย ถ้า Block Diagram มีจำนวน Icon ก็สามารถจัด Icon เหล่านั้นให้เป็นกลุ่มตั้งเป็น Block Diagram ที่ง่ายเข้าใน Low -Level VI ซึ่งจัดให้เป็นกลุ่มเหล่านี้จะง่ายต่อการใช้ประโยชน์ในการแก้ไข เข้าใจและดัดแปลง

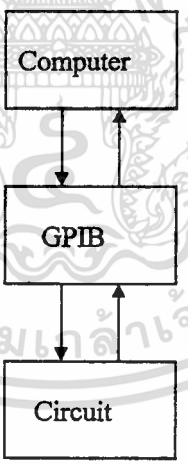
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
หลักการวัดคุณสมบัติทรานซิสเตอร์

ในปัจจุบันนี้ ข้อมูลทรานซิสเตอร์เบอร์ต่างๆ มีอยู่มากมายโดยมากจะทำออกมาในรูปแบบของตาราง ซึ่งจะบอกคุณสมบัติมาพอเป็นตัวอย่างเท่านั้นจะไม่ทราบค่าที่จุดการทำงานอื่นๆได้เลย สิ่งที่จะบอกได้ละเอียดกว่าตารางคือ กราฟ ซึ่งเรียกว่ากราฟคุณสมบัติทางเอาท์พุท (Output Characteristic)

ในการวัดคุณสมบัติแบ่งเป็นส่วนต่างๆ ที่ สำคัญ 3 ส่วนดังนี้ คือ

1. คอมพิวเตอร์ เป็นส่วนของการทำงานของโปรแกรม Lab VIEW ที่ใช้เป็นตัวการทำงานรับคำสั่งและแสดงผล
2. อินเตอร์เฟสบัสเอนกประสงค์ (GPIB) เป็นส่วนของการควบคุม Power supply ในการจ่ายแรงดัน และควบคุมมัลติมิเตอร์เพื่อวัดค่าส่งผลไปยังคอมพิวเตอร์
3. วงจรที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติ เป็นส่วนของวงจรที่ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติ และ ความต้านทานค่าต่างๆที่ใช้ในการกำหนดกระแส



รูปที่ 4.1 แสดงการเชื่อมต่อของส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการวัดกราฟคุณสมบัติ

4.1 หลักการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานต่างๆ ในการวัดคุณสมบัติโดยมีหน้าจอที่แสดงออกทางมอนิเตอร์คล้ายกับเครื่องมือวัดจริงๆ ผู้ใช้สามารถปรับแต่งโดยง่าย การทำงานจะรับข้อมูลจากผู้ใช้และแสดงผลกลับมายังหน้าจอของมอนิเตอร์ การทำงานของ

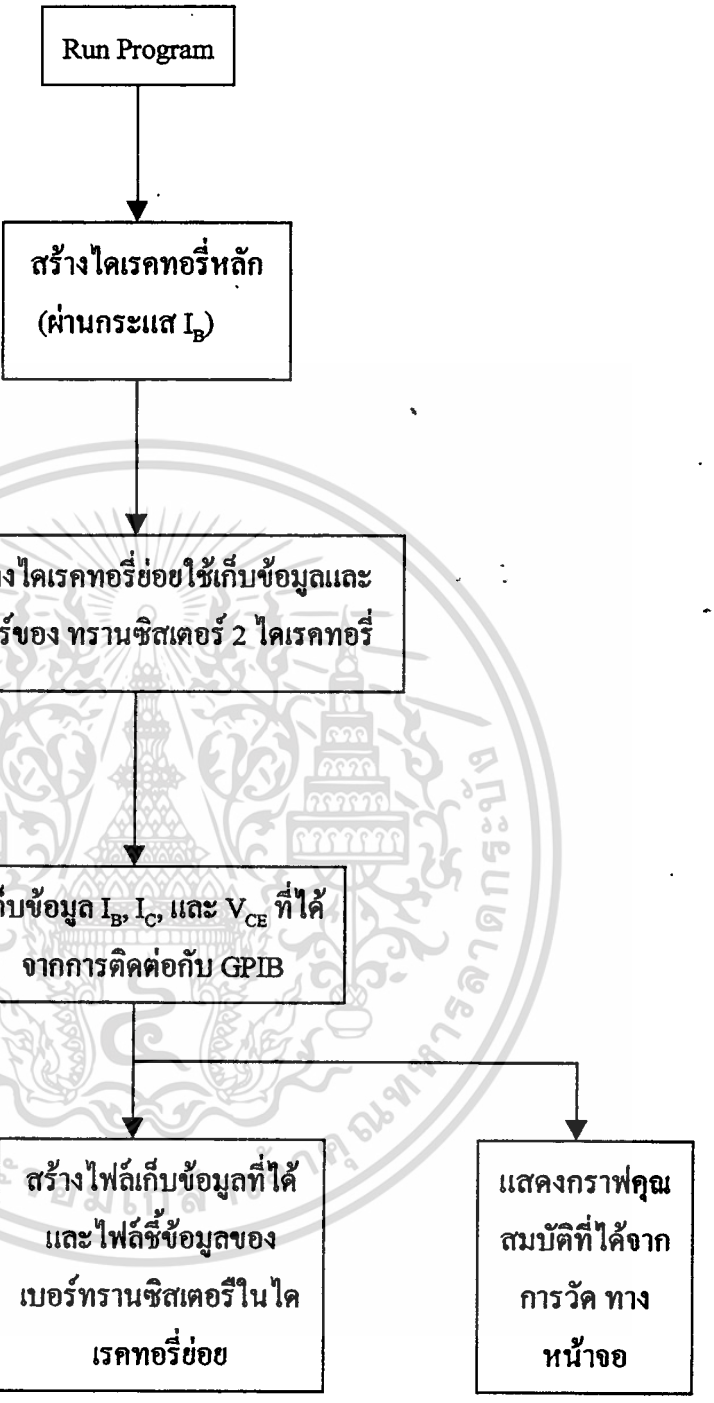
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ การวัดคุณสมบัติพร้อมกับการเก็บฐานข้อมูล และการแสดงกราฟจากฐานข้อมูล

4.1.1 การวัดคุณสมบัติพร้อมกับการเก็บฐานข้อมูล

การวัดคุณสมบัติพร้อมกับการเก็บฐานข้อมูลนี้เป็นการวัดคุณสมบัติจากทรานซิสเตอร์ โดยตรงซึ่งจะต้องใช้ GPIB และวงจนวัดคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ ด้วยเสมอในการวัดแต่ละครั้งจะใช้ควบคู่กับการเก็บฐานข้อมูล ดังนั้นก่อนการวัดทุกครั้งจำเป็นจะต้องเลือกไดร์ฟที่จะเก็บข้อมูล โดยโปรแกรมนี้มีไดร์ฟที่แสดงผ่านหน้าจอให้เลือก 3 ไดร์ฟ คือ A, C และ D นอกจากการเลือกไดร์ฟแล้วจะต้องใส่เบอร์ของทรานซิสเตอร์ที่จะทำการวัดลงในบล็อกที่กำหนด และเลือกช่วงของกระแส I_B ที่ต้องการให้แสดงกราฟคุณสมบัติซึ่งมีอยู่ 3 ช่วงด้วยกัน คือ 20μA-40μA, 50μA-100μA และ 100μA-200μA หลังจากได้เลือกและใส่เบอร์ลงไปแล้ว เมื่อสั่งให้โปรแกรมทำงานในขั้นตอนแรกนี้จะสร้างไดเรคทอรี่ (Directory) โดยไดเรคทอรี่แรกมี 3 ไดเรคทอรี่ คือ Data 1 ,Data 2 และ Data3 ขึ้นอยู่กับการเลือกช่วงกระแส I_B เช่นถ้าเลือกกระแส I_B ที่20μA-40μA ก็จะสร้างไดเรคทอรี่ Data1 เป็นต้นจากนั้นก็จะทำการสร้างไดเรคทอรี่ย่อย 2 ไดเรคทอรี่ คือ ไดเรคทอรี่ที่มีชื่อตามเบอร์ของทรานซิสเตอร์และไดเรคทอรี่ที่มีชื่อ List ในขั้นต่อมาก็จะสร้างไฟล์ที่เก็บข้อมูลค่ากระแส I_B, I_C และ แรงดัน V_{CE} ซึ่งใช้ในการพล็อตกราฟและแสดงค่าต่างๆมีลักษณะเป็นไฟล์นามสกุล.TXT และสร้างไฟล์ที่เก็บข้อมูลนี้ไม่มีนามสกุล ขั้นตอนในการสร้างไฟล์ที่เก็บข้อมูลนี้จะต้องได้รับค่าต่างๆ ที่ติดต่อกับ GPIB จนครบจึงบันทึกไฟล์นี้ลงในไดเรคทรอรี่เป็นลักษณะของแกน X และแกน Y เมื่อเก็บข้อมูลได้ครบทุกไฟล์แล้วจึงมีการแสดงกราฟออกมาทางหน้าจอมอนิเตอร์ จากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นเมื่อเลือกและใส่ข้อมูลต่างๆ ที่หน้าจอแล้ว สั่งให้โปรแกรมทำงาน สามารถแสดงการทำงานหลักๆ เป็น Block Diagram ได้ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



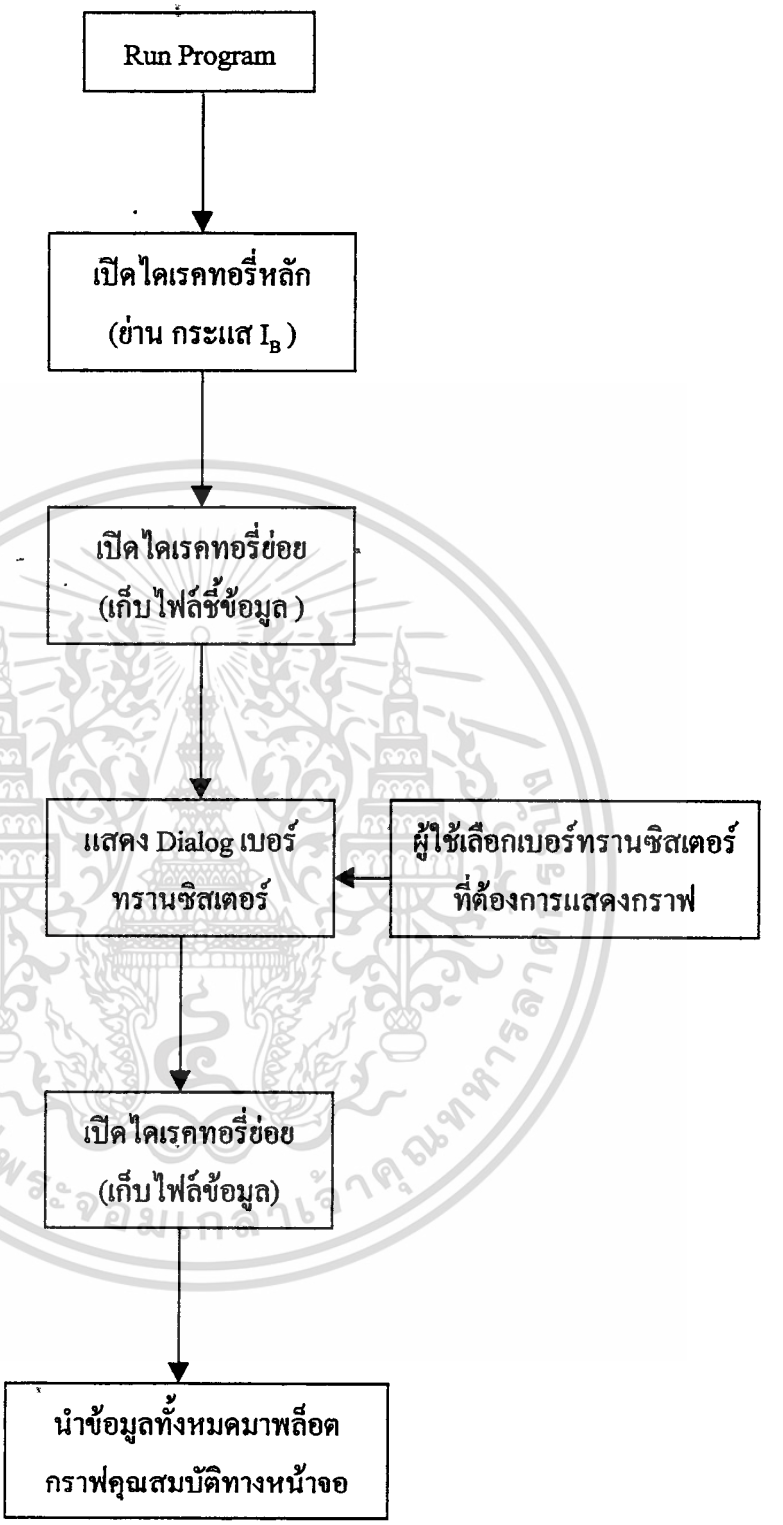
รูปที่ 4.2 แสดง Block Diagram การทำงานหลักของการวัดคุณสมบัติพร้อมกับการเก็บฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12 การแสดงกราฟจากฐานข้อมูล

การแสดงกราฟจากฐานข้อมูลนั้นไม่จำเป็นต้องใช้ GPIB และวงจรที่ใช้วัดคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์เลย เพียงแต่ต้องมีข้อมูลเก็บไว้ และนำเป็นอย่างยิ่งว่าข้มูลที่เก็บไว้นั้นอยู่ไดร์ฟอะไร เพื่อที่จะเลือกไดร์ฟในการเปิดข้อมูลและเลือกย่านของแระแส I_B ที่ต้องการให้แสดงกราฟคุณสมบัติด้วยดังนั้นในการแสดงกราฟจากฐานข้อมูลนี้จึงไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากเท่ากับการวัดคุณสมบัติพร้อมกับการเก็บฐานข้อมูล เมื่อสั่งให้โปรแกรมทำงานในขั้นตอนแรกไดเรคทอรี่หลักบอลย่านกระแสที่ถูกเลือกไว้ทางหน้าจอก็จะเปิดจากนั้นไดเรคทอรี่ที่เก็บไฟล์ชี้ข้อมูลของเบอร์ทรานซิสเตอร์ก็จะเปิขึ้นพร้อมกันนี้ จะแสดง Dialog ทางหน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้เลือกเบอร์ของทรานซิสเตอร์ที่ต้องการให้แสดงกราฟคุณสมบัติเมื่อผู้ใช้เลือกเบอร์ที่ต้องการแล้ว ไฟล์ชี้ข้อมูลก็จะแสดงให้เปิดไดเรคทอรี่ตามเบอร์ที่ต้องการ โดยมีข้อมูลของ I_B, I_C และ V_{CE} ที่ใช้ในการแสดงกราฟจากนั้นข้อมูลทั้วมดนี้จะทำการแยพล้อตกราฟในแต่ละเส้นแต่ละเส้นของค่า I_B และแสดงผลเป็นกราฟคุณสมบัติผ่านทางหน้าจอมอนิเตอร์ ซึ่งผู้ใช้ทำการเลือกไดร์ฟและ ผ่านของกระแส I_B แล้ว สั่งให้โปรแกรมทำงาน สามารถแสดงการทำงานนี้เป็น Block Diagram ได้ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



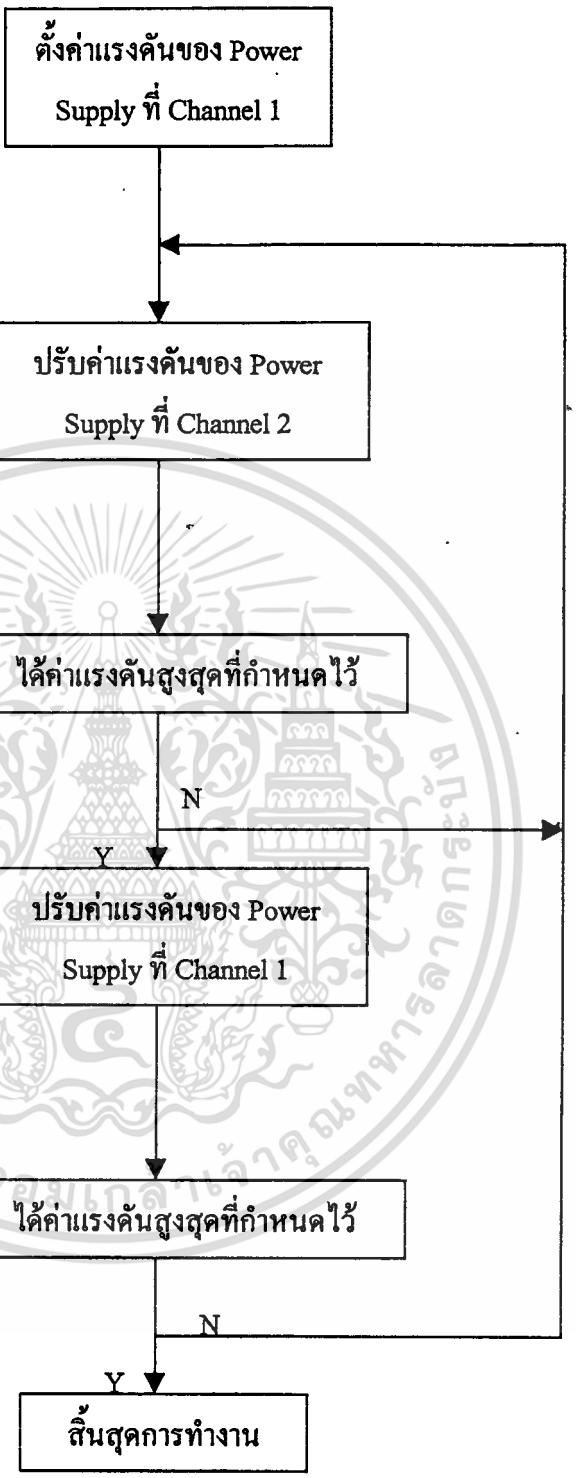
รูปที่ 4.3 แสดง Block Diagram การทำงานหลักของโปรแกรมในการแสดงกราฟจากฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อินเตอร์เฟสบัสเอนกประสงค์ (GPIB)

อินเตอร์เฟสบัสเอนกประสงค์หรือเรียกสั้นๆ ว่า GPIB นี้จะถูกควบคุมการทำงานโดยโปรแกรม LabVIEW โดยจะถูกควบคุมการปรับแรงดัน Power Supply ที่ Channel 1 เป็น V_{BB} และ Channel 2 เป็น V_{CC} MultiMater จะทำการอ่านค่า กระแส I_C ซึ่งขั้นตอนการทำงานมีดังนี้คือ ขั้นแรกปรับ V_{BB} ค่าคงที่ค่าหนึ่งและค่อยๆ เพิ่มค่า V_{CC} เป็นลำดับขั้นโดยเพิ่มขึ้นไปจนสิ้นสุดรอบการทำงานที่กำหนดจากการเขียนโปรแกรม ในแต่ละลำดับขึ้นจะวัดกระแส I_C ด้วยทุกครั้ง เมื่อ V_{CC} เพิ่มค่าจนสูงสุดแล้วก็จะกลับมาเริ่มค่าแรงดันที่จุด เริ่มต้นโดย V_{BB} จะเปลี่ยนค่าเพิ่มขึ้นไปตามจำนวนเส้นของ I_B ที่แสดงทางหน้าจอในที่นี่ได้เขียนลำดับขั้นของการปรับค่า V_{BB} ไว้ 6 ครั้ง ซึ่งก็คือการแสดงกราฟของ คุณสมบัติทรานซิสเตอร์ มี 6 เส้นนั่นเอง การปรับ ค่า V_{BB} และ V_{CC} จะสิ้นสุดลงเมื่อการปรับแรงดัน ที่ถูกควบคุมโดยโปรแกรม นั้นมีค่าสูงสุดตามที่ตั้งไว้ การปรับค่า V_{BB} และ V_{CC} นี้สามารถแสดง Block Diagram การปรับค่าได้ดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

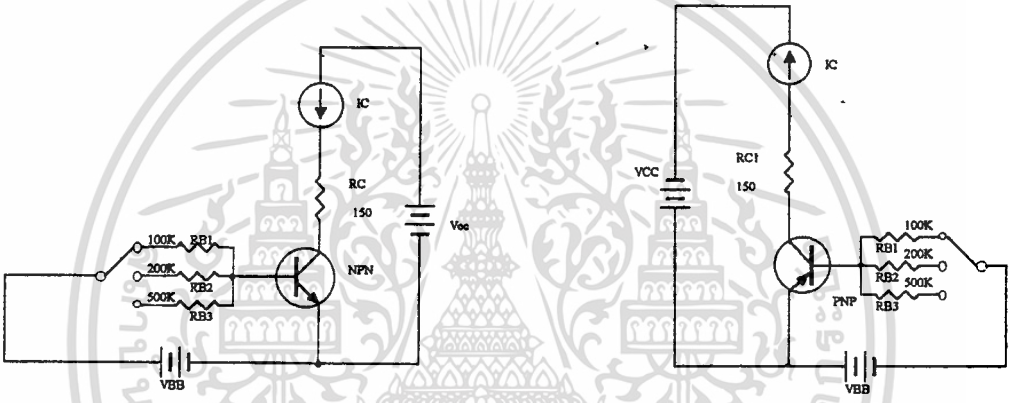


รูปที่ 4.4 แสดง Block Diagram การปรับค่า Power Supply ของ GPIB โดยควบคุมจากโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วงจรที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติทรานซิสเตอร์

วงจรที่ใช้วัดคุณสมบัติทรานซิสเตอร์ เป็นวงจรที่ใช้วัดคุณสมบัติทรานซิสเตอร์แบบทั่วๆ ไป ซึ่งง่ายต่อการควบคุมกระแสและแรงดันต่างๆ ซึ่งในวงจรนี้มีค่า R_B ให้เลือก 3 ค่า ด้วยกันเพื่อเป็นการเปลี่ยนย่านของกระแส 3 ค่าด้วยกันเพื่อเป็นการเปลี่ยนย่านของกระแส I_B คือ ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนย่านกระแส I_B ทางหน้าจอมอนิเตอร์ก็จะต้อง เปลี่ยนผ่าน I_B ที่วงจรนี้เช่นกัน และในการวัดคุณสมบัติแต่ละครั้งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรู้ชนิดของทรานซิสเตอร์ว่า เป็น NPN หรือ PNP และขาของทรานซิสเตอร์จัดเรียงอยู่ในลักษณะใด เพื่อจะได้ใช้วัดและเลือกแรงดันที่ใช้ ได้ถูกต้องวงจรในการวัดคุณสมบัติทรานซิสเตอร์ ชนิด PNP และ PNP แสดงดังรูปที่ 4.5 (a) และ 4.5 (b) ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 (a) แสดงวงจรในการวัดคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

4.5 (b) แสดงวงจรที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

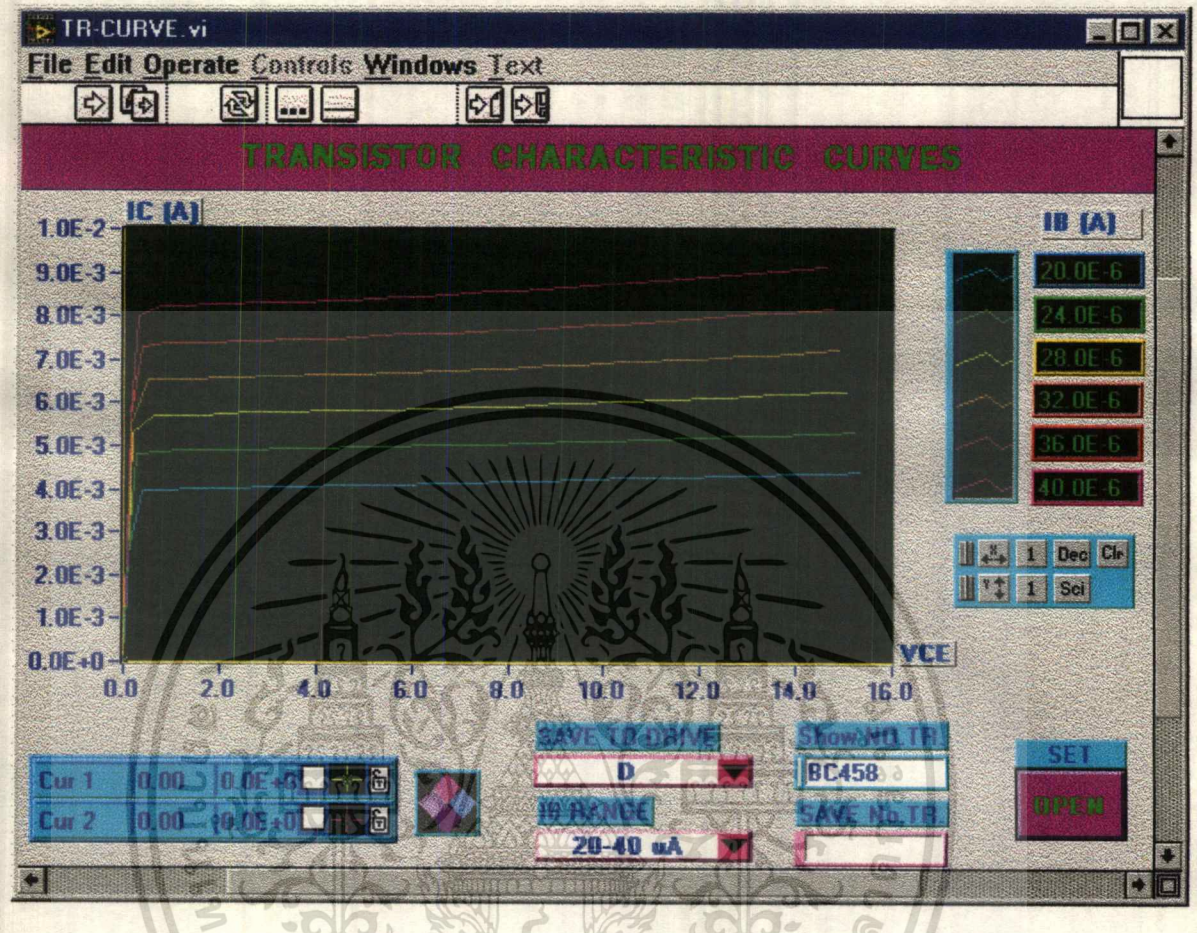
บทที่ 5
การทดลอง

จากการที่ได้ศึกษาในบทที่ผ่านมา สามารถนำมาทำการทดลองและแสดงผลการวัดคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์เป็นกราฟผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งจากกราฟคุณสมบัติที่วัดได้นี้เอง จะนำมาเก็บเป็นข้อมูลกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์แต่ละเบอร์ เพื่อให้ง่ายในการที่จะแสดงกราฟคุณสมบัติในครั้งต่อไป

5.1 การแสดงกราฟคุณสมบัติ

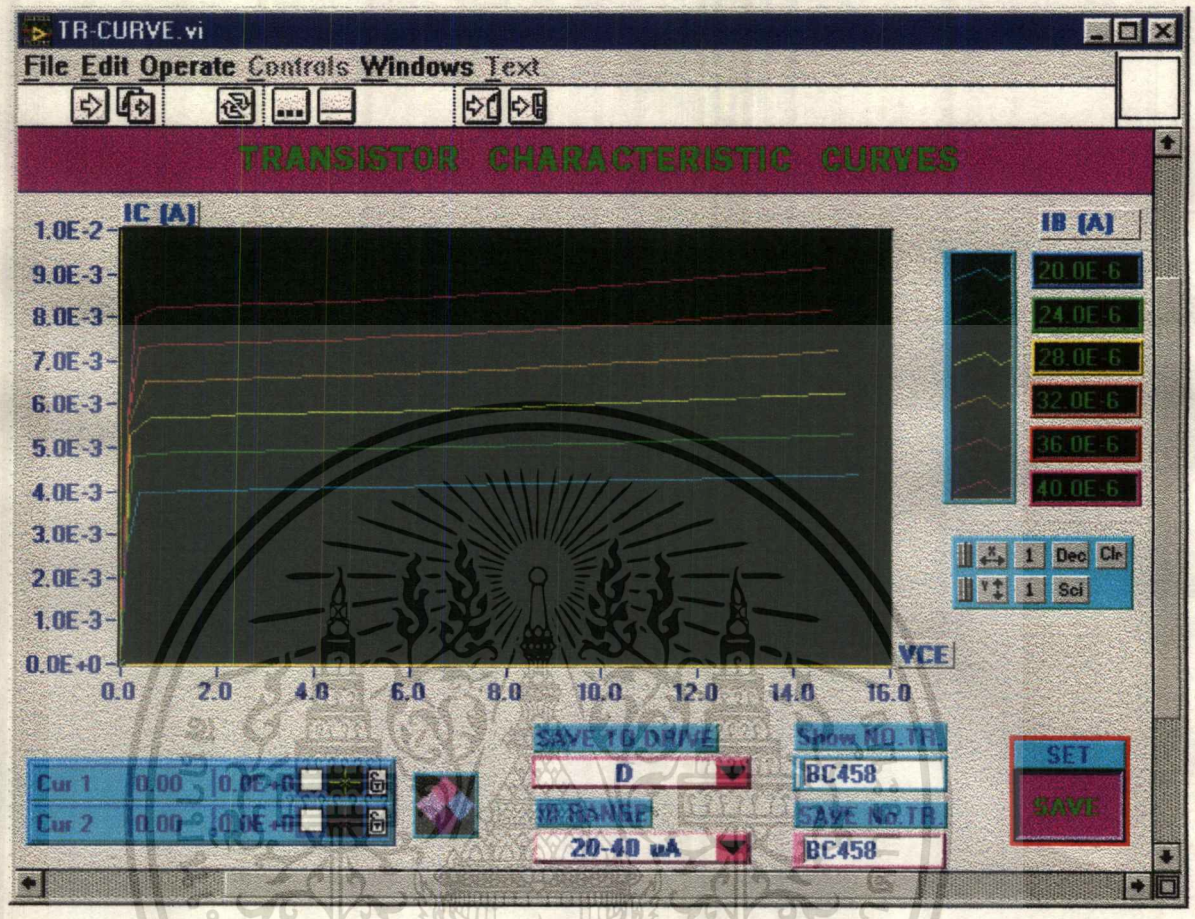
การแสดงกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยมีโปรแกรม LabVIEW เป็นตัวดำเนินการหรือประมวลผล ซึ่งการแสดงกราฟมี 2 กรณีคือ กราฟที่มาจากการวัดและเก็บข้อมูลโดยตรง และ กราฟที่มาจากข้อมูลที่เก็บไว้แล้วจากการวัด ซึ่งทั้งสองกรณีนี้จะแสดงกราฟออกมาเหมือนกัน ลักษณะการแสดงกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์ทั้งสองกรณีด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 และ รูปที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



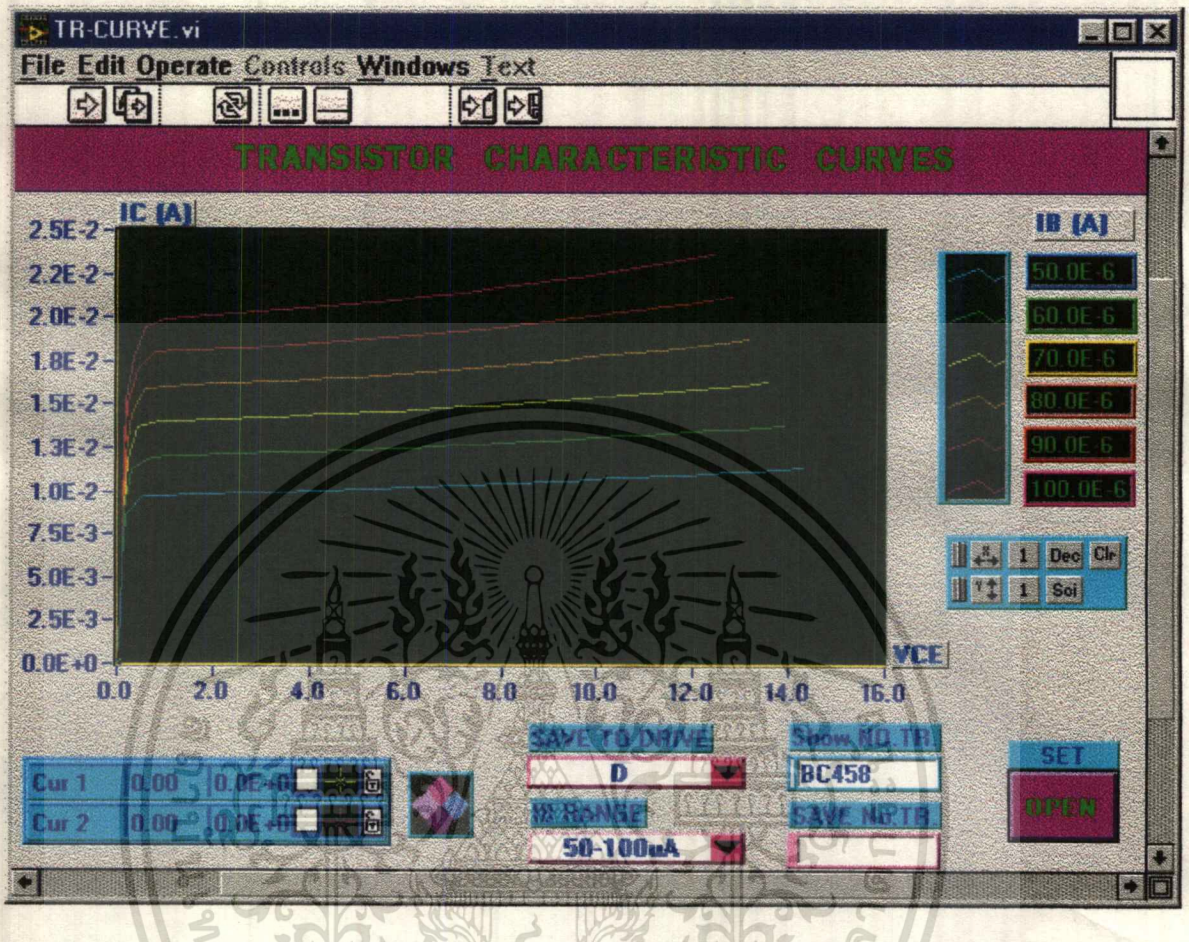
รูปที่ 5.1 แสดงกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์จากฐานข้อมูลที่ I_B มีค่า 20uA – 40uA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



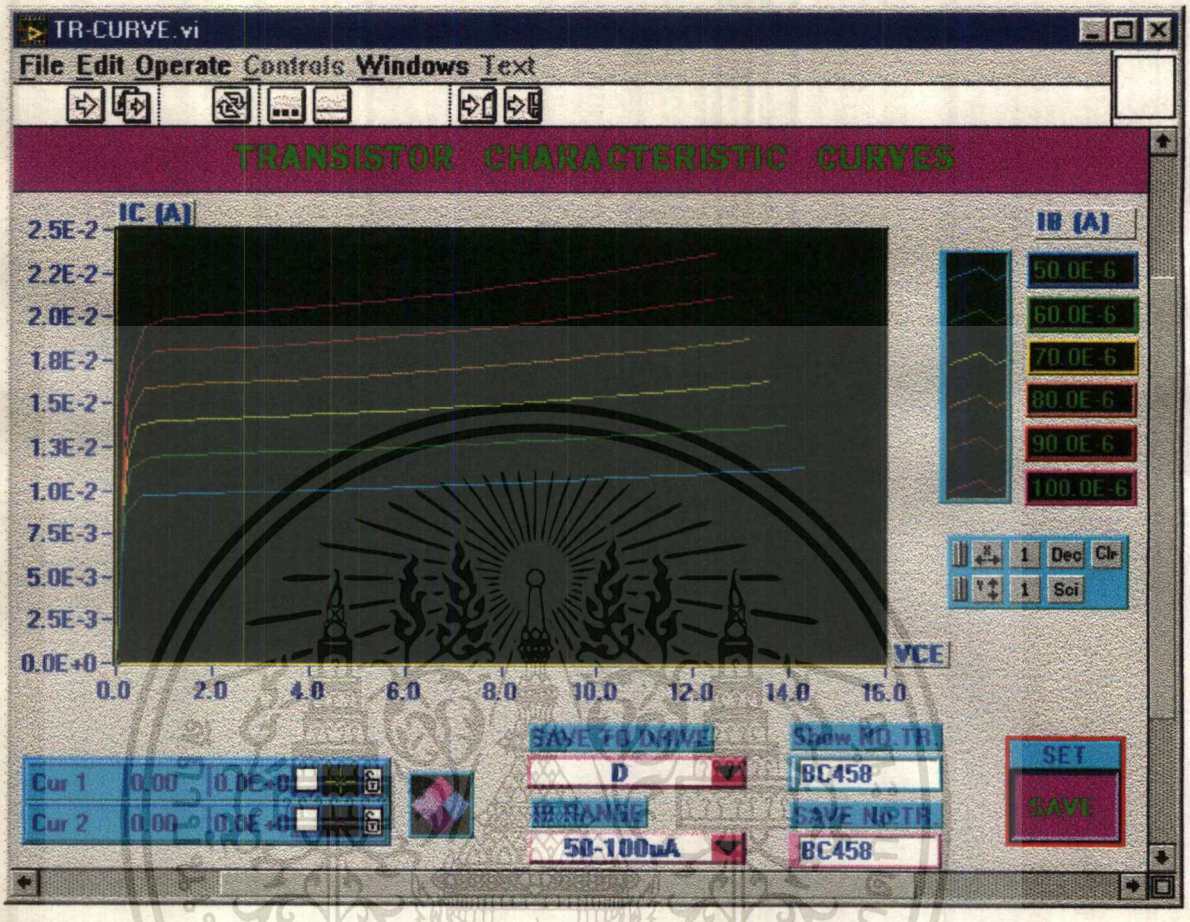
รูปที่ 5.2 แสดงกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์จากการวัดและเก็บฐานข้อมูลที่ I_B มีค่า 20uA – 40uA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



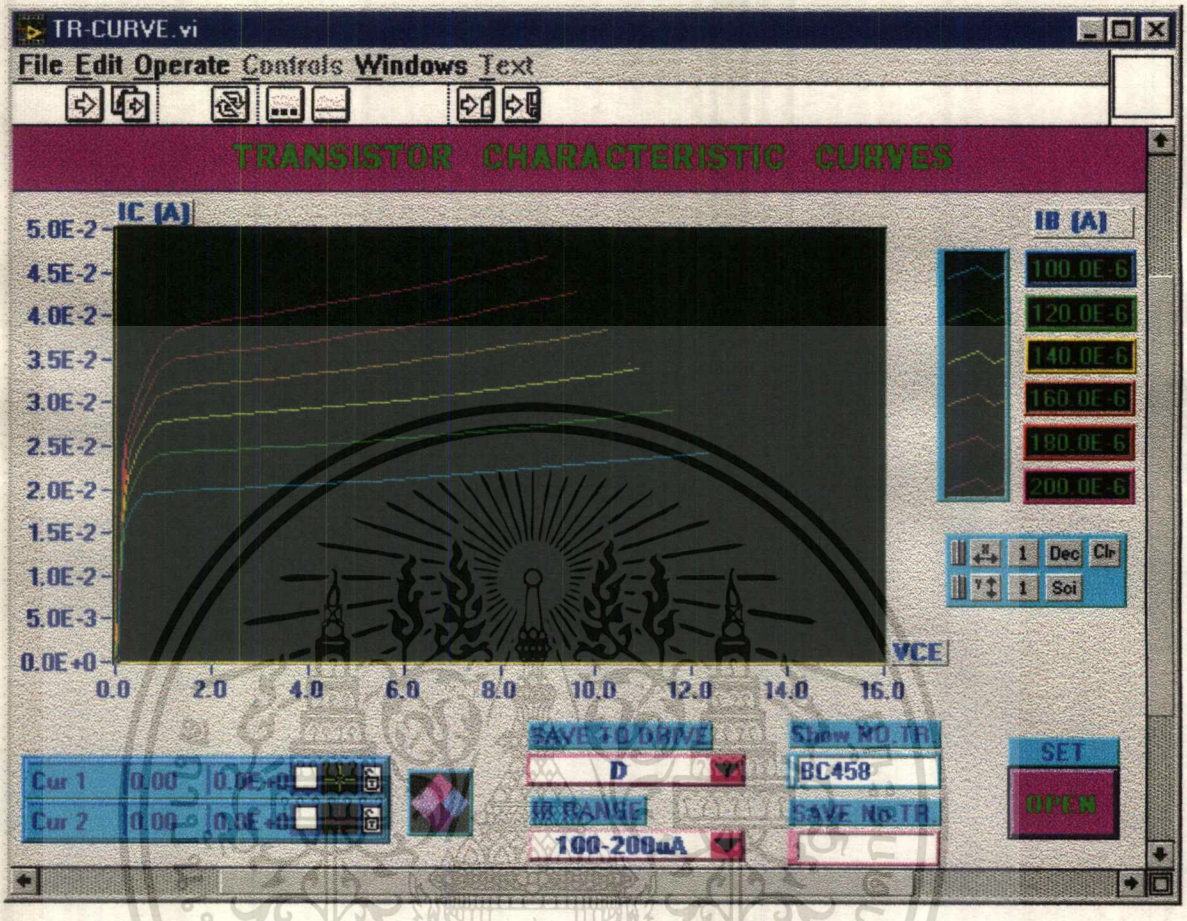
รูปที่ 5.3 แสดงกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์จากฐานข้อมูลที่ I_B มีค่า 50uA – 100uA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



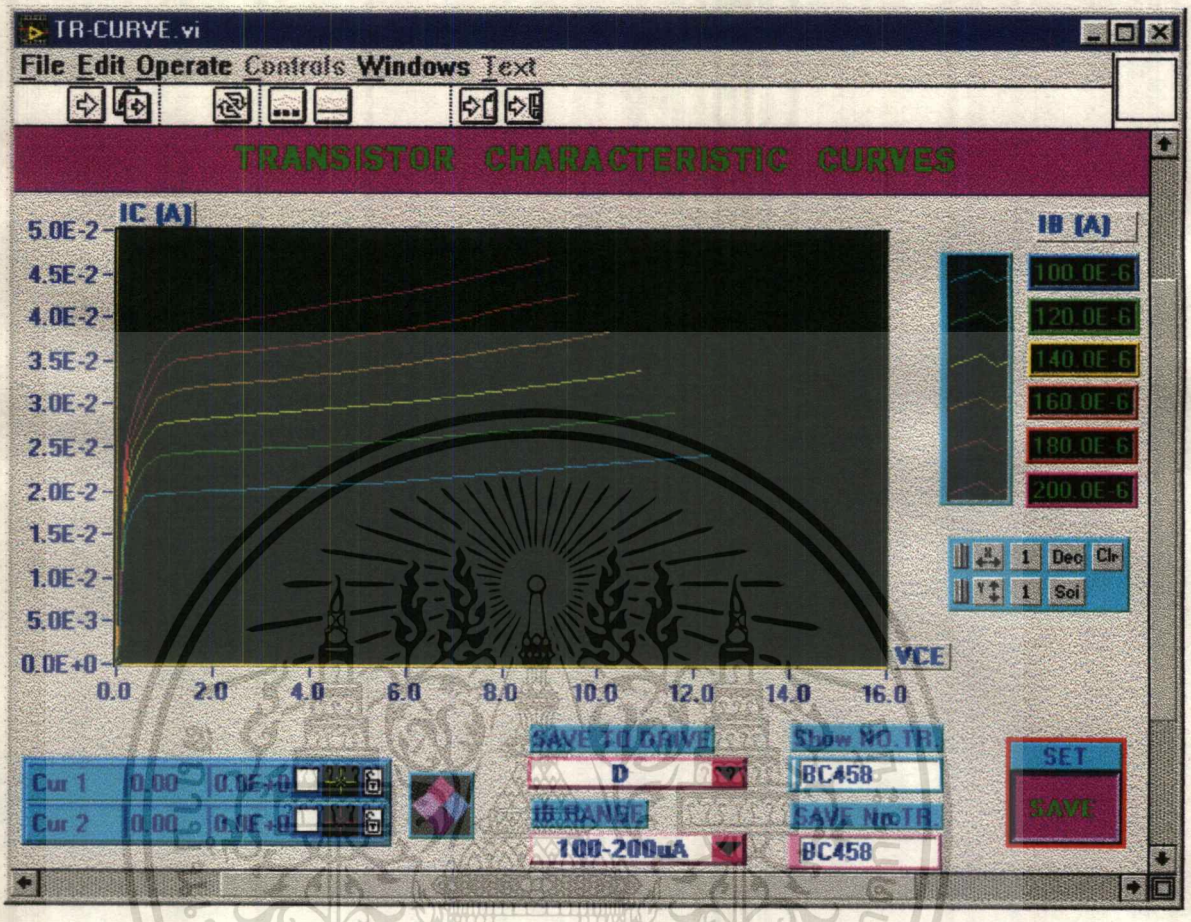
รูปที่ 5.4 แสดงกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์จากการวัดและเก็บฐานข้อมูลที่ I_B มีค่า 50uA –100uA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์จากฐานข้อมูลที่ I_B มีค่า 100uA – 200uA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์จากการวัดและเก็บฐานข้อมูลที่ I_B มีค่า 100uA–200uA

ในรูปกราฟแสดงคุณสมบัติทรานซิสเตอร์ที่ได้แสดงมานี้เป็นการแสดงกราฟที่กระแส I_B ค่าต่างๆ จากการปรับช่วงกระแสเบสที่ย่านต่างๆ ของทรานซิสเตอร์เบอร์ BC458 ซึ่งในแต่ละย่านของกระแสเบสจะมีเส้นกราฟคุณสมบัติที่ค่ากระแสเบสต่างกันอยู่ 6 เส้นและจะแสดงค่าของเส้นกระแสนั้นทางบล็อกขวาของหน้าจอแสดงกราฟ ในการเก็บฐานข้อมูลนั้นจะต้องใส่เบอร์ทรานซิสเตอร์ และ ไดร์ฟที่ต้องการเก็บฐานข้อมูลก่อนเสมอ ซึ่งไดร์ฟที่ใช้ในการเก็บฐานข้อมูลมี 3 ไดร์ฟที่กำหนดไว้คือ A, C และ D ดังนั้นในการเปิดกราฟคุณสมบัติดูนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรู้ว่าฐานข้อมูลที่เก็บนั้นอยู่ในไดร์ฟใดและเมื่อโปรแกรมทำงานแต่ละครั้งทั้งในการเก็บฐานข้อมูลและเปิดดูข้อมูลที่เก็บไว้จะแสดงเบอร์ทรานซิสเตอร์ในบล็อกขางล่างของหน้าจอแสดงกราฟนั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ลักษณะการเก็บฐานข้อมูล

ลักษณะการเก็บฐานข้อมูลจะมีไดเรคทอรี่หลักเป็นไดเรคทอรี่ย่านกระแส I_B และไดเรคทอรี่ย่อยมี 2 ไดเรคทอรี่คือไดเรคทอรี่ที่เก็บไฟล์ข้อมูลที่ใช้ในการพล็อตกราฟและอีกไดเรคทอรี่ใช้ในการเก็บไฟล์ที่ชี้ไดเรคทอรี่ที่เก็บไฟล์ข้อมูล ไฟล์ที่ได้จากการวัดทรานซิสเตอร์นั้นจะเก็บในลักษณะเป็นไฟล์นามสกุล .TXT ส่วนไฟล์ที่ชี้ไดเรคทอรี่ที่เก็บข้อมูลนั้นจะไม่มีนามสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปและวิจารณ์

ในโครงงานนี้ เป็นการประยุกต์การใช้โปรแกรม LabVIEW มาควบคุมการทำงาน เพื่อวัดคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์และเก็บข้อมูล ใช้แสดงเป็นกราฟผ่านทางหน้าจอมอนิเตอร์ ซึ่งหน้าจอที่แสดงนี้เป็นลักษณะคล้ายกับเครื่องมือวัดจริงๆ มีปุ่มและบล็อกต่างๆ เพื่อใช้ในการปรับค่าที่ต้องการ เมื่อกราฟแสดงขึ้นมาจากทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนั้นจะมีลักษณะคุณสมบัติไม่เหมือนกัน ซึ่งโปรแกรม LabVIEW นี้ยังสามารถปรับสเกลได้โดยง่ายทำให้กราฟออกมาเต็มจอชัดเจนยิ่งขึ้น ง่ายต่อการใช้งาน มีการปรับย่านการวัดที่ค่ากระแส I_B ค่าต่างๆ ได้ 3 ย่าน ซึ่งจะแสดงคุณสมบัติได้ชัดเจน ในทรานซิสเตอร์แต่ละตัวในส่วนของวงจรที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์นั้นเป็นวงจรที่ใช้งานกันทั่วๆ ไปที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติ ซึ่งข้อเสียของโครงงานนี้คือ ในการวัดทรานซิสเตอร์แต่ละครั้งจำเป็นต้องรู้ชนิดของทรานซิสเตอร์และขาทั้งสามของทรานซิสเตอร์ด้วย ในส่วนของโปรแกรมนั้นเมื่อให้โปรแกรมทำงานให้วัดคุณสมบัติทรานซิสเตอร์ทุกครั้ง จะต้องทำการเก็บฐานข้อมูลด้วยเสมอ ซึ่งบางครั้งไม่จำเป็น รวมทั้งโปรแกรมนี้ยังหาใช้งานได้ยาก และมีราคาแพงจึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้งานจริงๆในการวัดคุณสมบัติ ซึ่งในการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นนี้ควรจะมีโปรแกรมการตรวจสอบชนิดและขาของทรานซิสเตอร์ด้วย และควรแยกการวัดข้อมูลกับการเก็บฐานข้อมูลให้อิสระต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

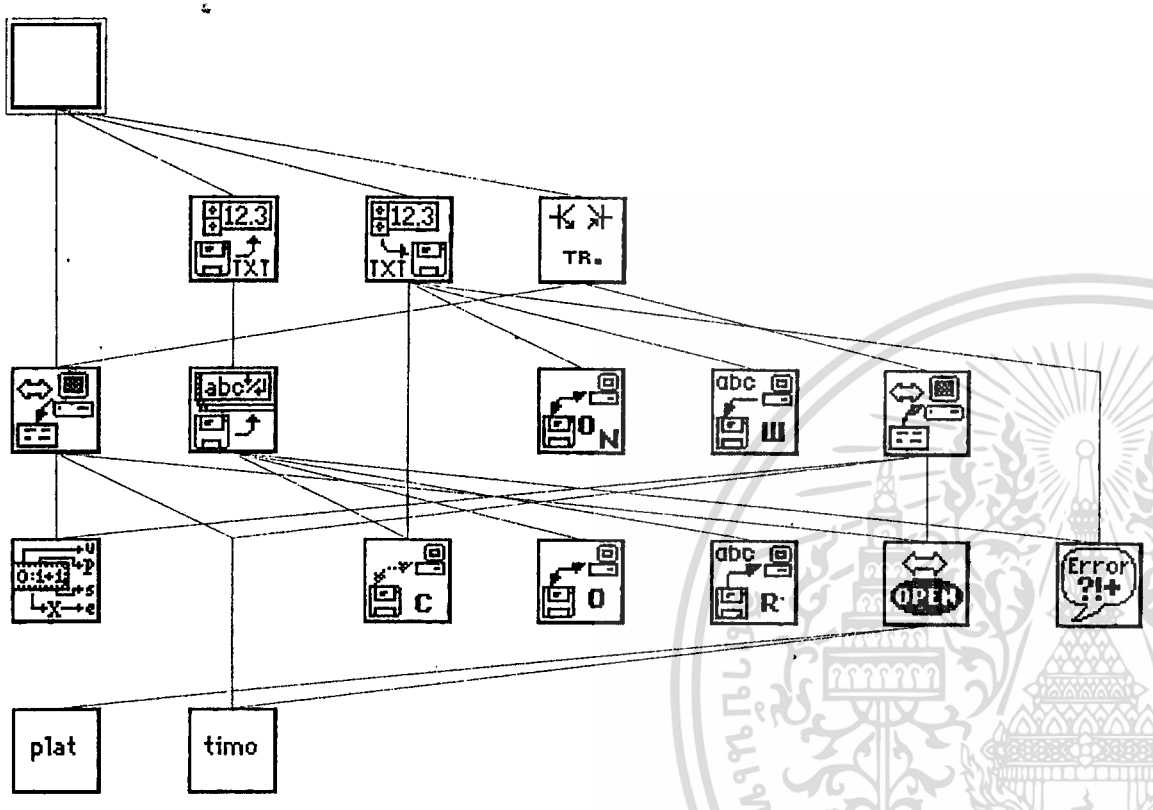
บรรณานุกรม

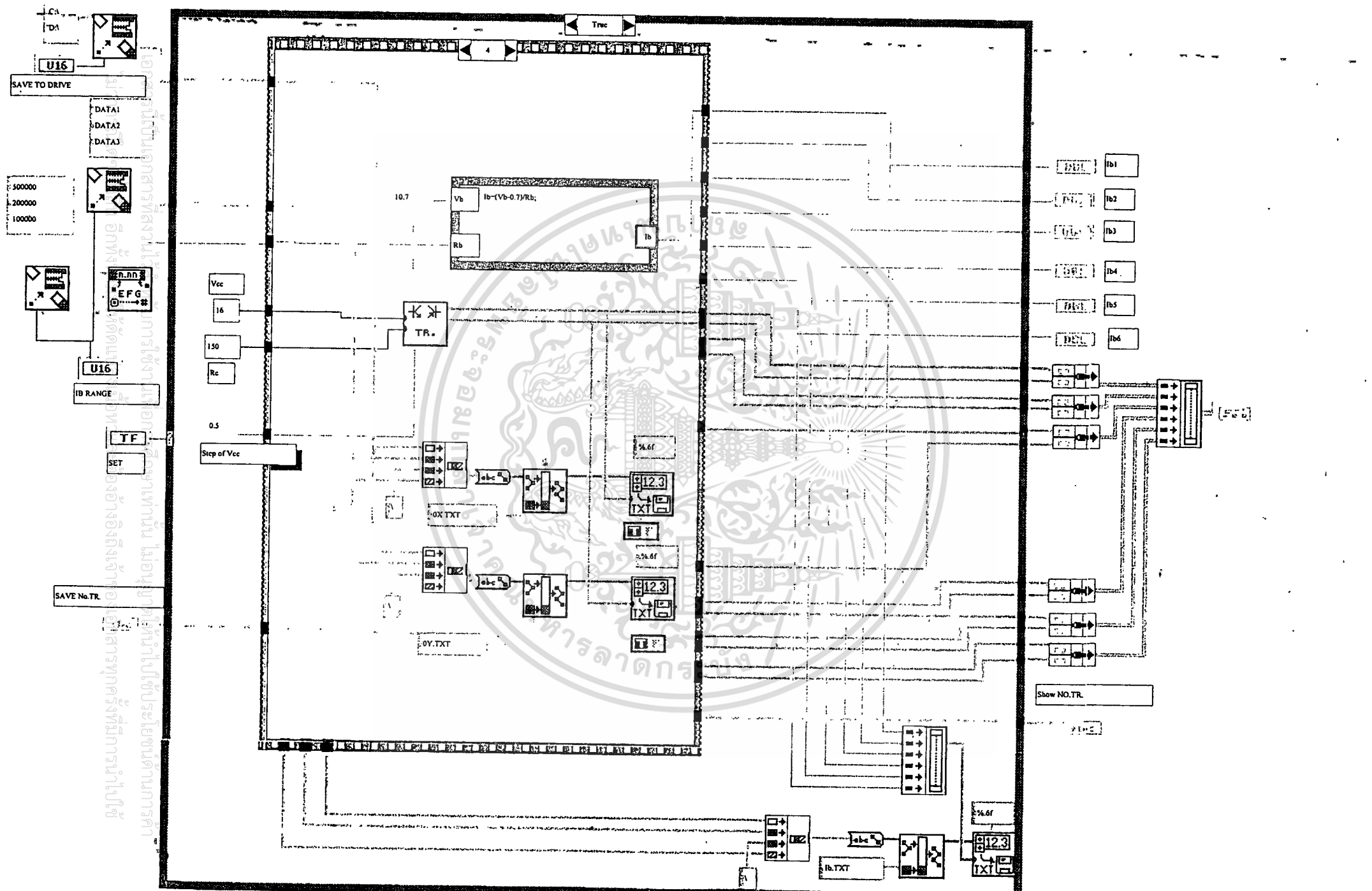
1. พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์ และ จเร สาธุเสน , "วงจรพื้นฐานของทรานซิสเตอร์", ทฤษฎีทรานซิสเตอร์และการใช้งาน, 2531
2. วีระ ปานลักษณ์, "สร้างเส้นกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์", วารสารเซมิคอนดัคเตอร์, 2535
3. Lisa K. Wells, " The LabVIEW Student Edition User's Guide", 1994
4. NATIONAL INSTRUMENT, " LabVIEW Basics", 1994

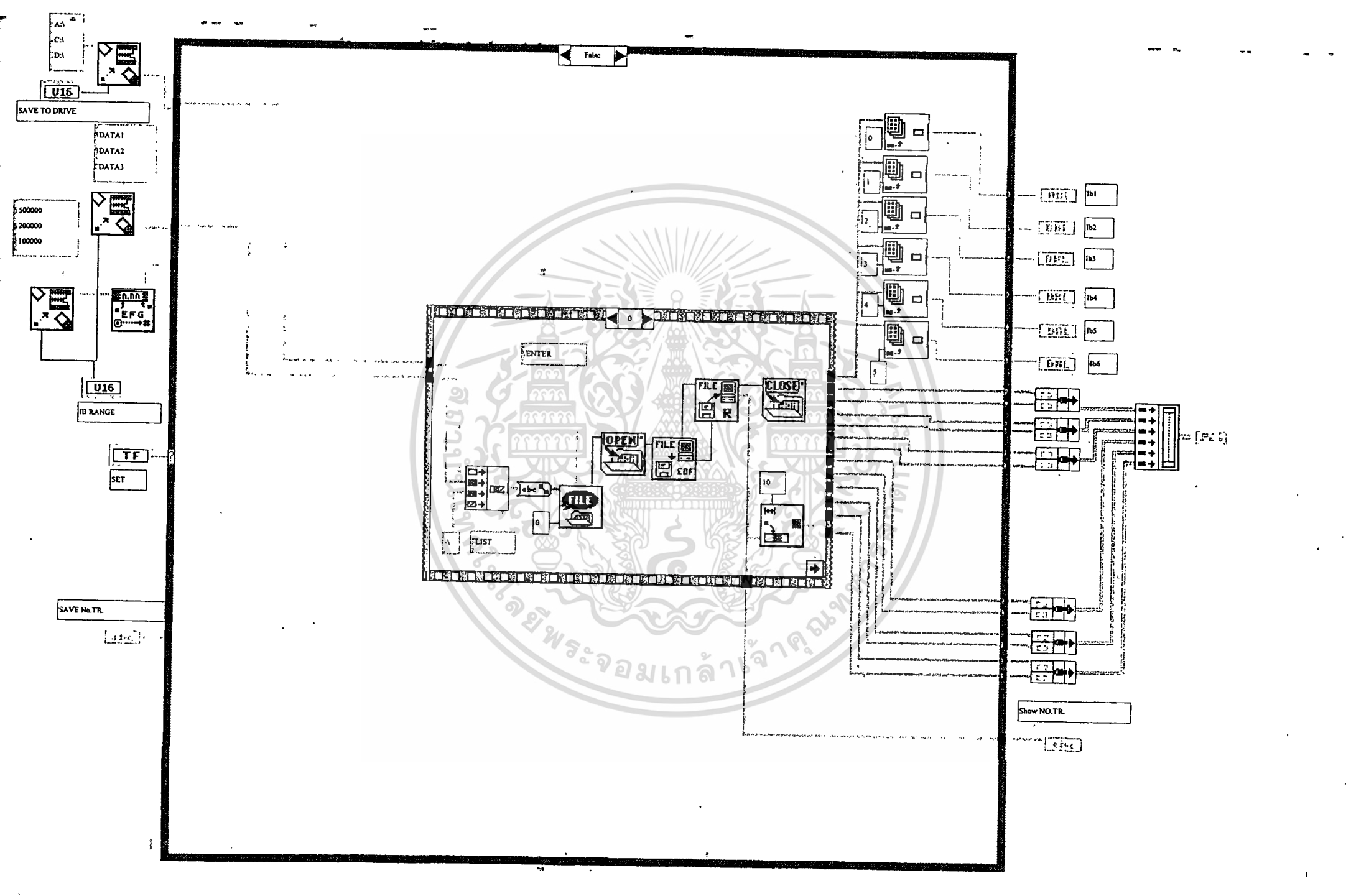
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

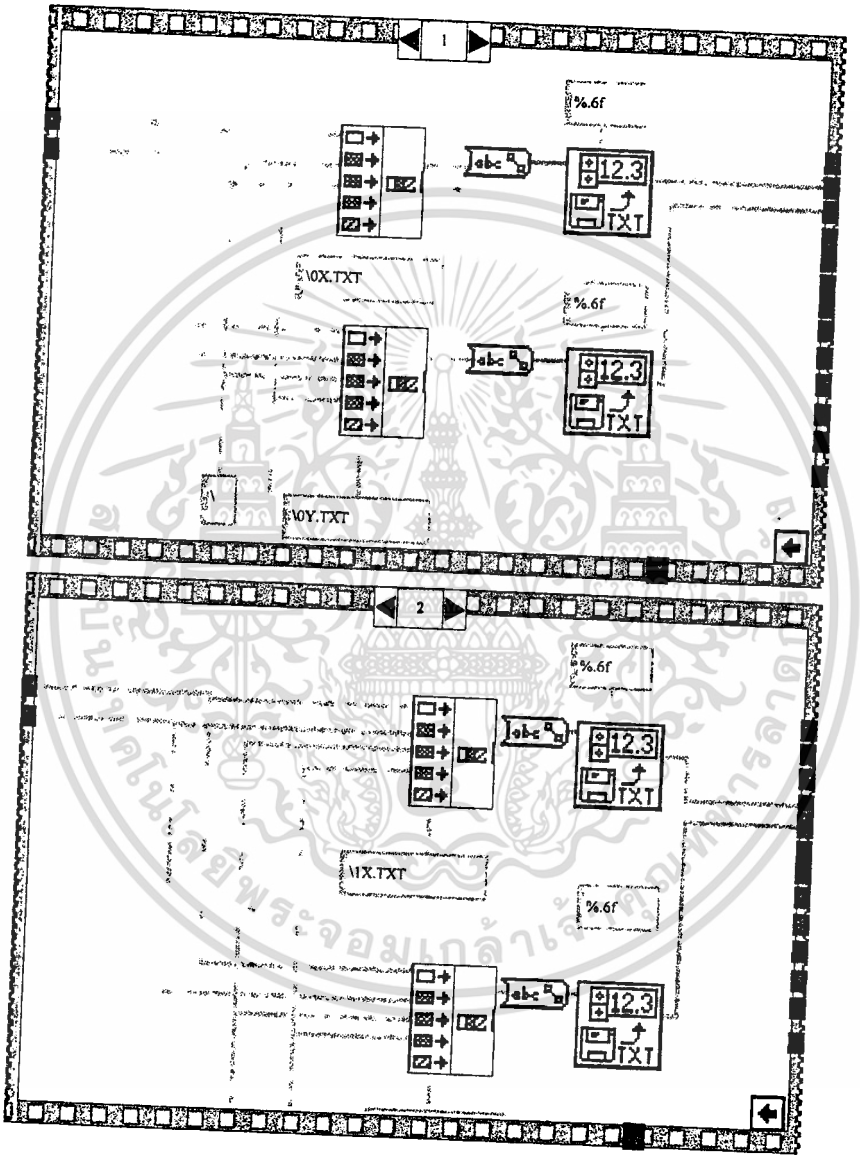
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

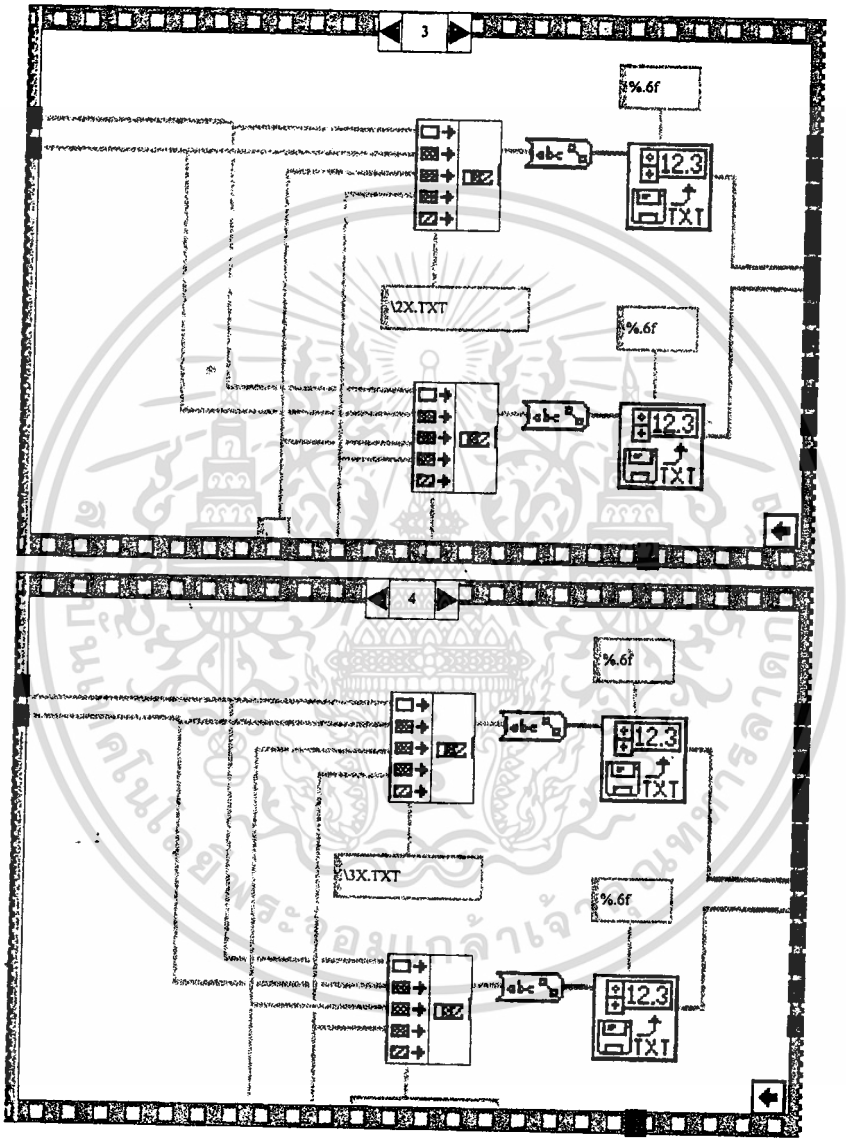

12.3
TXT
12.3
TXT
TR.
abc
abc
R
OPEN
Error
?!+
C
0
plat
timo


U16
SAVE TO DRIVE
DATA1
DATA2
DATA3
500000
200000
100000
U16
IB RANGE
TF
SET
SAVE No.TR
0.5
Step of Vcc
Vcc
16
150
Rc
TR.
10.7
Vb
Rb
Ib=(Vb-0.7)/Rb;
Ib
0X.TXT
0Y.TXT
%.6f
12.3
TXT
Ib1
Ib2
Ib3
Ib4
Ib5
Ib6
Show NO.TR
Ib.TXT

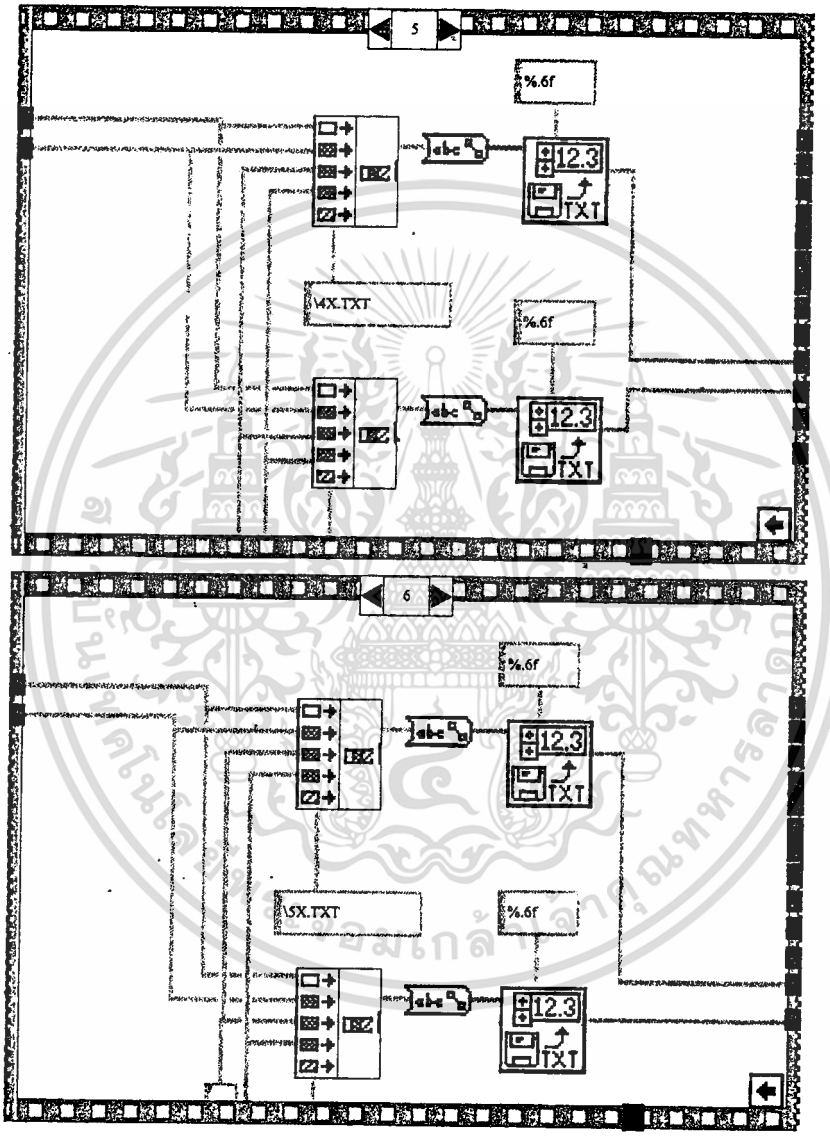

A:\
C:\
D:\
U16
SAVE TO DRIVE
DATA1
DATA2
DATA3
500000
200000
100000
EFG
U16
ID RANGE
TF
SET
SAVE No.TR.
False
0
ENTER
FILE
R
CLOSE
OPEN
FILE
EOF
abc
FILE
0
LIST
10
0
1
2
3
4
5
lb1
lb2
lb3
lb4
lb5
lb6
Show NO.TR.



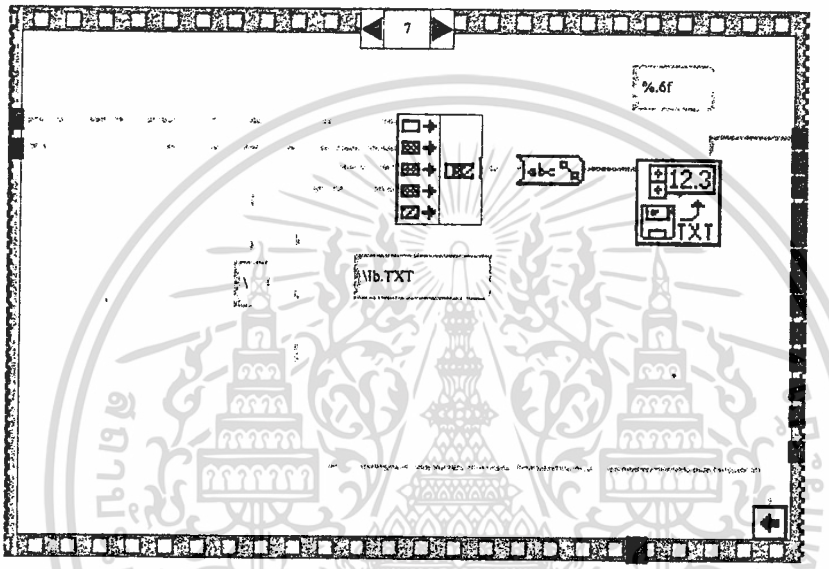
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

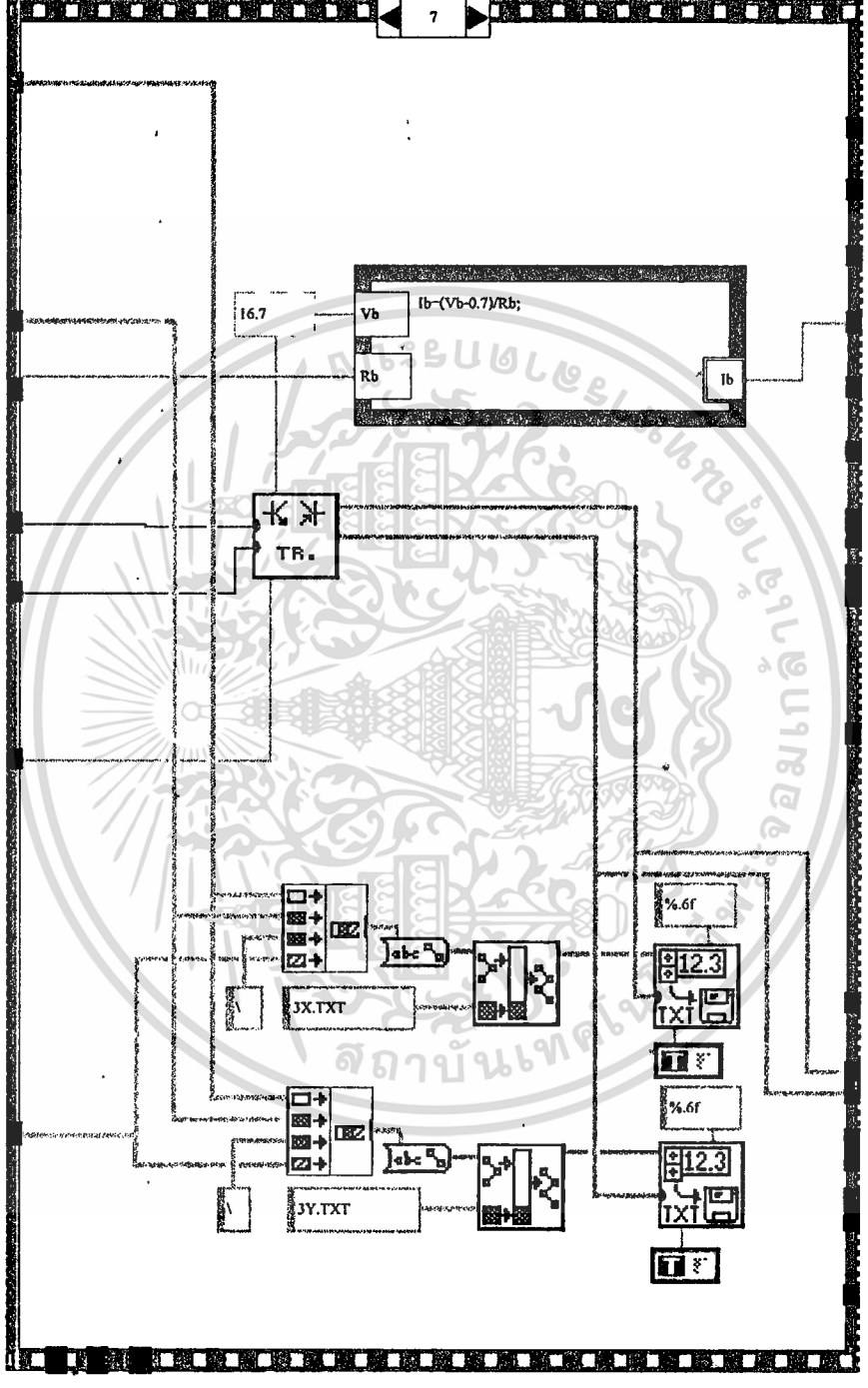
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

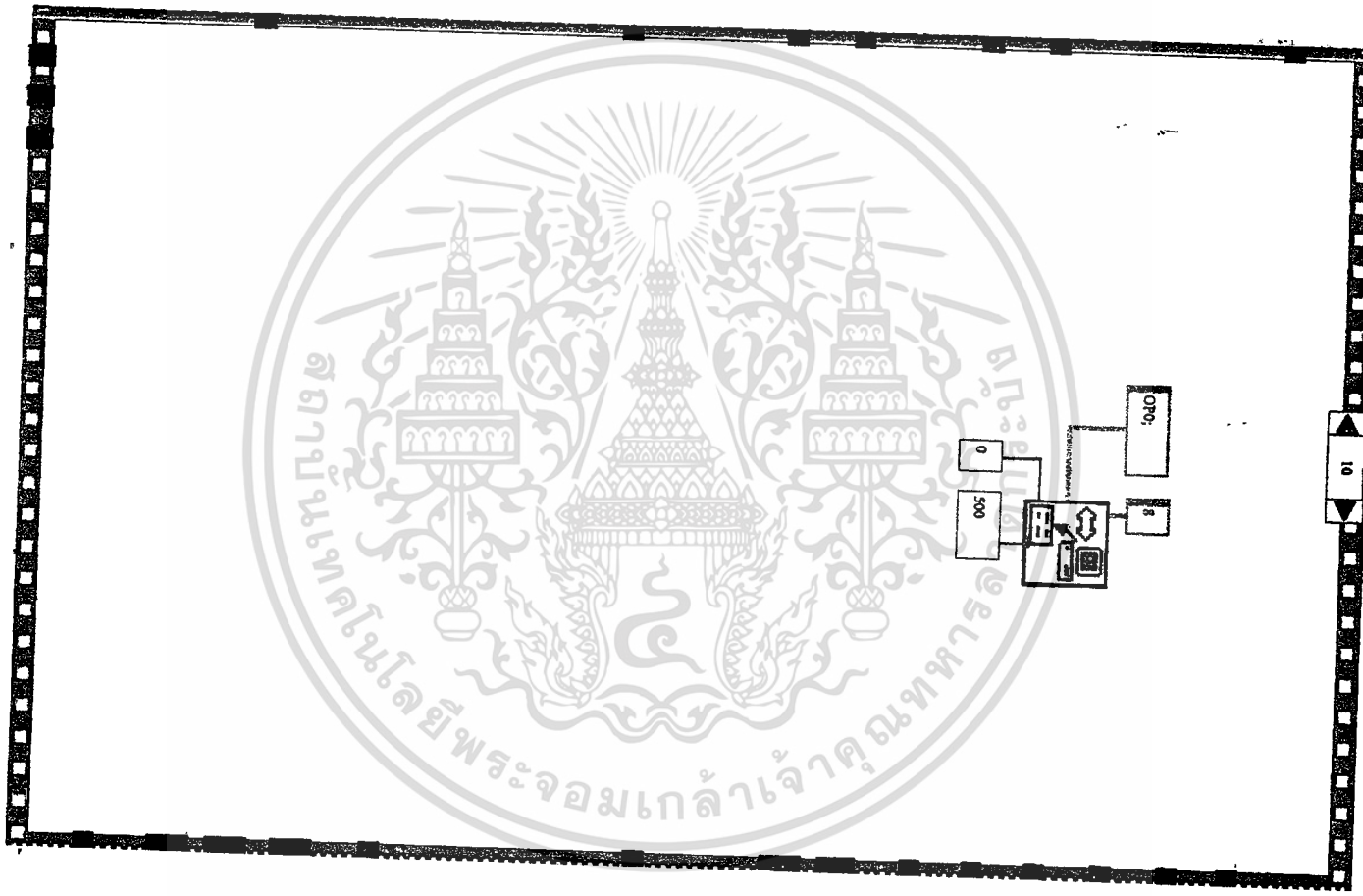
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้