สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การพัฒนาระบบเครื่องมือวัดอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำด้วยโปรแกรม HP VEE

# DEVELOPMENT WORK ON MEASUREMENT INSTRUMENTSYSTEM FOR SEMICONDUCTOR DEVICES BY USING HP VEE PROGRAM

T042286

โดย

นายวิทวัส บุญยู้ 41013230

นายธเนศ โซะเหม 41013249

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

วท.
ว593ก
2543

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42286
วัน, เดือน, ปี 16 พ.ค. 2545
.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b11201460

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2543

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาระบบเครื่องมือวัดอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำด้วยโปรแกรม HP VEE

ผู้จัดทำ

1. นายวิทวัส บุญยู้
2. นายธเนศ โซะเหม

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สุรศักดิ์ เนียมเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การพัฒนาระบบเครื่องมือวัดอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำด้วยโปรแกรม HP VEE

นายวิทวัส บุญยู้
นายธเนศ โซะเหม
อาจารยสุรศักดิ์ เนียมเจริญ (ที่ปรึกษา)
ปีการศึกษา 2543

**บทคัดย่อ**

โครงงานนี้เป็นโครงงานที่ใช้ HP VEE Evaluation Program รุ่น 3.1 ให้สามารถทำการวัดเกี่ยวกับสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ โดยเชื่อมต่อโปรแกรมกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดภายนอก คือ มัลติมิเตอร์ แหล่งจ่ายไฟ และเครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้า โดยใช้วัดอุปกรณ์ ตัวความต้านทาน, ไดโอด และมอสเฟต ในการวัดคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ คือ คุณสมบัติกระแสและแรงดัน, ค่าความจุไฟฟ้าและแรงดัน และค่าแรงดันขีดเริ่ม นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการวัดยังถูกนำไปหาตัวแปรต่างๆ ที่สัมพันธ์กับอุปกรณ์แต่ละชนิดด้วย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DEVELOPMENT WORK ON MEASUREMENT INSTRUMENTSYSTEM FOR SEMICONDUCTOR DEVICES BY USING HP VEE PROGRAM

Mr.Wittawat Boonyou

Mr.Tanes Sohame

Mr.Surasak Niemchareon (Advisor)

Educational Year 2000

**Abstract**

This project was developed work on HP VEE 3.1 Evaluation program able to measured the semiconductor devices, by connected program with measurement instrumensystem such as multimeters, power supplies and capacitance measurement Severalprograms were written for the measurement of resistor, diode and MOSFET, such as current-voltage (I-V) Characteristic, capacitance-voltage (C-V) Characteristic, threshold voltage and these data used to analysis the relative parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำนำ

เนื่องจากการสร้างสิ่งอุปกรณ์ประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ จำเป็นจะต้องมีการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ ซึ่งขั้นตอนการทดสอบจะทำให้ทราบว่าอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมานั้นใช้ได้หรือไม่ โครงงานนี้จึงทำขึ้นเพื่อเป็นโปรแกรมทดสอบ แทนเครื่องมือที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เพราะสามารถเก็บข้อมูลที่วัดไว้ดูภายหลังได้ และพัฒนาโปรแกรมให้วัดคุณสมบัติต่างๆ ได้สะดวกขึ้น ภายในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ จะประกอบด้วย

บทที่ 1 คือ จุดประสงค์และเนื้อหาของการทำโครงงาน

บทที่ 2 คือ ความรู้เกี่ยวกับเขียนโปรแกรม HP VEE Evaluation รุ่น 3.1

บทที่ 3 คือ ทฤษฎีของอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ประกอบด้วย ตัวความต้านทาน ไดโอด และมอสเฟต

บทที่ 4 คือ วิธีการเขียนโปรแกรมวัดคุณสมบัติต่างๆ ประกอบด้วยโปรแกรม วัดค่ากระแสและแรงดัน ค่าความจุไฟฟ้า ค่าแรงดันขีดเริ่ม ของอุปกรณ์ความต้านทาน ไดโอด และมอสเฟต

บทที่ 5 คือ วิธีการใช้โปรแกรมในการวัด

บทที่ 6 คือ สรุปและวิจารณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | I |
| คำนำ | III |
| สารบัญ | IV |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| บทที่ 2 โปรแกรม HP VEE Evaluation | 3 |
| 2.1 GPIB bus (IEEE 488) | 3 |
| 2.2 รายละเอียดโปรแกรม HP VEE Evaluation | 6 |
| บทที่ 3 ทฤษฎีอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ | 8 |
| 3.1 ตัวความต้านทาน | 8 |
| 3.2 ไดโอด | 9 |
| 3.3 มอสเฟต | 15 |
| บทที่ 4 การเขียนโปรแกรม | 19 |
| 4.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม | 19 |
| 4.2 การเข้าโปรแกรม | 19 |
| 4.3 วิธีการช่วยเขียนโปรแกรม | 20 |
| 4.4 การเขียนโปรแกรมวัดค่าความต้านทาน | 20 |
| 4.5 การเขียนโปรแกรมวัดคุณสมบัติของไดโอด | 29 |
| 4.6 การเขียนโปรแกรมวัดค่าความจุไฟฟ้าของไดโอด | 31 |
| 4.7 การเขียนโปรแกรมวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟต | 37 |
| 4.8 การเขียนโปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสเฟต | 40 |
| 4.9 การเขียนโปรแกรมวัดมอสเฟตแบบแบ็กเกทไบอัส | 42 |
| บทที่ 5 การทดสอบโปรแกรมในการวัดอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ | 45 |
| 5.1 การใช้โปรแกรมวัดค่าอุปกรณ์ความต้านทาน | 45 |
| 5.2 การใช้โปรแกรมวัดค่าอุปกรณ์ไดโอด | 47 |
| 5.3 การใช้โปรแกรมวัดค่าความจุไฟฟ้าของไดโอด | 50 |
| 5.4 การใช้โปรแกรมวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟต | 51 |
| 5.5 การใช้โปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสเฟต | 53 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

5.6 การใช้โปรแกรมวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟตแบบแบ็กเกทไบอัส 55

บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ 57

6.1 สรุป 57

6.2 เปรียบเทียบการวัดด้วยโปรแกรม HP VEE กับเครื่องวัดมาตรฐานของ ERC 59

6.3 ข้อจำกัดของโครงงานและแนวทางแก้ไข 59

ภาคผนวก ก 60

ภาคผนวก ข 62

กิตติกรรมประกาศ 70

หนังสืออ้างอิง 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีในการสร้างอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วมาก กระบวนการทดสอบ (testing) เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญ ซึ่งหลังจากได้เสร็จสิ้นกระบวนการสร้างแล้วก็จะต้องนำมาทำการทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบนี้จะทำให้ทราบว่าอุปกรณ์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นนี้ใช้ได้หรือไม่ โดยจะต้องทำการทดสอบในทางคุณสมบัติทางไฟฟ้า หลังจากขั้นตอนของการทดสอบนี้แล้วจึงนำอุปกรณ์ไปทำการการบรรจุลงตัวถัง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อๆไป

ในส่วนของปริญญานิพนธ์นี้ จะได้กล่าวถึงโปรแกรม HP VEE Evaluation โดยเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า ของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งโปรแกรม HP VEE Evaluation นี้จะทำการเชื่อมต่อระหว่างตัวโปรแกรมกับอุปกรณ์เครื่องมือวัด โดยผ่าน GPIB bus IEEE 488 เป็นตัวสำหรับใช้เชื่อมต่อระหว่างตัวโปรแกรมหลักกับอุปกรณ์เครื่องมือวัด โดยจะทำการควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือวัดเหล่านี้ผ่านตัวโปรแกรม ส่วนของโปรแกรม HP VEE Evaluation จะมีด้วยกันอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วน Detail คือ ส่วนที่ใช้สำหรับเขียนโปรแกรม และส่วน Panel เป็นส่วนของโปรแกรมที่ใช้สำหรับทำการวัด

การควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือวัดให้ทำการวัดตามโปรแกรมที่ต้องการนั้น จะต้องมีการกำหนด หรือทำการตั้งค่าการใช้งานต่างๆ ให้กับเครื่องมือวัดก่อนที่จะทำการวัด โดยจะทำการกำหนดหรือตั้งค่าการใช้งานผ่านตัวโปรแกรมที่ได้ทำขึ้น เพราะเนื่องจากอุปกรณ์เครื่องมือวัดชนิดหนึ่งนั้นอาจมีความสามารถทำการวัดได้หลายอย่าง เช่น วัดกระแสหรือวัดแรงดัน และอุปกรณ์แหล่งจ่ายแรงดัน ก็จะต้องทำการควบคุมให้มีการจ่ายแรงดันตามความต้องการ โดยกำหนดเอาไว้ในส่วนของโปรแกรม

การใช้โปรแกรม HP VEE Evaluation เพื่อใช้ในการวัดคุณสมบัติ ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของตัวต้านทานและไดโอด โปรแกรมใช้วัดค่าความจุไฟฟ้าที่บริเวณรอยต่อของไดโอด โปรแกรมวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรน ($I_D$) และแรงดันเดรน-ซอส ($V_{DS}$) ของมอสเฟต โปรแกรมวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรน ($I_D$) และแรงดันเกท- ซอส ($V_{GS}$) ของมอสเฟต เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์หาค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage ; $V_T$) และโปรแกรมซึ่งใช้วัดคุณสมบัติของการแบ๊คเกทไบอัส (Back gate Bias ; $V_{BS}$) ในส่วนของมอสเฟตที่ใช้นั้นจะใช้ มอสเฟตชนิด N- Channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่หนึ่ง เป็นโปรแกรมที่ใช้วัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของตัวต้านทาน เมื่อทำการวัดและนำมาพล็อตกราฟแล้วนั้น กราฟจะเป็นไปในลักษณะเชิงเส้น โปรแกรมที่สองใช้ในการวัดคุณสมบัติระหว่างกระแสและแรงดันของไดโอดนั้น เมื่อวัดและทำการพล็อตกราฟได้แล้วนั้น สามารถที่จะนำกราฟไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติทางไฟฟ้าอื่นๆ ได้อีก เช่น แรงดันบิวท์อิน (Built in voltage : $V_{bi}$) ซึ่งเป็นค่าแรงดันที่ไดโอดเริ่มนำกระแส

โปรแกรมที่ใช้วัดค่าความจุไฟฟ้าบริเวณรอยต่อ จะใช้เครื่องมือวัดที่ใช้วัดหาค่าความจุไฟฟ้าโดยเฉพาะ โดยในการวัดหาค่าความจุไฟฟ้าที่รอยต่อของไดโอดนี้ สามารถกระทำได้โดยการให้รอยต่อได้รับไบอัสกลับเท่านั้น เพราะที่บริเวณรอยต่อได้รับไบอัสตรง ค่าความจุไฟฟ้าจะมีค่ามากจนไม่สามารถวัดได้

โปรแกรมที่ใช้วัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอสเฟตจะใช้มอสเฟต ชนิด N- Channel ในการวัดนั้นจึงต้องให้แรงดันเป็นบวก ซึ่งจะต้องทำการตั้งค่าการใช้งานในส่วนของโปรแกรม

โปรแกรมวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสเดรน ($I_D$) และแรงดันเดรน- ซอส ($V_{DS}$) ในการวัดนั้นจะให้แรงดันเกท- ซอส ($V_{GS}$) มีค่าคงที่ค่าต่างๆ และเมื่อนำมาทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรน ($I_D$) และแรงดันเดรน- ซอส ($V_{DS}$) ที่ $V_{GS}$ ค่าต่างๆก็จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรน ($I_D$) และแรงดันเดรน- ซอส ($V_{DS}$) จากกราฟนั้นสามารถที่จะนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญอื่นๆได้

ส่วนโปรแกรมวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรน ($I_D$) และแรงดันเกท- ซอส ($V_{GS}$) ของมอสเฟต ซึ่งในการวัดนั้นจะให้แรงดันเดรน ($V_{DD}$) มีค่าคงที่ และเมื่อทำการวัดแล้วจะนำมาพล็อตกราฟเพื่อหาค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage ; $V_T$) ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแต่ละโปรแกรม ขั้นตอนของการเขียนโปรแกรมและขั้นตอนในการใช้ จะได้กล่าวโดยละเอียดในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2

# โปรแกรม HP VEE Evaluation

โปรแกรม HP VEE Evaluation เป็นโปรแกรมเขียนขึ้นมา เพื่อใช้ติดต่อกับเครื่องมือวัด ซึ่งการที่จะสามารถติดต่อกับเครื่องมือวัดได้จะต้องมี GPIB bus (IEEE 488) โดย GPIB bus นี้จะเป็นตัวเชื่อมระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เครื่องมือวัด ทำให้สามารถติดต่อและควบคุมเครื่องมือวัดผ่านตัวโปรแกรมที่ได้ทำไว้

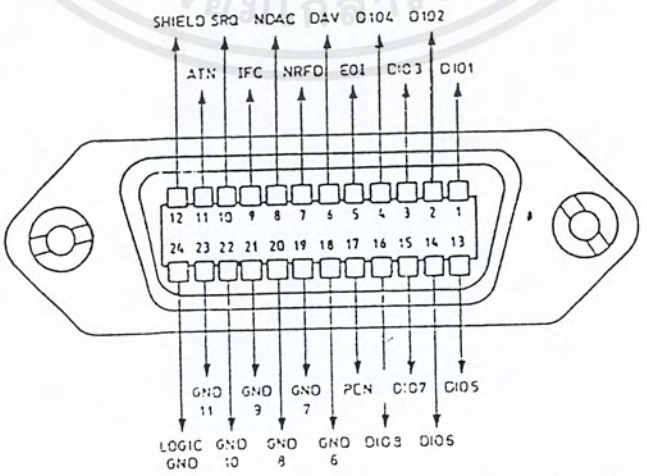
## 2.1 GPIB bus (IEEE 488)[6]

GPIB (General Purpose Interface Bus) จะประกอบด้วยอุปกรณ์ คือ ผู้ส่ง (Talker) , ผู้รับ (Listener) และผู้ควบคุม (Controller) จะทำหน้าที่ดังนี้ คือ

- ผู้ส่ง (Talker) ทำหน้าที่ส่งข้อมูล โดยในระบบสามารถมีผู้ส่ง (Talker) ได้หลายตัว แต่จะมีเพียงตัวเดียวเท่านั้นที่กำลังทำงานอยู่
- ผู้รับ (Listener) ทำหน้าที่เป็นตัวรับข้อมูล โดยในระบบสามารถมีผู้รับ (Listener) ได้ครั้งละหลายตัว และผู้รับ (Listener) สามารถทำงานได้ครั้งละหลายๆ ตัว
- ผู้ควบคุม (Controller) ทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆในระบบ

ในการติดตั้งอุปกรณ์ในระบบระบบหนึ่ง จำนวนอุปกรณ์ทั้งหมดที่ต่อในระบบ (Talker, Listener, Controller) ที่ต่อกับสายสัญญาณ 1 เส้นจะต้องมีไม่เกิน 15 เครื่อง

รูปแสดงสายสัญญาณ GPIB bus (IEEE 488) ดังแสดงในรูปที่ 2.1




รูปที่ 2.1 ขั้วต่อของ GPIB bus

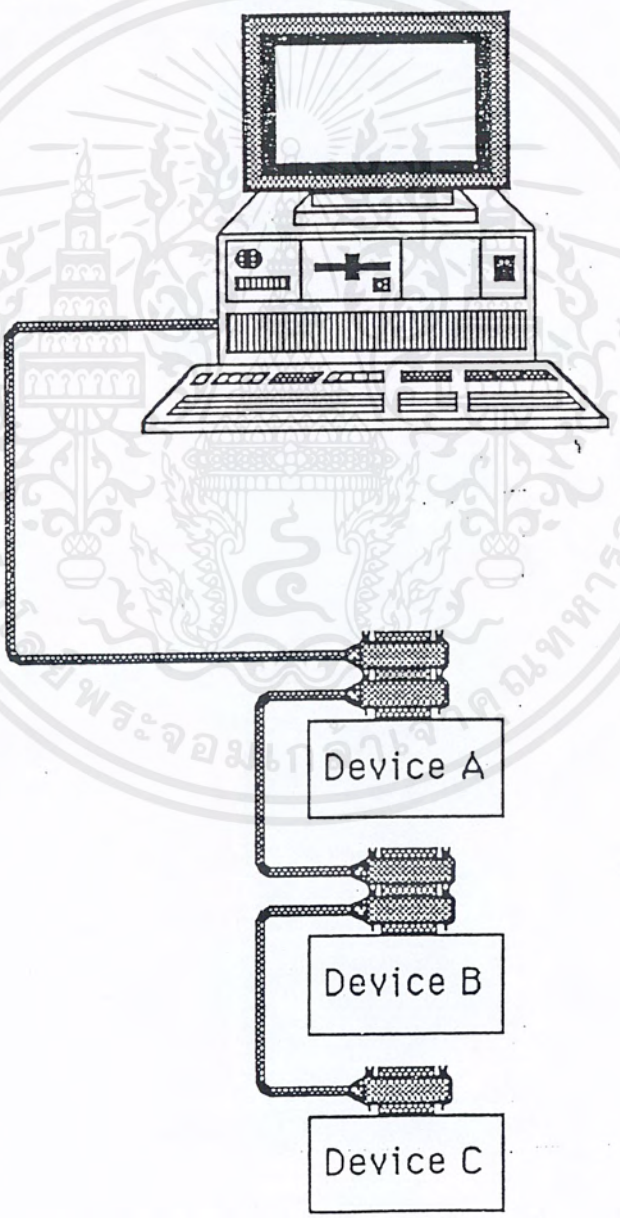
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GPIB bus นี้จะเป็นสายสัญญาณแบบ 24 เส้นขนานกันและมีขั้วต่ออยู่ทางปลายทั้งสองของสายเพื่อต่อกับอุปกรณ์ ในจำนวนสายสัญญาณ 24 เส้นนี้จะมี 16 เส้นที่ทำหน้าที่นำสัญญาณ ส่วนที่เหลือ 8 เส้นทำหน้าที่เป็นกราวด์ และชีลด์

ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆในระบบ GPIB bus (IEEE 488) นั้นจะมีอยู่ 2 วิธี คือ

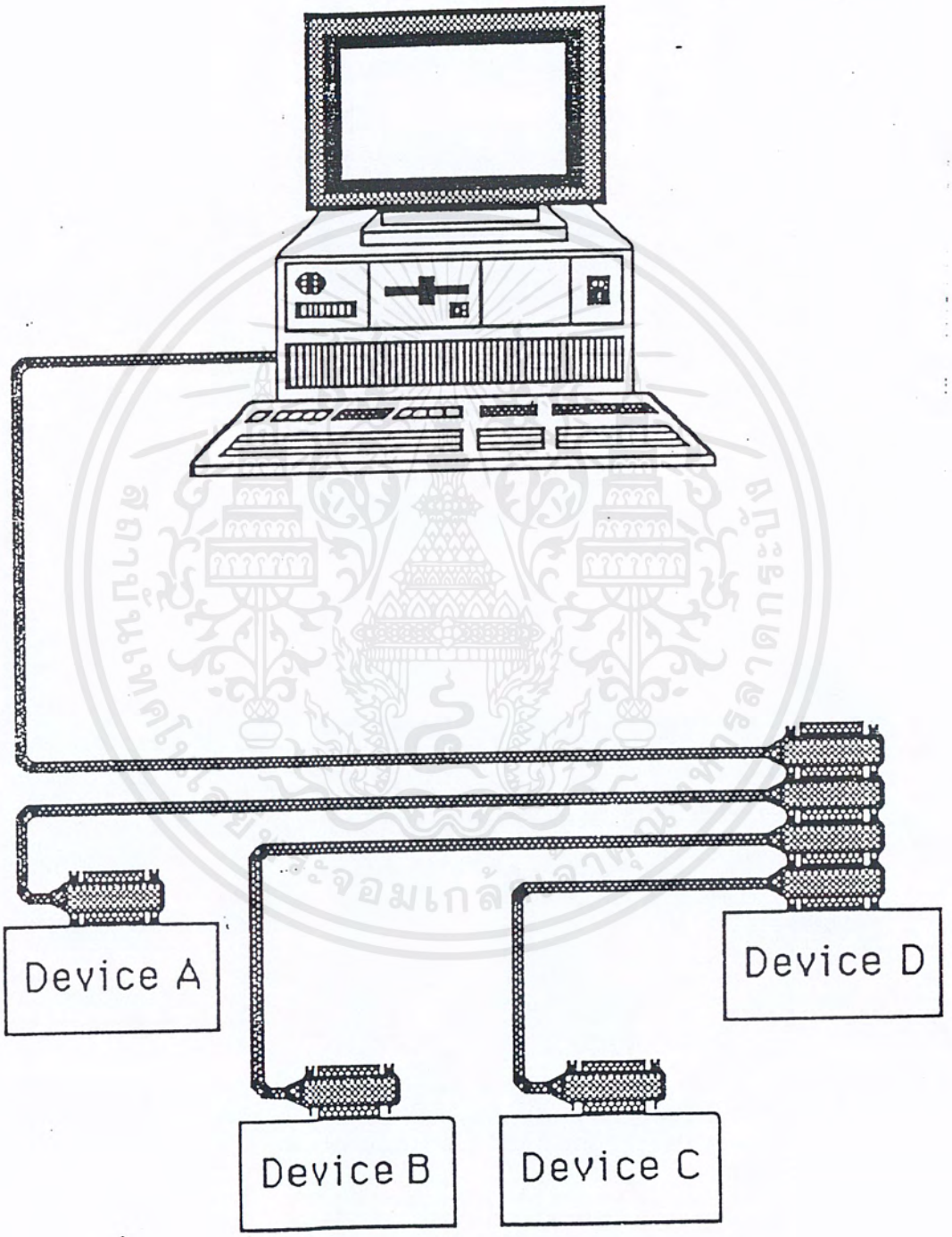
- การเชื่อมต่อแบบเรียงต่อเนื่องกัน
- การเชื่อมต่อแบบกระจาย

ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้ง 2 แบบ แสดงได้ดังรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3




รูปที่ 2.2 การเชื่อมแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

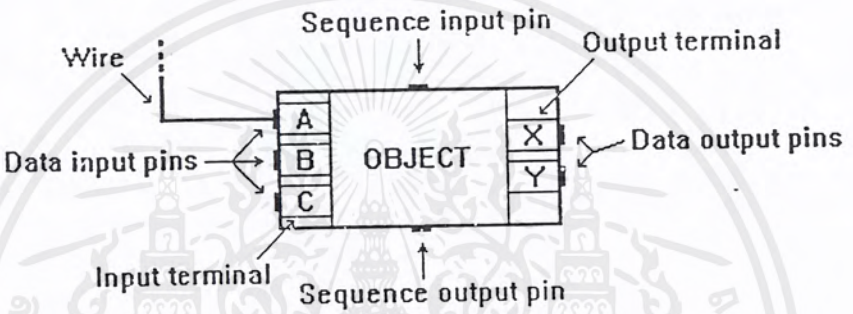



รูปที่ 2.3 การเชื่อมแบบกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 รายละเอียดโปรแกรม HP VEE Evaluation

เมื่อมีการติดตั้งเครื่องมือวัดแล้ว โปรแกรม HP VEE Evaluation จะสามารถทำการติดต่อกับเครื่องมือวัดได้ โดยตัวโปรแกรมจะเป็นลักษณะบล๊อค (block) ซึ่งคำสั่งแต่ละบล๊อคจะทำหน้าที่ต่างกัน โดยที่แต่ละบล๊อคคำสั่งจะมีอินพุท (input) และเอาท์พุท (output) เป็นตัวเชื่อมต่อกันเพื่อกำหนดขั้นตอนการทำงานของตัวโปรแกรม และรับส่งข้อมูลกันระหว่างที่ตัวโปรแกรมทำงาน ซึ่งบล๊อคคำสั่งและส่วนต่างๆ ของบล๊อคแสดงได้ดังรูปที่ 2.4




รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของบล๊อคคำสั่ง

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าที่บล๊อคจะมีส่วนต่างๆ โดยทำหน้าที่ดังนี้

- Data input pins เป็นตัวที่รับข้อมูลในระหว่างการวัด เช่นค่ากระแส (I) หรือแรงดัน (V) ซึ่งในการรับข้อมูลมาเก็บไว้นี้ จะนำข้อมูลที่ได้ไปแสดงค่าเป็นกราฟ หรือจะนำไปบันทึก (save) ค่าไว้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของโปรแกรมหรือผู้ใช้งาน

- Data output pins เป็นตัวที่คอยส่งข้อมูลที่รับเข้ามาเก็บไว้ออกไป เช่น นำไปพล๊อตกราฟ นำไปคำนวณหาค่า หรือนำไปแสดงเป็นตาราง

- Sequence input pins เป็นตัวเชื่อมระหว่างบล๊อคคำสั่ง เพื่อควบคุมให้แต่ละบล๊อคทำหน้าที่ตามลำดับขั้นตอน หรือทำหน้าที่ให้สัมพันธ์กัน

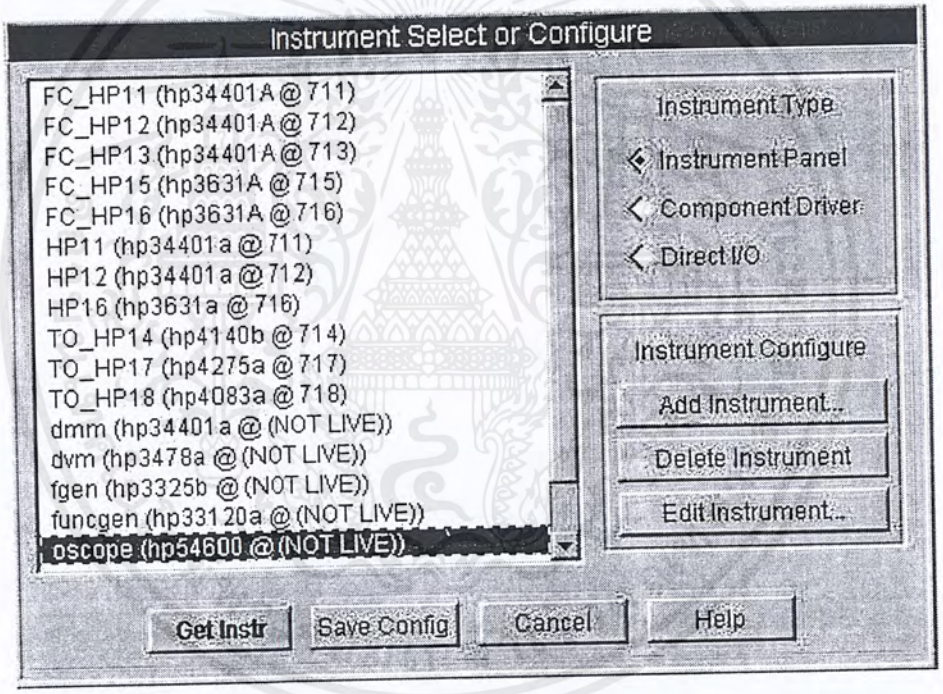
- Sequence output pins เป็นตัวควบคุมให้บล๊อคคำสั่งต่อไปทำงาน เมื่อบล๊อคนั้น ทำหน้าที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว

- Wire เป็นเส้นที่ลากเชื่อมระหว่างบล๊อคคำสั่ง เพื่อควบคุมให้แต่ละบล๊อคทำงานสัมพันธ์กันเป็นลำดับตามขั้นตอน

ภายในโปรแกรม HP VEE Evaluation จะมีการกำหนดตำแหน่ง (address) ของเครื่องมือวัด เมื่อต้องการใช้เครื่องมือวัดชนิดใดควรระบุตัวอุปกรณ์เครื่องมือวัดออกมา ซึ่งจะมีบล๊อคของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์เครื่องมือวัดอยู่ภายในโปรแกรมซึ่งได้ติดตั้งไว้แล้ว โดยภายในบล๊อคเครื่องมือวัดนั้นจะสามารถควบคุมให้เครื่องมือวัดทำการวัดได้นั้นต้องมีการกำหนดค่าต่างๆให้ เช่น เครื่องมือวัดจำพวกแหล่งจ่ายไฟ (power supply) จะต้องควบคุมให้จ่ายแรงดันบวกหรือลบ หรือควบคุมให้จ่ายได้ทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการวัด หรืออุปกรณ์มัลติมิเตอร์ (multimeter) นั้นจะต้องมีการควบคุมด้วยว่าจะให้วัดในลักษณะใดซึ่งจะทำการวัดได้หลายแบบ เช่น ควบคุมให้วัดกระแส หรือแรงดัน และต้องมีกำหนดไว้ก่อนที่จะทำการวัด ในรูปที่ 2.5 เป็นรูปที่แสดงตำแหน่ง (address) ของเครื่องมือวัด เมื่อเราต้องการใช้เครื่องมือวัดชนิดใดก็เลือกออกมาใช้และทำการตั้งค่าต่างๆ ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมจะได้กล่าวโดยละเอียดในบทต่อไป




รูปที่ 2.5 ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องมือวัดภายในโปรแกรม HP VEE Evaluation

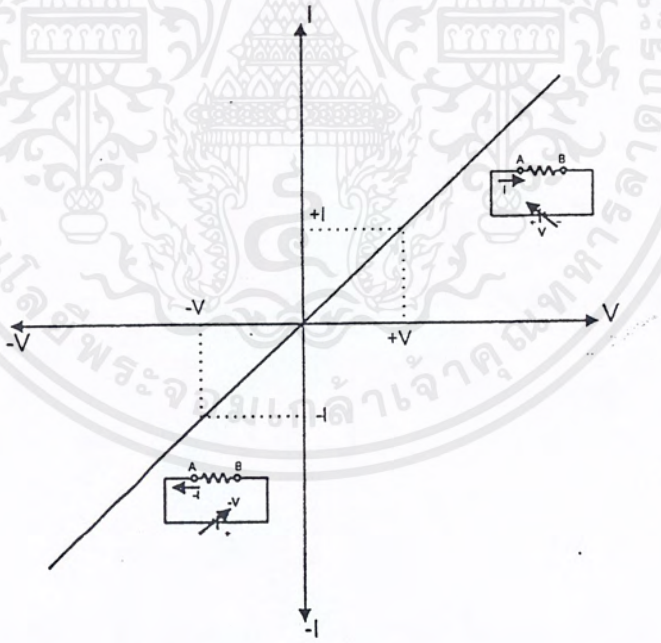
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# ทฤษฎีอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ คือ อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาจากวัสดุประเภทสารกึ่งตัวนำ โดยอาจเป็นได้ทั้งอุปกรณ์ประเภทแพสซิฟ (passive elements) เช่น ตัวความต้านทานหรือตัวเก็บประจุไฟฟ้าชนิดต่างๆ หรืออุปกรณ์ประเภทแอ็กทีฟ (active elements) เช่น ไดโอดหรือทรานซิสเตอร์

## 3.1 ตัวความต้านทาน [1]

ในการวัดค่า I-V characteristic ของตัวความต้านทาน (R) นั้น เมื่อทำการวัดค่าของกระแส (I) และแรงดัน (V) และนำมาพล็อตกราฟคุณสมบัติระหว่าง กระแส (I) และแรงดัน (V) แล้วจะได้กราฟดังรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นกราฟคุณสมบัติระหว่างกระแส (I) และแรงดัน (V)




รูปที่ 3.1 กราฟคุณสมบัติระหว่างกระแส (I) และแรงดัน (V) ของตัวต้านทาน

จากกราฟ สามารถคำนวณหาค่าความต้านทาน (R) ได้จากสมการที่ (3.1)

$$R=\frac{V}{I} \quad (\Omega) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

R คือ ความต้านทาน มีหน่วยเป็นโอห์ม ($\Omega$)

V คือ แรงดัน มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

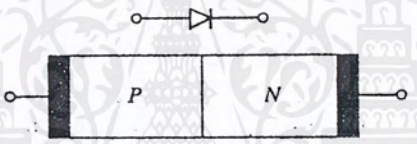
I คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน มีหน่วยเป็นแอมป์ (A)

จากกราฟคุณสมบัติกระแสและแรงดันของตัวความต้านทาน จะได้ว่ากระแสและแรงดันสัมพันธ์กันเป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งก็คือกระแสและแรงดันจะแปรผันตรงซึ่งกันและกัน

## 3.2 ไดโอด

### 3.2.1 เรคติไฟร์ไดโอด (Rectifier Diode) [1]

ไดโอดเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อพี-เอ็น ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 ขั้วทางด้านพี เรียกว่า อาโนด เป็นขั้วบวก และขั้วทางด้านเอ็น เรียกว่า คาโทด เป็นขั้วลบ




รูปที่ 3.2 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด

ลักษณะสมบัติระหว่างแรงดัน ($V_d$) และกระแส ($I_D$) ของไดโอด

$$I_D = I_S (e^{q.Vd/kT} - 1) \quad (A) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.2)$$

สมการที่ (3.2) เป็นสมการของไดโอดซึ่งสามารถนำมาใช้ได้กับการให้ไบอัสทั้งสองแบบ แต่ถ้าหากให้ไบอัสย้อนกลับ (reverse bias) จะแทนค่า $v_d$ ในสมการที่ (3.2) ด้วยค่าของ $-v_d$

ดังนั้น สมการที่ (3.2) จะได้เป็น

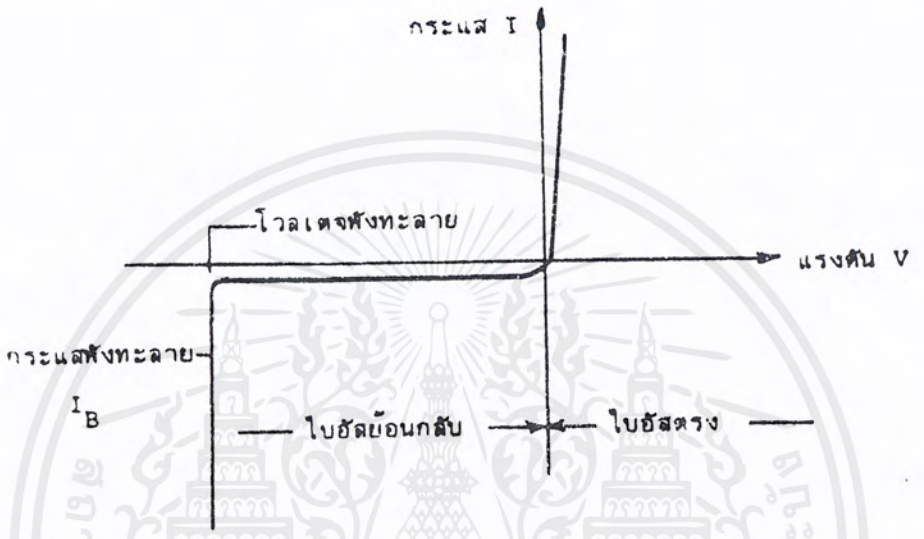
$$I_D = I_S (e^{q.-Vd/kT} - 1) \quad (A) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.3)$$

จากสมการที่ (3.3) ถ้าพิจารณาที่อุณหภูมิ 300 K เทอมของ $e^{q.(-Vd)/kT}$ จะมีค่าน้อยกว่า 1 มากๆ สมการที่ (3.3) ซึ่งเป็นสมการไดโอดในช่วงไบอัสย้อนกลับ (reverse bias) จึงสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$I_D = -I_S \quad (A) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของไดโอดเขียนได้จากสมการที่ (3.2) และ (3.3) แสดงดังรูปที่ 3.3




รูปที่ 3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของไดโอด

เมื่อแกนนอน คือ แรงดันตกคร่อมที่รอยต่อพี- เอ็น ส่วนแกนตั้ง คือ ค่าของกระแสที่ไหลผ่านบริเวณรอยต่อพี-เอ็น

จากกราฟความสัมพันธ์กระแสและแรงดันของไดโอด ทางด้านไบอัสตรงจะมีค่าแรงดันภายใน (Built-in Voltage) เมื่อแรงดัน $V_D$ มีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่ม กระแส $I_D$ จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับค่าแรงดันขีดเริ่มของซิลิกอนไดโอดมีค่าประมาณ 0.7 V ส่วนทางด้านไบอัสย้อนกลับ เมื่อให้แรงดันไบอัสย้อนกลับกระแส $-I_D$ จะมีค่าน้อยมาก และกระแสที่ไหลนี้ คือกระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (reverse saturation current) หรือกระแส $I_S$ ในสมการไดโอดนั่นเอง ซึ่งในช่วงไบอัสย้อนกลับนี้จะมีค่าแรงดันพังทลายอยู่ (Avalanche breakdown Voltage) โดยถ้าให้ไบอัสกลับจนถึงค่าแรงดันพังทลายจะทำให้กระแสไหลในช่วงไบอัสย้อนกลับได้มาก ซึ่งจะทำให้ไดโอดเกิดความเสียหายได้ แรงดันพังทลายนี้จะมีค่าสูงมาก

จากการที่ไดโอดมีคุณสมบัติให้กระแสไหลได้ในทิศทางเดียวนี้จึงเรียกว่า เรคติไฟร์ไดโอด (rectifier diode) ซึ่งให้กระแสไหลผ่านได้เมื่อให้แรงดันไบอัสตรงมากกว่าค่าแรงดันขีดเริ่ม และถ้าแรงดันไบอัสย้อนกลับจะมีกระแสอิ่มตัวย้อนกลับไหลซึ่งมีค่าน้อยมาก ดังนั้น ถ้าหากต้องการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานในช่วงไบอัสย้อนกลับได้ต้องเลือกใช้ไดโอดอีกแบบหนึ่งเรียกว่า ซีเนอร์ไดโอด ซึ่งรายละเอียดของซีเนอร์ไดโอดจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

**3.2.1.1 กระแสรั่วที่รอยต่อพี-เอ็น**

ในสมการที่ (3.2) ซึ่งเป็นสมการไดโอดจะเห็นได้ว่า กระแสรั่วก็คือกระแสอิ่มตัวย้อนกลับ ($I_S$) แสดงในสมการที่ (3.5)

$$I_S = A.q.n_i^2 \left( \frac{D_h}{L_h n_n} + \frac{D_e}{L_e p_p} \right) \qquad \text{.....(3.5)}$$

เมื่อ

A คือ พื้นที่รอยต่อ ($cm^2$)

q คือ ประจุของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ $1.6\times10^{-19}$ (C)

$n_i$ คือ ปริมาณของพาหะของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (อะตอม / $cm^3$)

$D_h$ คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของโฮล ($cm^2$ / sec)

$D_e$ คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของอิเล็กตรอน ($cm^2$ / sec)

$L_h$ คือ ระยะการแพร่ของโฮล (cm)

$L_e$ คือ ระยะการแพร่ของอิเล็กตรอน (cm)

$n_n$ คือ ปริมาณอิเล็กตรอนด้านเอ็น (อะตอม /$cm^3$)

$p_p$ คือ ปริมาณโฮลด้านพี (อะตอม /$cm^3$)

จากสมการที่ (3.5) กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ ($I_S$) จะไม่ขึ้นกับแรงดันไบอัส แต่จากการทดลองค่าของกระแสที่วัดได้ขณะได้รับไบอัสย้อนกลับที่ -10 โวลต์มีค่าประมาณ $10^{-11}$ A/$mm^2$ ดังนั้นกระแสอิ่มตัวย้อนกลับจึงขึ้นอยู่กับแรงดันไบอัส ซึ่งกระแสรั่วที่เกิดขึ้นในทางปฏิบัติที่รอยต่อจะประกอบไปด้วยกระแสหลายชนิดและกระแสอิ่มตัวย้อนกลับ ($I_S$) ก็เป็นส่วนประกอบหนึ่งซึ่งมีค่าน้อยมาก

**3.2.2 ซีเนอร์ไดโอด (Zener diode)** [1]

**3.2.2.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด**

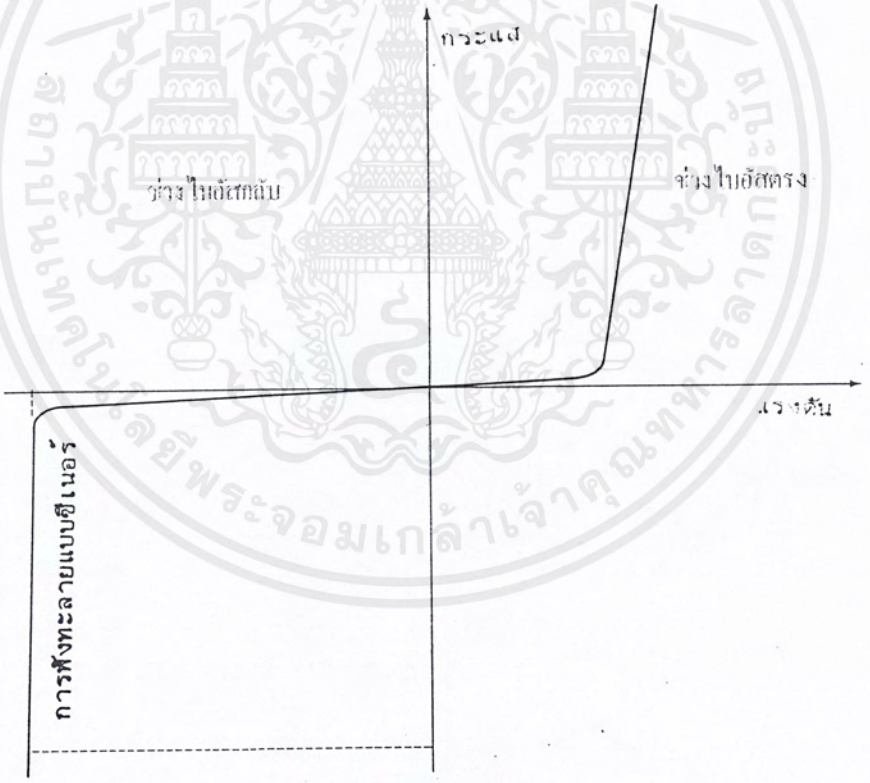
ซีเนอร์ไดโอดเป็นไดโอดอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งแตกต่างจากไดโอดที่กล่าวมาแล้ว โดยปริมาณความหนาแน่นของสารเจือที่ด้านพีและด้านเอ็น ในขั้นตอนของการสร้างจะมีค่าสูงกว่าปกติ ($\cong 10^{17} cm^{-3}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งคุณสมบัตินี้ที่ทำให้แรงดันพังทลายค่ามีค่าต่ำๆ สำหรับสัญลักษณ์และโครงสร้างของซีเนอร์ไดโอด แสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 สัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด

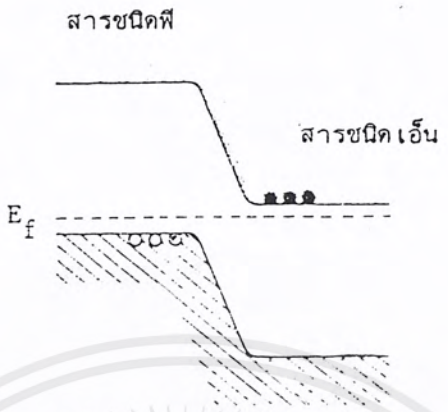
ซีเนอร์ไดโอดนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายกับไดโอดทั่วๆไป แต่แรงดันพังทลายมีค่าต่ำ ซึ่งกราฟคุณสมบัติระหว่างกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอดแสดงในรูปที่ 3.5




รูปที่ 3.5 กราฟคุณสมบัติระหว่างกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอด

ซึ่งจะสามารถอธิบายการเกิดปรากฏการณ์การพังทลาย ในขณะไบอัสย้อนกลับค่าต่ำๆ นี้ด้วยโครงสร้างแถบพลังงานดังแสดงในรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

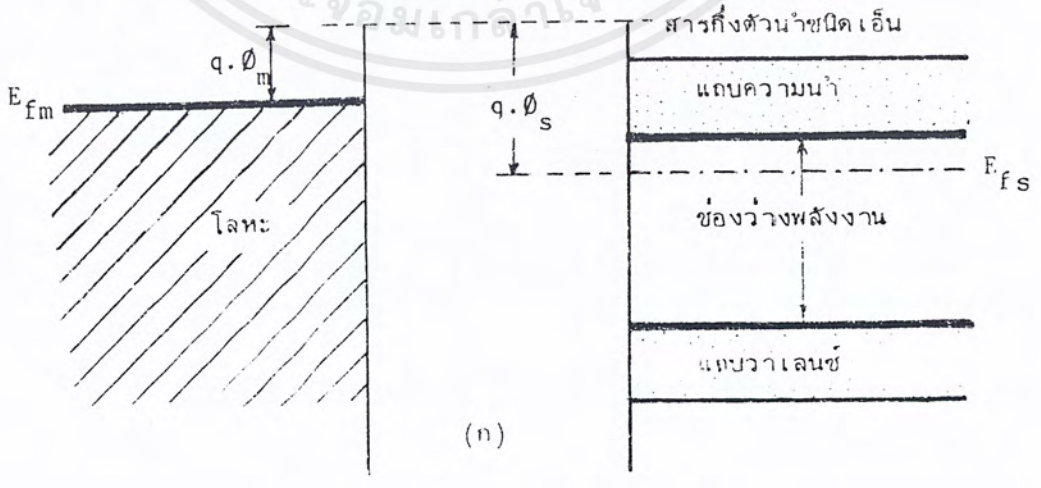



รูปที่ 3.6 โครงสร้างแถบพลังงานของซีเนอร์ไดโอด

จากรูปที่ 3.6 อธิบายในเชิงฟิสิกส์ได้ว่า ซีเนอร์ไดโอดเกิดจากการเติมสารเจือที่มีความหนาแน่นสูงทำให้บริเวณปลอดพาหะมีความแคบมากๆ จากในรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าแถบวาเลนซ์ในด้านพีและแถบความนำในด้านเอ็นอยู่ใกล้กับแถบพลังงานเฟอร์มิ ($E_f$) ดังนั้นเมื่อรอยต่อได้รับไบอัสย้อนกลับจนถึงแรงดันค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกว่าแรงดันพังทลายแบบซีเนอร์ (Zener breakdown) อิเล็กตรอนจากด้านพีและโฮลจากด้านเอ็นจะสามารถทะลุผ่านกำแพงศักย์ไปได้

**3.2.3 ช้อตต์คีย์ไดโอด (Schottky Diodes)** [1]

ช้อตต์คีย์ไดโอด (Schottky Diodes) เป็นไดโอดที่แตกต่างจากไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น ทั่วๆไป คือ ลักษณะโครงสร้างของช้อตต์คีย์ไดโอดจะประกอบไปด้วยรอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 สำหรับสารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้ได้แก่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น



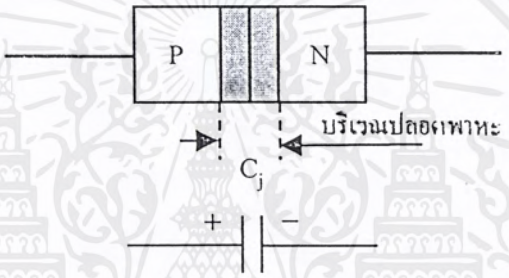

รูปที่ 3.7 รอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสที่ไหลผ่านตัวไดโอดช้อตต์คีย์จะเป็นกระแสของพาหะส่วนมากเท่านั้น ซึ่งแตกต่างจากไดโอดทั่วๆไป สาเหตุนี้เองจึงทำให้ไดโอดมีความรวดเร็วในการทำงานสูง

**3.2.4 ความจุไฟฟ้าบริเวณรอยต่อของไดโอด** [1]

เมื่อให้ไบอัสกับไดโอดที่บริเวณรอยต่อพี-เอ็น จะมีบริเวณปลอดพาหะเกิดขึ้นในบริเวณนี้ ค่าความต้านทานไฟฟ้า (Cj) จะมีค่าสูงคล้ายกับเป็นฉนวน ดังนั้น จึงเกิดมีความจุไฟฟ้าของรอยต่อขึ้น ซึ่งเรียกว่า ความจุไฟฟ้าที่บริเวณปลอดพาหะ โดยที่ค่าความจุนี้จะเปลี่ยนแปลงตามแรงดันไบอัสที่ให้กับรอยต่อ




รูปที่ 3.8 บริเวณปลอดพาหะที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อพี-เอ็นของไดโอด

ถ้าสมมติให้รอยต่อพี-เอ็น แสดงตัวคล้ายกับตัวเก็บประจุไฟฟ้า ประกอบไปด้วยแผ่นโลหะสองแผ่นแยกห่างจากกันเป็นระยะ $d_p + d_n$ โดยมีไดอิเล็กตริกเป็นตัวกลาง มีค่าเปอร์มิตติวิตี้ ($\varepsilon$) ขณะที่รอยต่อได้รับไบอัสกลับค่าของ $d_p + d_n$ มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความจุไฟฟ้าที่รอยต่อมีค่าลดลง แต่ขณะรอยต่อได้รับไบอัสตรงค่าของ $d_p + d_n$ จะมีค่าน้อยทำให้ค่าความจุไฟฟ้าที่รอยต่อมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นไปตามสมการ

$$C_J = \frac{\varepsilon}{d_p + d_n} \quad F/m^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3.6)$$

เมื่อ

$C_J$ คือ ค่าความจุไฟฟ้าบริเวณรอยต่อ ($F/cm^2$)

$\varepsilon$ คือ ค่าเปอร์มิตติวิตี้ (permittivity)

$d_p$ คือ บริเวณปลอดพาหะทางด้านพี (cm)

$d_n$ คือ บริเวณปลอดพาหะทางด้านเอ็น (cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3 มอสเฟต ( MOSFET ) [4]

### 3.3.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟต

สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำประเภทมอสเฟต เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่มีการควบคุมการทำงานด้วยผลของสนามไฟฟ้า ( Field Effect Devices ) ซึ่งโครงสร้างแสดงในรูปที่ 3.9 ประกอบด้วยส่วนเดรน เกท และซอส

### 3.3.2 ชนิดของมอสเฟต

3.3.2.1 แบ่งตามลักษณะการทำงาน แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

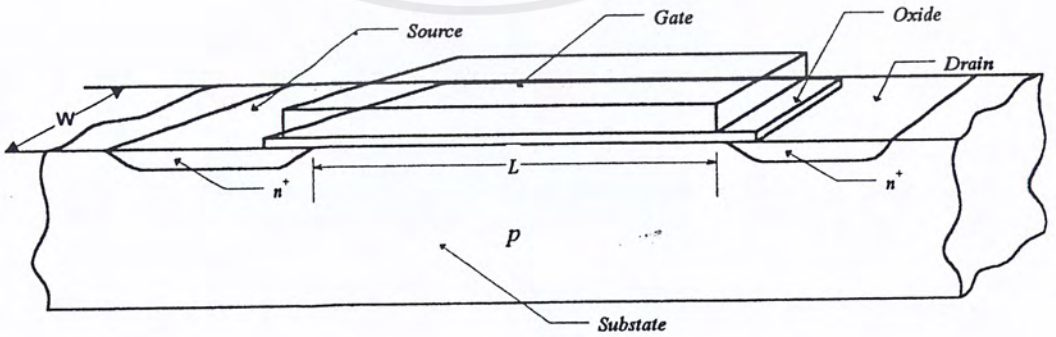
3.3.2.1.1 แบบEnhancement MOSFET คือ มอสเฟตที่ช่องทางเดินกระแสเกิดขึ้นด้วยการเหนี่ยวนำประจุจากแรงดันไบอัสที่เกท

3.3.2.1.2 แบบ Depletion MOSFET คือ มอสเฟตที่ช่องทางเดินกระแสเกิดจากการเติมสารเจือให้เกิดเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกับส่วน ซอสและเดรน

3.3.2.2 แบ่งตามชนิดประจุพาหะ แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

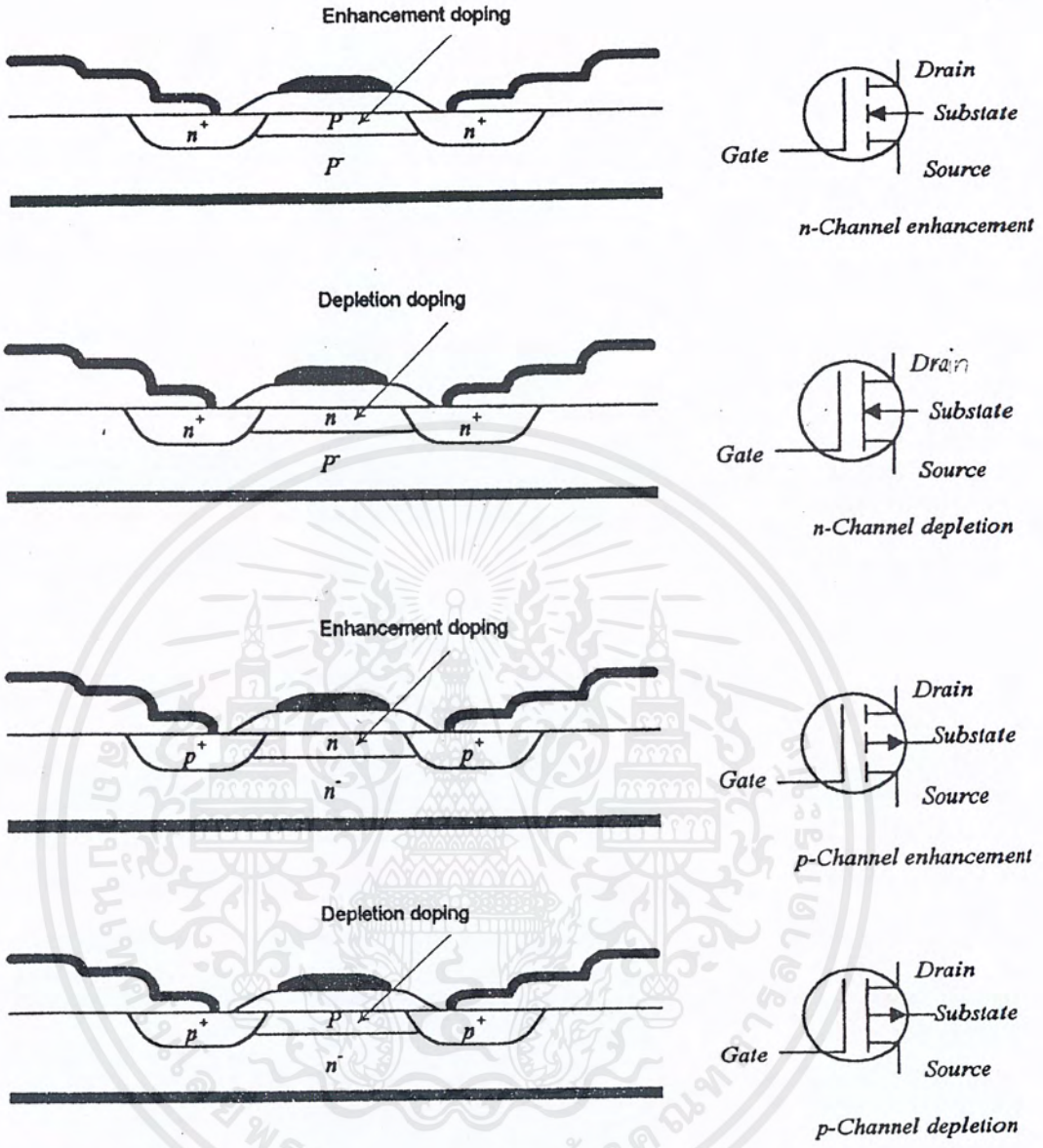
3.3.2.2.1 N-Channel MOSFET หรือ NMOS คือ มอสเฟตที่มี Channel เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี และส่วนซอสและเดรนของมอสเฟตชนิดนี้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

3.3.2.2.2 P-Channel MOSFET หรือ PMOS คือ มอสเฟตที่มี Channel เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และส่วนซอสและเดรนของมอสเฟตชนิดนี้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี โดยที่ลักษณะโครงสร้างของมอสเฟต และสัญลักษณ์แสดงได้ดังรูปที่ 3.9 และ 3.10




รูปที่ 3.9 ลักษณะโครงสร้างของ มอสเฟต ชนิด N-Channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.10 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ มอสเฟต ชนิด N-caannel และ P-Channel

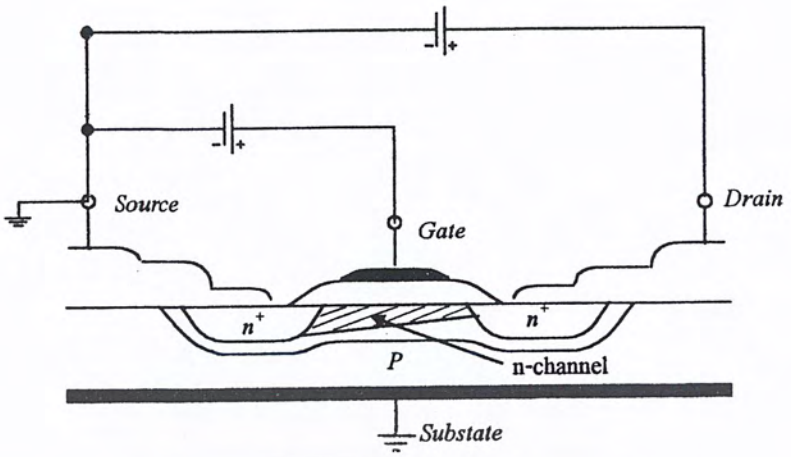
การทำงานของมอสเฟตนั้นจะต้องให้ไบอัสกับขั้วต่างๆของมอสเฟตอย่างเหมาะสม โดยการให้ไบอัสแก่มอสเฟต แสดงได้ดังรูปที่ 3.11

โดยการทำงานของ N-Channel MOSFET มีหลักการดังนี้ คือ เมื่อขณะที่แรงดันที่เกท ($V_G$) มีค่าบวกเล็กน้อย เป็นผลให้เกิดการเหนี่ยวนำประจุลบขึ้นในสารกึ่งตัวนำชนิดพี คือโฮลจะถูกกวาดออกไปจากช่องทางเดินกระแส ทำให้อะตอมกลายเป็นอิออนลบ ดังนั้นเมื่อเพิ่มแรงดันเกทขึ้นไปอีก บริเวณสัมผัสของสารกึ่งตัวนำกับออกไซด์ จะค่อยๆ เปลี่ยนจากสารกึ่งตัวนำชนิดพีเป็นชนิดอินทรินซิคและกลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นในที่สุด และทำหน้าที่เป็นช่องทางเดินกระแส ซึ่งเรียกว่า ช่องทางเดินกระแส (Channel Length ; L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

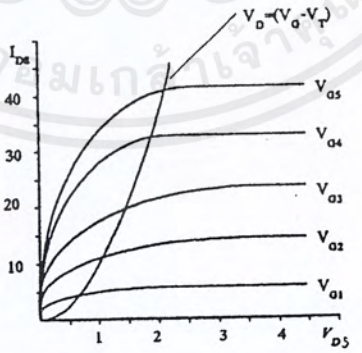
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง






รูปที่ 3.11 การให้ไบอัสแก่ N-Channel มอสเฟต

อย่างไรก็ตามยังมีแรงดัน $V_T$ หรือที่เรียกว่า แรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) คือ แรงดันที่ตกคร่อมชั้นออกไซด์ ซึ่งมีค่าพอดีทำให้ประจุในแชนเนลมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นแรงดันที่มีค่ามากกว่าแรงดัน $V_T$ จะเหนี่ยวนำให้เกิดชั้นกลับ (Inversion Layer) ขึ้น จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $I_D$ กับ $V_{DS}$ ดังรูปที่ 3.12 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงภาวะ $V_{DS} < V_G - V_T$ กราฟจะมีลักษณะเป็นช่วงไม่อิ่มตัว (Non-saturation) ประกอบด้วยช่วงเชิงเส้นและช่วงไม่เป็นเชิงเส้น จนกระทั่งแรงดัน $V_{DS} = V_G - V_T$ ซึ่งที่ภาวะนี้เรียกว่าช่วงแรงดัน Pinch off กระแส $I_D$ จะมีค่าสูงที่สุด ที่ช่วงจุด Pinch off ที่ $V_{DS} = V_G - V_T$ นี้บริเวณแชนแนลจะขาดออกจากกัน จากกราฟ เมื่อให้แรงดัน $V_{DS}$ เพิ่มมากกว่าจุด Pinch off กระแส $I_D$ ก็จะคงที่ตลอดไม่มีการเปลี่ยนแปลง แม้ว่าจะเพิ่มแรงดัน $V_{DS}$ มากเท่าไรก็ตาม นั่นคือ มอสเฟตจะเริ่มเข้าสู่ภาวะอิ่มตัว (Saturation Region)




รูปที่ 3.12 กราฟคุณสมบัติ I-V ของเอ็น-แชนแนล มอสเฟต

สมการความสัมพันธ์ระหว่าง $I_D$ - $V_{DS}$ ในช่วงไม่อิ่มตัวแสดงดังสมการที่ (3.7)

$$I_D = C_{OX} . \mu . (W/L). [(V_G - V_T) V_{DS} - V^2_{DS}/2 ] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42286

เมื่อ

$I_D$ คือ กระแสเดรน ( A )

$C_{OX}$ คือ ความจุไฟฟ้าที่เกทออกไซด์ ( $F/cm^2$ )

$\mu$ คือ ค่าความคล่องตัวของโฮลหรืออิเล็กตรอน

W คือ ความกว้างของช่องทางเดินกระแส

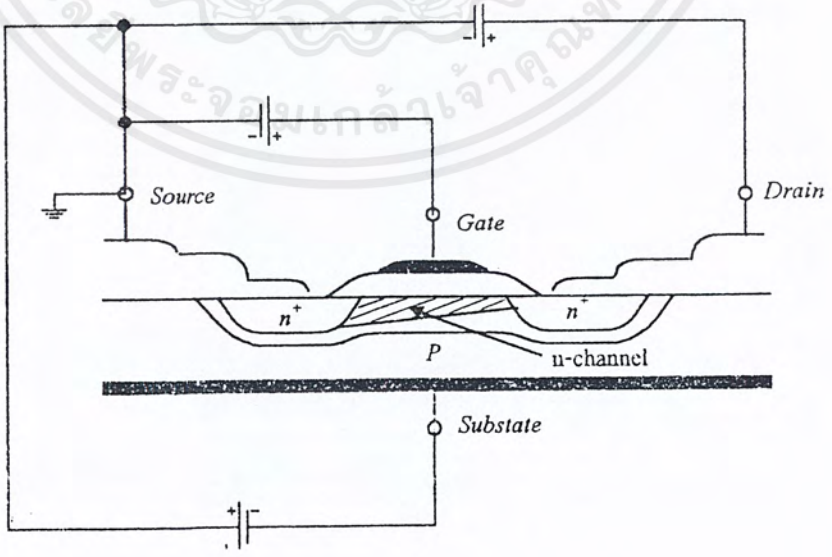
L คือ ความยาวของช่องทางเดินกระแส

และสมการซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $I_D$ - $V_{DS}$ ในการทำงานในช่วงอิ่มตัวจะแสดงได้ด้วยสมการที่ (3.8) ซึ่งในช่วงอิ่มตัวเราจะแทนค่า $V_{DS}$ ด้วย $V_G$ - $V_T$ ลงในสมการที่ (3.7) ซึ่งจะได้

$$I_D = \{[C_{OX} . \mu . (W/L)]\}.[(V_G - V_T)^2] / 2 \quad \text{.....(3.8)}$$

**3.3.3 แบ็คเกทไบอัส (Back-Gate Bias)** [5]

การแบ็คเกทไบอัส คือ การให้แรงดันไบอัสกับส่วนฐานรอง (Substrate) เมื่อทำการแบ็คเกทไบอัสแล้ว พิจารณาถึงค่าแรงดันขีดเริ่ม ($V_T$) จะเห็นว่าแรงดันขีดเริ่มมีค่าที่สูงขึ้น สาเหตุที่แรงดันขีดเริ่มมีค่าที่สูงขึ้นเนื่องมาจาก เมื่อทำการแบ็คเกทไบอัสแล้ว จะทำให้บริเวณปลอดพาหะที่ตรงบริเวณใต้เกทขยายกว้างขึ้น จะทำให้แรงดันขีดเริ่ม ซึ่งก็คือ แรงดันที่พอดีที่ทำให้เกิดเป็นชั้นกลับหรือ channel มีค่าสูงขึ้น รูปที่ 3.13 แสดงวงจรของการให้ไบอัสแบบแบ็คเกท




รูปที่ 3.13 การให้ไบอัสแบบแบ็คเกท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

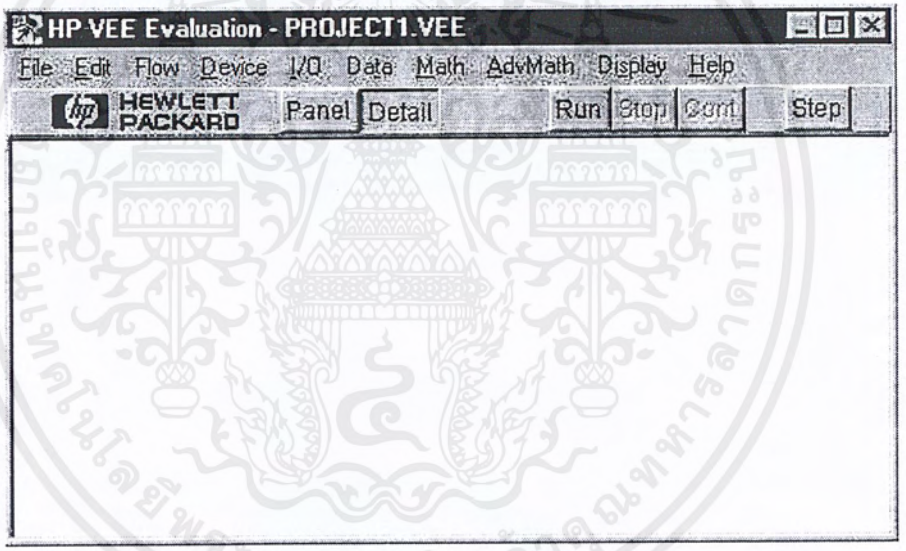
# บทที่ 4
# การเขียนโปรแกรม

**4.1 โปรแกรม HP VEE ประกอบไปด้วย 3 ส่วน** ดังแสดงในรูปที่ 4.1 คือ

**4.1.1 The Menu Bar** เป็นแถบที่ใช้สร้างคำสั่งและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม

**4.1.2 The Tool Bar** เป็นแถบที่ใช้แสดงชื่อของโปรแกรมและใช้ควบคุมการทำงานของโปรแกรม

**4.1.3 The Work Area** เป็นส่วนที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม




รูปที่ 4.1 แสดงส่วนของโปรแกรม

การแสดงโปรแกรมสามารถทำได้ 2 แบบคือ

1. **Panel** ใช้แสดงส่วนที่ต้องการใส่ค่าและจอแสดงผลลัพธ์ที่ได้
2. **Detail** ใช้แสดงส่วนที่เขียนโปรแกรม

**4.2 การเข้าโปรแกรม HP VEE** สามารถทำได้โดย

START => PROGRAMS => HP Vee Evaluation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.3 วิธีการช่วยเขียนโปรแกรม

**4.3.1 การเปลี่ยนชื่อของอุปกรณ์** ทำได้โดยการ click ขวาที่ตัวอุปกรณ์ เลือก Edit Properties และเขียนชื่อที่ต้องการเปลี่ยน จากนั้นกด Ok

**4.3.2 การนำอุปกรณ์แสดงที่ Panel** ทำได้โดยการ click ที่ตัวอุปกรณ์ จากนั้นกด click ที่ Edit ใน Menu Bar เลือกที่ Add to Panel

**4.3.3 การทำให้อุปกรณ์มีขนาดเล็กลง** ทำได้โดย click ที่ช่องสี่เหลี่ยมด้านขวาบน

**4.3.4 การต่อเชื่อมลำดับของอุปกรณ์** ทำได้โดยกด click ที่ Output Sequence จากนั้นเลือกไปที่ Input Sequence ของอุปกรณ์ที่จะให้ทำงานต่อไป

**4.3.5 การลบเส้น** ทำได้โดย กด Shift+Ctrl และกดที่เส้นที่ต้องการลบ

**4.3.6 การลบตัวอุปกรณ์** ทำได้โดยกด click ขวาที่ตัวอุปกรณ์ และกดที่ Cut

## 4.4 การเขียนโปรแกรมวัดค่าความต้านทาน

การเขียนโปรแกรมวัดค่าความต้านทาน จะเป็นโปรแกรมที่วัดค่ากระแส และแรงดันที่ได้จากตัวอุปกรณ์มาคำนวณหาค่าความต้านทาน โดยใช้อุปกรณ์ แหล่งจ่ายแรงดัน HP 3631 A และ Multimeter HP 34401A เมื่อต่อเชื่อมการ์ดแล้ว เข้าตัวโปรแกรมเลือกที่ new

**4.4.1 The Voltage Sweep**

เป็นการกำหนด Range ของแรงดัน สามารถทำได้โดย

เลือก Flow => Repeat => For Range

-เพิ่ม Data Input ของ For Range โดยกด click ขวาแล้วเลือก Add Terminal => Data Input จากนั้นเลือก From, Thru, Step

การสร้าง BOX ที่ใช้ในการป้อนค่าแรงดันที่ต้องการทำการวัด โดย

Start V ใช้ในการกำหนดค่าเริ่มต้นที่ทำการวัด

Stop V ใช้ในการกำหนดค่าสุดท้ายที่ทำการวัด

Step V ใช้ในการกำหนดลำดับแรงดัน

Current Limit ใช้ในการกำหนดค่าจำกัดของกระแส

สามารถทำได้โดย เลือก Data => Constant => Real

-เปลี่ยนชื่อเป็น Start, Stop, Step Voltage และ Current Limit

-นำ BOX ที่ได้แสดงใน Panel

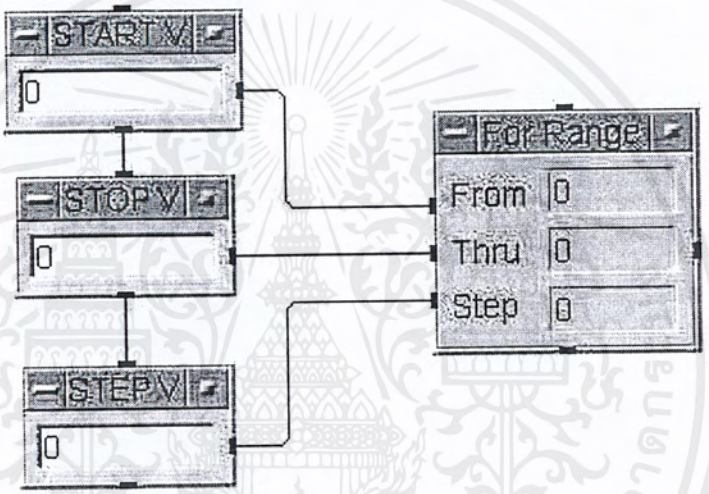
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-เพิ่ม Data Output ของ Start, Stop, Step Voltage โดยกด click ขวาแล้วเลือก Add Terminal => Data Output

-เชื่อมต่อ Data Output ของ Start ไปที่ Data Input ของ From

-เชื่อมต่อ Data Output ของ Stop ไปที่ Data Input ของ Thru

-เชื่อมต่อ Data Output ของ Step ไปที่ Data Input ของ Step ดังแสดงในรูปที่ 4.2




รูปที่ 4.2 การต่อเชื่อม For Range

**4.4.2 การส่งข้อมูลไปที่แหล่งจ่ายแรงดัน**

การจะส่งค่าที่ป้อนไปควบคุมแหล่งจ่ายแรงดัน สามารถทำได้โดย click I/O => Instrument เลือกที่ FC_HP15 (hp3631A@715) และ click Get Instr.

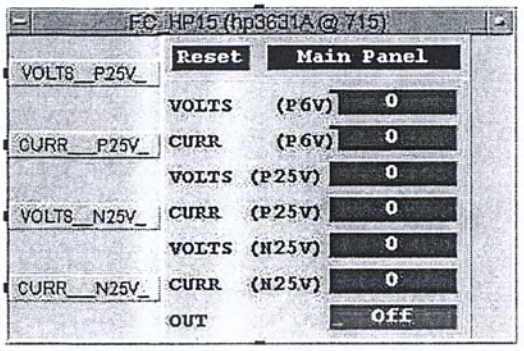
-เพิ่ม Data Input โดยกด click ขวาแล้วเลือก Add Terminal => Data Input

-เลือก Volts_P25V, Curr_P25V, Volts_N25V, Curr_N25V

-เชื่อมต่อ Data Output ของ For Range ไป Data Input ของ Volts_P25V และ Volts_N25V

-เชื่อมต่อ Data Output ของ Current limit ไป Data Input ของ Curr_P25V และ Curr_N25V ดังแสดงในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

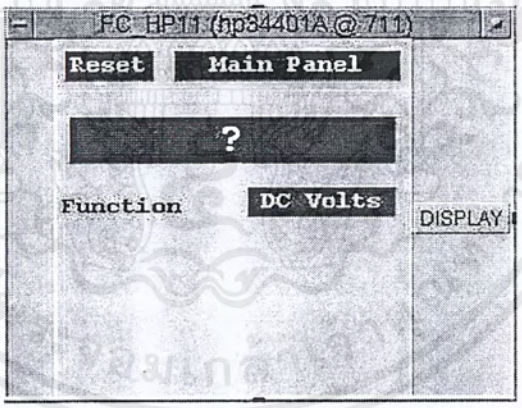



รูปที่ 4.3 แหล่งจ่ายแรงดัน

**4.4.3 การอ่านข้อมูลจาก Multimeter**

การจะอ่านค่าจาก Multimeter ทำได้โดย click I/O => Instrument เลือกที่ FC_HP12 (hp34401@712) จากนั้น click Get Instr.

-เพิ่ม Data Output โดยกด click ขวาแล้วเลือก Add Terminal => Data Output เลือก DISPLAY ดังแสดงในรูปที่ 4.4




รูปที่ 4.4 Multimeter

**4.4.4 การใช้ Delay**

เพื่อทำให้การวัดมีความถูกต้อง จึงจำเป็นต้องมี Delay ไว้ใช้หน่วงเวลาของแหล่งจ่ายแรงดัน ที่ป้อนก่อนที่จะให้ Multimeter ทำการอ่านค่าซึ่งสามารถทำได้โดย click Flow => Delay

**4.4.5 การพล็อตกราฟ I-V Curve**

การสร้างกราฟ I-V เพื่อให้แสดงผลที่ได้ออกมาเป็นกราฟ ทำได้โดย click Display => X vs. Y Plot จากนั้นเลือก Control Input โดยการ Click ขวาที่อุปกรณ์ แล้วเลือก Add Terminal => Control Input เลือก Auto Scale และ Clear

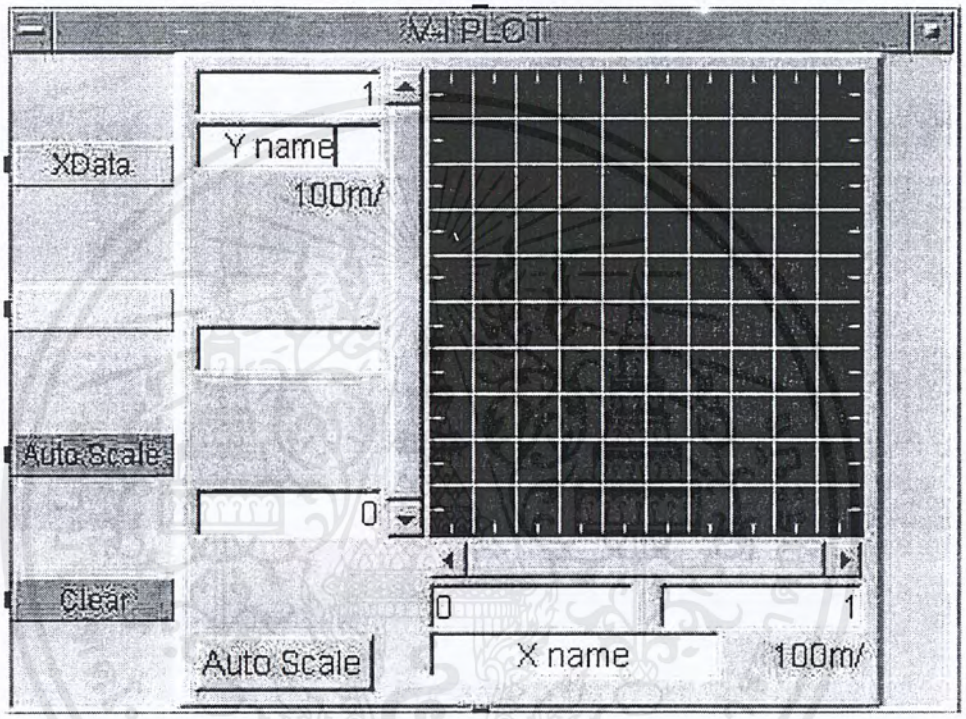
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-เปลี่ยนชื่อเป็น V-I Plot และ Add to Panel

-เชื่อมต่อ Output pin ของ For Range ไปที่ Input pin ของ Xdata

-เชื่อมต่อ Output pin ของ Multimeter ไปที่ Input pin ของ Ydata

-เชื่อมต่อ Delay ไปที่ Auto Scale ดังแสดงในรูปที่ 4.5




รูปที่ 4.5 กราฟ I-V Plot

**4.4.6 การนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ไฟล์**

เมื่อทำการวัดแต่ละครั้งสามารถเก็บไฟล์ที่วัดไปเก็บไว้ในโปรแกรมอื่น เพื่อที่จะดูค่าที่วัดไปแล้ว เพราะการวัดแต่ละครั้งข้อมูลจะเปลี่ยนไป

สามารถทำได้โดย click I/O => To => File

-ทำเครื่องหมายที่ 'Clear File At PreRun & Open' เพื่อที่จะให้โปรแกรมลบ file ทุกครั้งที่ทำการวัดใหม่

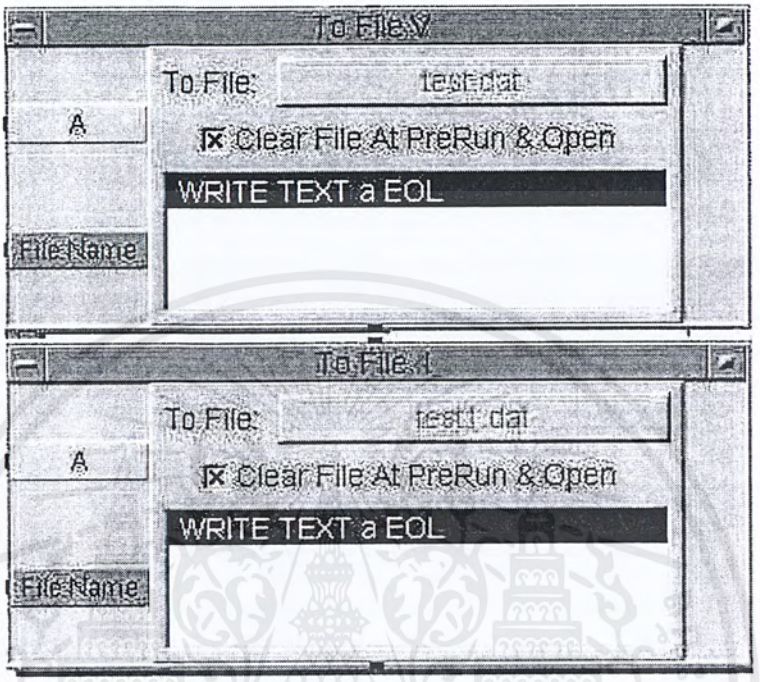
-เปลี่ยนชื่อเป็น To File I และ To File V

-ทำการเพิ่ม Control Input โดย click ขวาที่อุปกรณ์ เลือก Add Terminal => Control Input เลือก File name

-เชื่อมต่อ Data Output ของ For Range ไปที่ Input pin ของ To File V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-เชื่อมต่อ Data Output ของ Multimeter ไปที่ Input pin ของ To File I ดังแสดงในรูปที่ 4.6




รูปที่ 4.6 การสร้างบล็อกการเก็บไฟล์

**4.4.7 การสร้าง Input Boxes ไว้เก็บชื่อไฟล์**

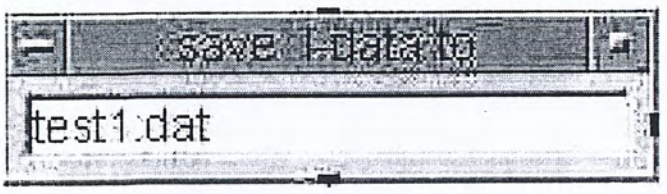
เป็นการกำหนดชื่อไฟล์ที่จะใช้ในการทำการวัด ทำได้โดย click Data => Constant => Text

-เปลี่ยนชื่อเป็น 'Save V-data To' และ 'Save I-data To'

-เพิ่มการแสดงไปใน Panel

-เชื่อมต่อ Data Output -Vไปที่ Data Input File name ของ To File V

-เชื่อมต่อ Data Output –I ไปที่ Data Input File name ของ To File I ดังแสดงในรูปที่ 4.7




รูปที่ 4.7 การสร้างบล็อกเก็บชื่อไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.4.8 การสร้างตารางแสดงค่าที่วัดได้**

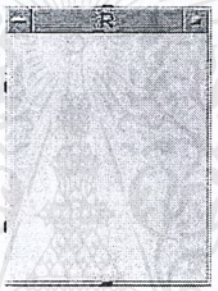
เป็นการนำค่าที่วัดได้มาเก็บไว้ในตารางเพื่อความสะดวกในการอ่านค่า ทำได้โดย click Display => Logging Alpha Numeric

-เปลี่ยนชื่อเป็น V, I และ R

-นำไปแสดงใน Panel

-เชื่อมต่อ Data Output ของ For Range ไปที่ Input data ของ V

-เชื่อมต่อ Data Output ของ Multimeter ไปที่ Input data ของ I ดังแสดงในรูปที่ 4.8




รูปที่ 4.8 การสร้างตารางอ่านค่า

**4.4.9 การสร้างบล็อกคำนวณค่า**

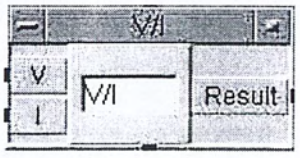
เป็นการสร้างบล็อกขึ้นมาคำนวณหาค่า ทำได้โดย click Math => A/B

-ทำการใส่สูตรที่ต้องการคำนวณคือ V/I

-เพิ่ม Data Input โดย click ขวา Add Terminal เลือก Data Input

-เชื่อมต่อ Data Output ของ For Range และ Data Output ของ Multimeter มาไว้ที่ Data Input ของตารางสูตร

-เชื่อมต่อ Data Output ของตารางสูตรไปไว้ที่ Data Input ของตาราง R ดังแสดงในรูปที่ 4.9




รูปที่ 4.9 การสร้างบล็อกที่ใช้คำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.4.10 การกำหนดการเริ่มต้นทำงานของอุปกรณ์**

ก่อนที่การทำงานของอุปกรณ์จะเริ่มทำงาน ต้องกำหนดค่าที่ใช้ในการเลือกอุปกรณ์นั้นให้ทำงานแบบใด ทำได้โดย click Device => User Object นำอุปกรณ์ Multimeter และแหล่งจ่ายแรงดัน มาไว้ใน box โดย click I/O => Instrument และเลือกอุปกรณ์

-click ขวาที่ Multimeter เลือก Add Terminal => Data Input เลือก Function

-click Data => Constant => Integer

-กำหนดค่าใน Integer เป็น 3 เพื่อเป็นการกำหนดให้ Multimeter วัดค่า DC Current

-เพิ่ม Data Output ของ Integer

-เชื่อมต่อ Data Output ของ Integer กับ Function

-click ขวาที่ แหล่งจ่ายแรงดัน เลือก Add Terminal => Data Input เลือก Function

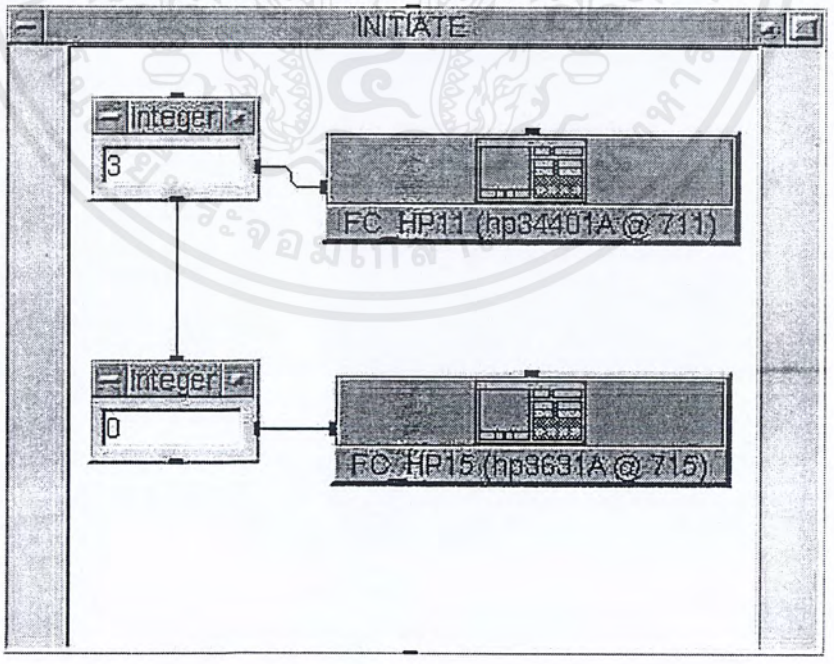
-click Data => Constant => Integer

-กำหนดค่าใน Integer เป็น 0 เพื่อเป็นการกำหนดให้ แหล่งจ่ายแรงดัน ON

-เพิ่ม Data Output ของ Integer

-เชื่อมต่อ Data Output ของ Integer กับ Function

-เปลี่ยนชื่อเป็น INITIATE ดังแสดงในรูปที่ 4.10




รูปที่ 4.10 การสร้างบล็อกกำหนดเงื่อนไขการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.4.11 การสร้างปุ่ม Start**

เป็นปุ่มเริ่มต้นของการทำงาน ทำได้โดย click Flow => Start

-นำไปแสดงใน Panel

**4.4.12 การสร้างปุ่ม Reset**

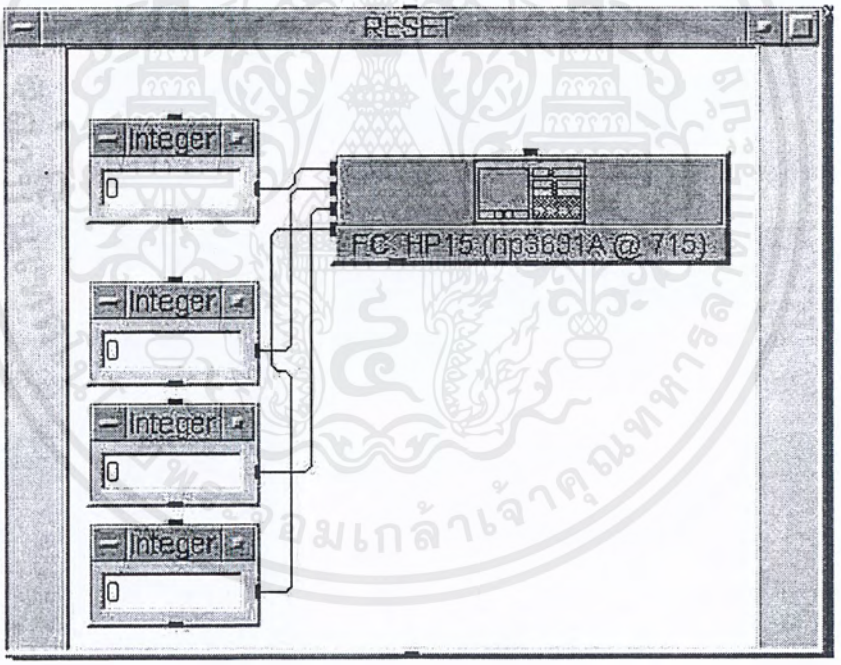
เมื่อทำการวัดแต่ละครั้งต้องทำการ reset Power Supply ทำได้โดย click Device => User Object นำแหล่งจ่ายแรงดัน มาไว้

-เพิ่ม Data Input Volts_P25V, Curr_P25V, Volts_N25V, Curr_N25V

-click Data => Constant => Integer

-กำหนดค่าใน Integer เป็น 0 เพื่อเป็นการกำหนดให้แหล่งจ่ายแรงดัน Reset

-เปลี่ยนชื่อเป็น Reset เชื่อมต่อที่ปุ่ม Reset (ทำเช่นเดียวกับปุ่ม Start) ดังแสดงในรูปที่ 4.11



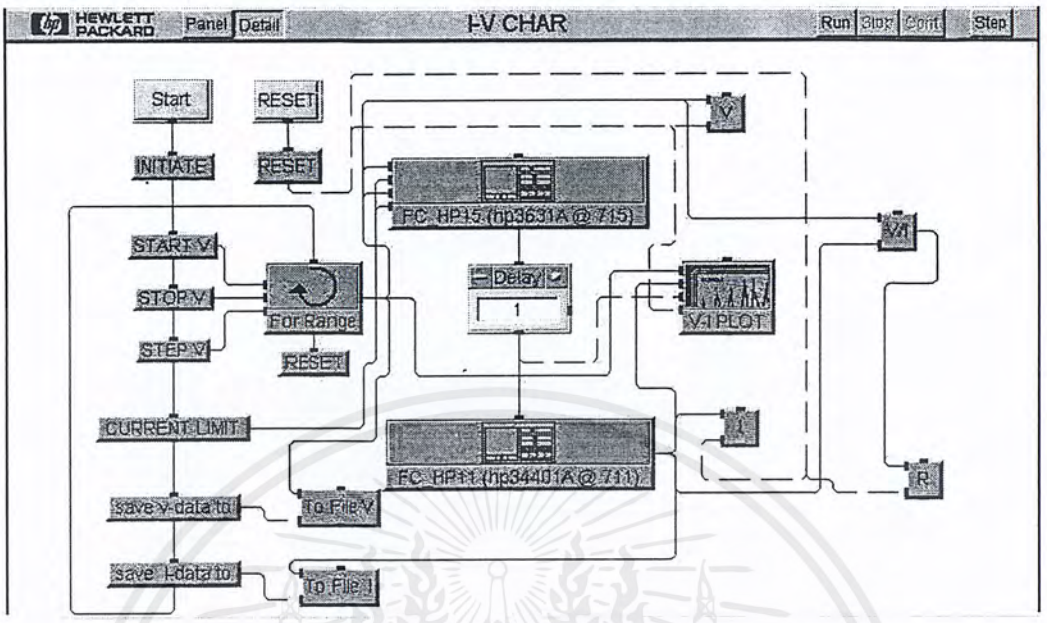

รูปที่ 4.11 การสร้างปุ่ม Reset

**4.4.13 การเชื่อมต่อ Sequence Pin**

มีลำดับขั้นตอนดังนี้

'Start'- button => 'Initiate'- box => 'Start V'- box => 'Stop V'- box => 'Step V'- box => 'Current Limit'- box => 'Save V –data to' => 'Save I –data to' => 'For Range' –box => 'Reset'. ดังแสดงในรูปที่ 3.12

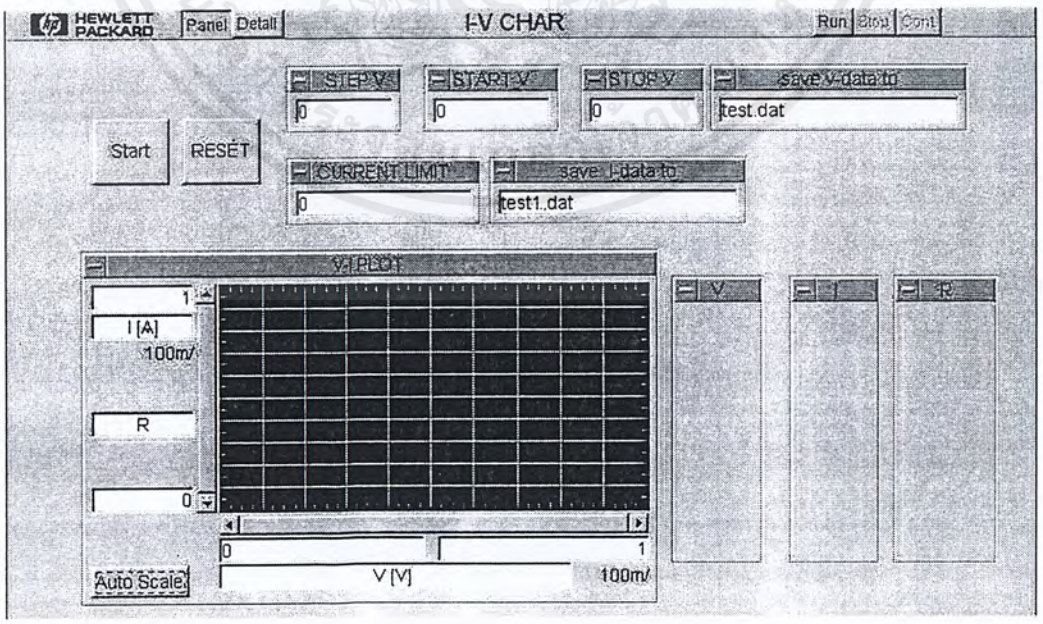
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.12 โปรแกรมที่เชื่อมต่อกัน

**4.4.14 การ Design Panel**

การปรับแต่งหน้าจอทำได้โดย click ขวาที่ตัวอุปกรณ์ เลือก Edit Properties ซึ่งจะสามารถปรับแต่งสีและตัวอักษรได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.13




รูปที่ 4.13 โปรแกรมสำหรับใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.4.15 การ save โปรแกรม**

เมื่อทำการ save โปรแกรมจะกำหนดให้เป็น eval.vee เมื่อทำการเขียนโปรแกรมจนเสร็จ สามารถเปลี่ยนชื่อโปรแกรมได้โดย Exploper เข้าไปใน file Veeval3=> Examples => Evaluate

## 4.5 การเขียนโปรแกรมวัดคุณสมบัติของไดโอด

การเขียนโปรแกรมวัดคุณสมบัติของไดโอด เป็นโปรแกรมที่ใช้วัดค่ากระแส และแรงดันจากตัวอุปกรณ์มาพล็อตเป็นกราฟ โดยใช้อุปกรณ์แหล่งจ่ายแรงดัน HP 3631 A และ Multimeter HP 34401 A

**4.5.1 The Voltage Sweep** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.1

**4.5.2 การส่งข้อมูลไปที่แหล่งจ่ายแรงดัน** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.2

**4.5.3 การอ่านข้อมูลจาก Multimeter** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.3

**4.5.4 การใช้ Delay** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.1

**4.5.5 การสร้างบล็อกคำนวณค่า**

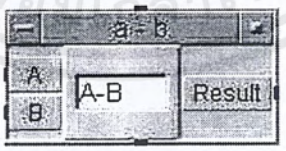
เป็นการสร้างบล็อกขึ้นมาคำนวณหาค่า ทำได้โดย click Math => A-B

-ทำการใส่สูตรที่ต้องการคำนวณคือ a-b

-เพิ่ม Data Input โดย click ขวา Add Terminal เลือก Data Input

-เชื่อมต่อ Data Output ของ For Range และ Data Output ของ Multimeter มาไว้ที่ Data Input ของตารางสูตร

-เชื่อมต่อ Data Output ของตารางสูตร ไปไว้ที่ Data Input ของการแสดงกราฟ Xdata ดังแสดงในรูปที่ 4.14




รูปที่ 4.14 การสร้างบล็อกขึ้นมาคำนวณหาค่า A-B

สร้างบล็อกขึ้นมาคำนวณหาค่า ทำได้โดย click Math => A/B

-ทำการใส่สูตรที่ต้องการคำนวณคือ a/b

-เพิ่ม Data Input โดย click ขวา Add Terminal เลือก Data Input

-เชื่อมต่อ Data Output ของ Multimeter มาไว้ที่ Data Input ของตารางสูตร

-ใส่ค่าความต้านทานไปในสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-เชื่อมต่อ Data Output ของตารางสูตร ไปไว้ที่ Data Input ของการแสดงกราฟ Ydata

**4.5.6 การพล็อตกราฟ I-V Curve** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.5 เปลี่ยนการต่อเป็น

-เชื่อมต่อ Output pin ของ A-B ไปที่ Input pin ของ Xdata

-เชื่อมต่อ Output pin ของ A/B ไปที่ Input pin ของ Ydata

**4.5.7 การพล็อตกราฟ Is** ทำเช่นเดียวกับ 4.5.6 เปลี่ยนแกน Y เป็นแบบ Log

**4.5.8 การนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ไฟล์** ทำเช่นเดียวกับ 4.4.6 เปลี่ยน

-เชื่อมต่อ Data Output ของ A-B ไปที่ Input pin ของ To File V

-เชื่อมต่อ Data Output ของ A/B ไปที่ Input pin ของ To File I

**4.5.9 การสร้าง Input Boxes ไว้เก็บชื่อไฟล์** ทำเช่นเดียวกับ 4.4.7

**4.5.10 การสร้างตารางแสดงค่าที่วัดได้** ทำเช่นเดียวกับ 4.4.8

**4.5.11 การกำหนดการเริ่มต้นทำงานของอุปกรณ์** ทำเช่นเดียวกับ 4.4.10 เปลี่ยน

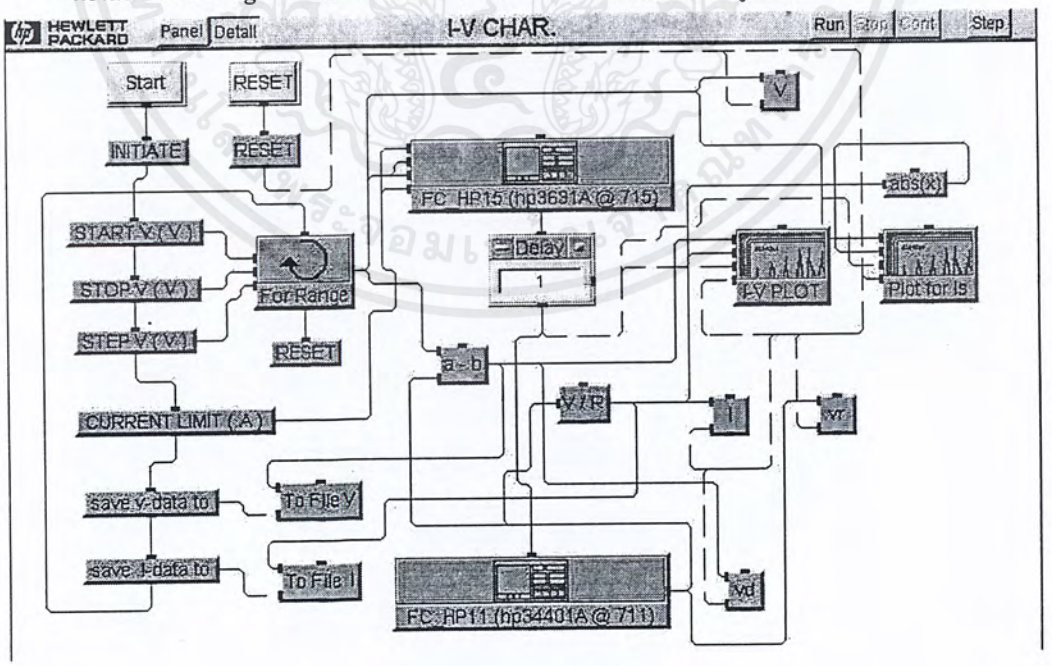
-กำหนดค่าใน Integer เป็น 1 เพื่อเป็นการกำหนดให้ Multimeter วัดค่า DC Volt

**4.5.12 การสร้างปุ่ม Start** ทำเช่นเดียวกับ 4.4.11

**4.5.13 การสร้างปุ่ม Reset** ทำเช่นเดียวกับ 4.4.12

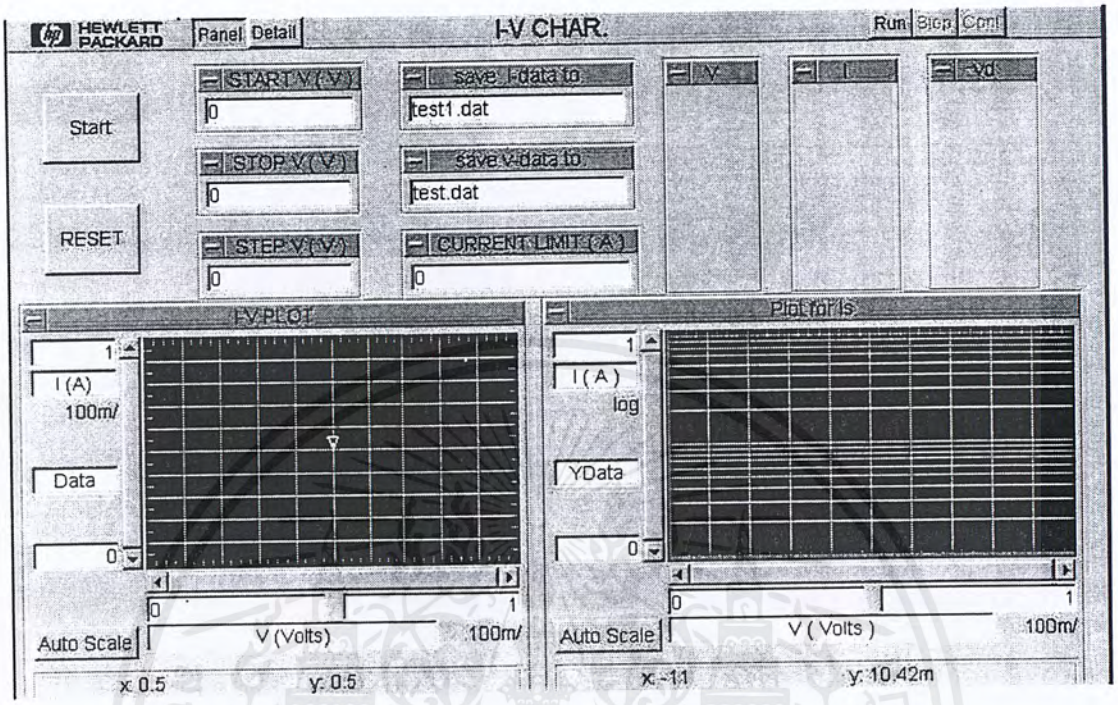
**4.5.14 การเชื่อมต่อ Sequence Pin** ทำเช่นเดียวกับ 4.4.13 ดังแสดงในรูป 4.16

**4.5.15 การ Design Panel** ทำเช่นเดียวกับ 4.4.14 ดังแสดงในรูปที่ 4.17




รูปที่ 4.16 โปรแกรมที่เชื่อมต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.17 โปรแกรมสำหรับใช้งาน

## 4.6 การเขียนโปรแกรมวัดค่าความจุไฟฟ้าของไดโอด

การเขียนโปรแกรมวัดค่าความจุไฟฟ้าของไดโอด เป็นโปรแกรมที่ใช้วัดความจุไฟฟ้าในขณะที่ป้อนแรงดันไบอัสย้อนกลับให้กับตัวอุปกรณ์มาพล็อตเป็นกราฟ โดยใช้อุปกรณ์ HP 4061A

### 4.6.1 The Voltage Sweep

เป็นการกำหนด Range ของแรงดัน สามารถทำได้โดย เลือก Flow => Repeat => For Range

-เพิ่ม Data Input ของ For Range โดยกด click ขวาแล้วเลือก Add Terminal => Data Input จากนั้นเลือก From, Step

การสร้าง BOX ที่ใช้ในการป้อนค่าแรงดันที่ต้องการทำการวัด โดย

Lower limit ใช้ในการกำหนดค่าเริ่มต้นที่ทำการวัด

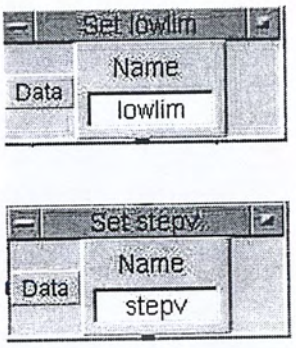
Step voltage ใช้ในการกำหนดลำดับแรงดัน

การเก็บข้อมูลที่ป้อนสามารถทำได้โดย เลือก Data => Grobal => Set Grobal

-เลือก Data => Grobal => Set Grobal เปลี่ยนชื่อเป็น Set Lowerlimit

-เลือก Data => Grobal => Set Grobal เปลี่ยนชื่อเป็น Set Step Volt ดังแสดงในรูป 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

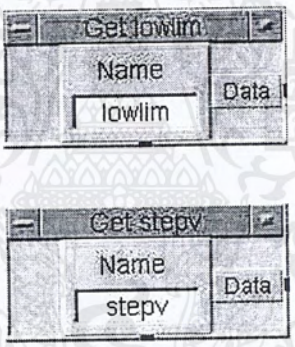



รูปที่ 4.18 การสร้างบล็อกเก็บข้อมูลที่ป้อน

การนำข้อมูลที่ป้อนมาใช้งานสามารถทำได้โดย เลือก Data => Grobal => Get Grobal

-เลือก Data => Grobal => Get Grobal เปลี่ยนชื่อเป็น Get Lowerlimit

-เลือก Data => Grobal => Get Grobal เปลี่ยนชื่อเป็น Get Step Volt ดังแสดงในรูป 4.19




รูปที่ 4.19 การสร้างบล็อกนำข้อมูลที่ป้อนมาใช้งาน

-เชื่อมต่อ output pin ของ Get Lowerlimit เข้า input pin ของ From

-เชื่อมต่อ output pin ของ Get Step Volt เข้า input pin ของ Step

**4.6.2 การกำหนดการเริ่มต้นทำงานของอุปกรณ์**

ก่อนที่การทำงานของอุปกรณ์จะเริ่มทำงาน ต้องกำหนดค่าที่ใช้ในการเลือกอุปกรณ์นั้นให้ทำงานแบบใด ทำได้โดย click Device => User Object นำอุปกรณ์ Hp 717 มาไว้ใน box โดย click I/O => Instrument และเลือกอุปกรณ์

-click ขวาที่ HP 717 เลือก Add Terminal => Data Input เลือก Function A,B

-click Data => Constant => Integer

-กำหนดค่าใน Integer เป็น 1,2 เพื่อเป็นการกำหนดให้ วัดค่า C

-เพิ่ม Data Output ของ Integer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-เชื่อมต่อ Data Output ของ Integer กับ Function

-click ขวาที่ HP 717 เลือก Add Terminal => Data Input เลือก High Res

-กำหนดค่าใน Integer เป็น 0 เพื่อเป็นการกำหนดไม่ให้ตอบสนองความถี่สูง

-click ขวาที่ HP 717 เลือก Add Terminal => Data Input เลือก Trig

-กำหนดค่าใน Integer เป็น 0 เพื่อเป็นการกำหนดไม่ให้มีการ Trig

-click ขวาที่ HP 717 เลือก Add Terminal => Data Input เลือก Range

-กำหนดค่าใน Integer เป็น 0 เพื่อเป็นการกำหนดแบบ Auto

-click ขวาที่ HP 717 เลือก Add Terminal => Data Input เลือก Circ_mod

-กำหนดค่าใน Integer เป็น 0 เพื่อเป็นการกำหนดแบบ Auto

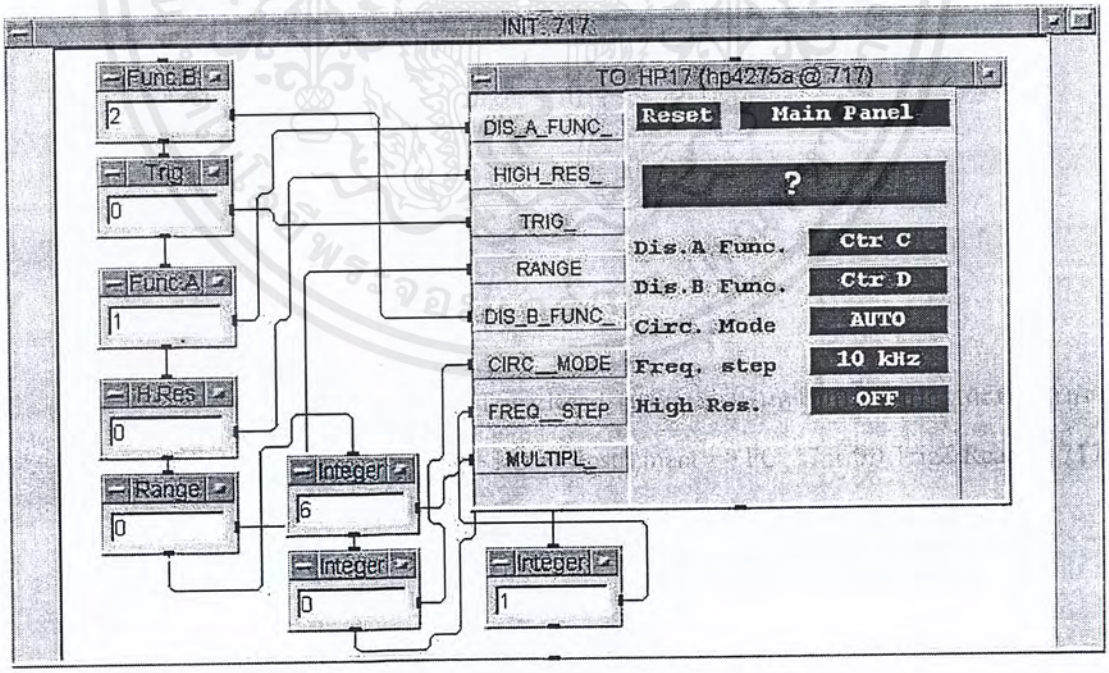
-click ขวาที่ HP 717 เลือก Add Terminal => Data Input เลือก Freq step

-กำหนดค่าใน Integer เป็น 6 เพื่อเป็นการกำหนดให้เป็น 1 MHz

-click ขวาที่ HP 717 เลือก Add Terminal => Data Input เลือก Multipl

-กำหนดค่าใน Integer เป็น 1 เพื่อเป็นการกำหนดให้เป็นแบบความละเอียด *0.1

-เชื่อมต่อ Data Output ของ Integer กับ Function ต่างๆ ดังแสดงในรูป 4.20




รูปที่ 4.20 การกำหนดการทำงานของเครื่อง HP 717

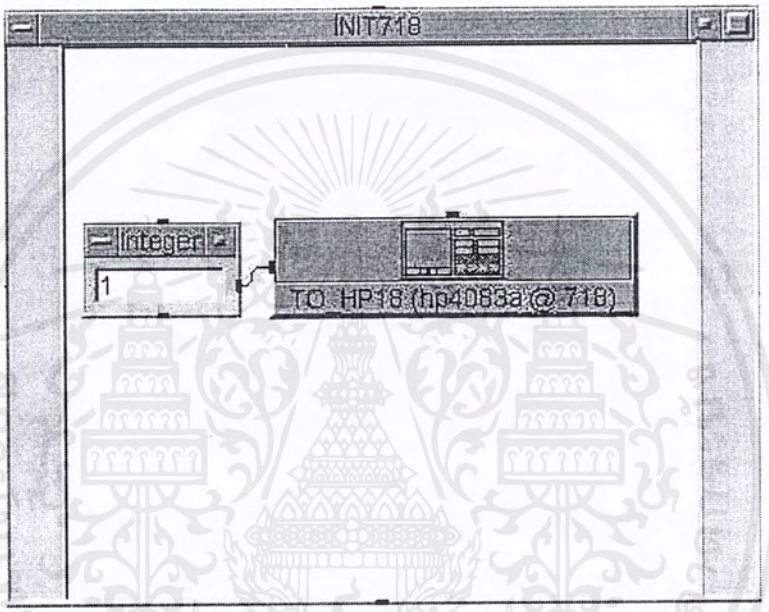
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกอุปกรณ์ HP 718 ให้ทำงานแบบใด ทำได้โดย click Device => User Object นำอุปกรณ์ HP 718 มาไว้ใน box โดย click I/O => Instrument และเลือกอุปกรณ์

-click ขวาที่ HP 718 เลือก Add Terminal => Data Input เลือก Function

-click Data => Constant => Integer

-กำหนดค่าใน Integer เป็น 1 เพื่อเป็นการกำหนดให้เครื่องทำงาน ดังแสดงในรูป 4.21




รูปที่ 4.21 การกำหนดการทำงานของเครื่อง HP 718

Bias Sweep เป็นการกำหนดให้เครื่องทำการจ่ายแรงดันตามค่าที่ป้อน ทำได้โดยเลือก

- I/O => Instrument => FC_17 เลือก Sweep @ 717

Trig&Read เป็นการกำหนดให้เครื่อง trig และอ่านค่าความจุออกมา ทำได้โดยเลือก

- I/O => Instrument => FC_17 เลือก Trig&Read @ 717

-เชื่อมต่อ output pin ของ Sweep Volt เข้า input pin ของ Bias Sweep

**4.6.3 การสร้าง Input Boxes ไว้เก็บชื่อไฟล์** ทำเช่นเดียวกับ 4.4.7

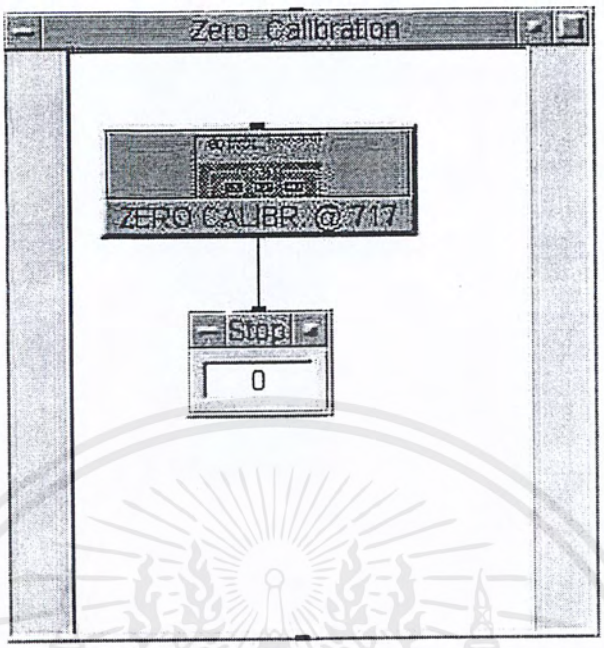
**4.6.4 การนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ไฟล์** ทำเช่นเดียวกับ 4.4.6

**4.6.5 การสร้าง Zero Calibration** เป็นการสร้างขึ้นมาเพื่อการเริ่มต้นทำงานเป็นศูนย์ ทำได้โดย click Device => User Object นำ HP 717 มาไว้

-click Flow => Stop

-กำหนดค่าเป็น 0 เพื่อเป็นการกำหนดให้เป็นศูนย์ ดังแสดงในรูป 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.22 การสร้าง zero calibration

**4.6.6 การพล็อตกราฟ C-V Curve**

การสร้างกราฟ C-V เพื่อให้แสดงผลที่ได้ออกมาเป็นกราฟทำได้โดย click Display => X vs. Y Plot จากนั้นเลือก Control Input โดยการ Click ขวาที่อุปกรณ์ แล้วเลือก Add Terminal => Control Input เลือก Auto Scale และ Clear

-เปลี่ยนชื่อเป็น C-I Plot และ Add to Panel

-เชื่อมต่อ Output pin ของ Sweep Volt ไปที่ Input pin ของ Xdata

-เชื่อมต่อ Output pin ของ Trig&Read ไปที่ Input pin ของ Ydata

**4.6.7 การเชื่อมต่อ Sequence Pin**

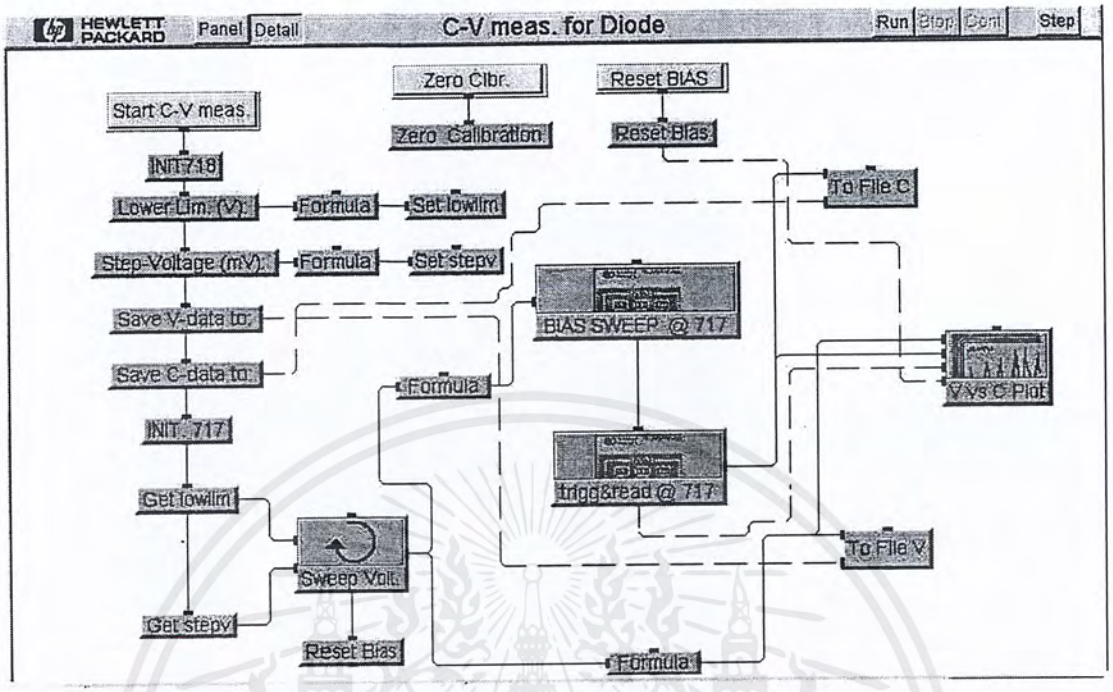
มีลำดับขั้นตอนดังนี้

'Start'- button => 'Initiate 718'- box => 'lower limit'- box => 'Step V'- box => 'Save V –data to' => 'Save c –data to' =>'Initiate 717'- box '=> Get Lower => Get Step => 'Reset'. ดังแสดงในรูปที่ 4.23

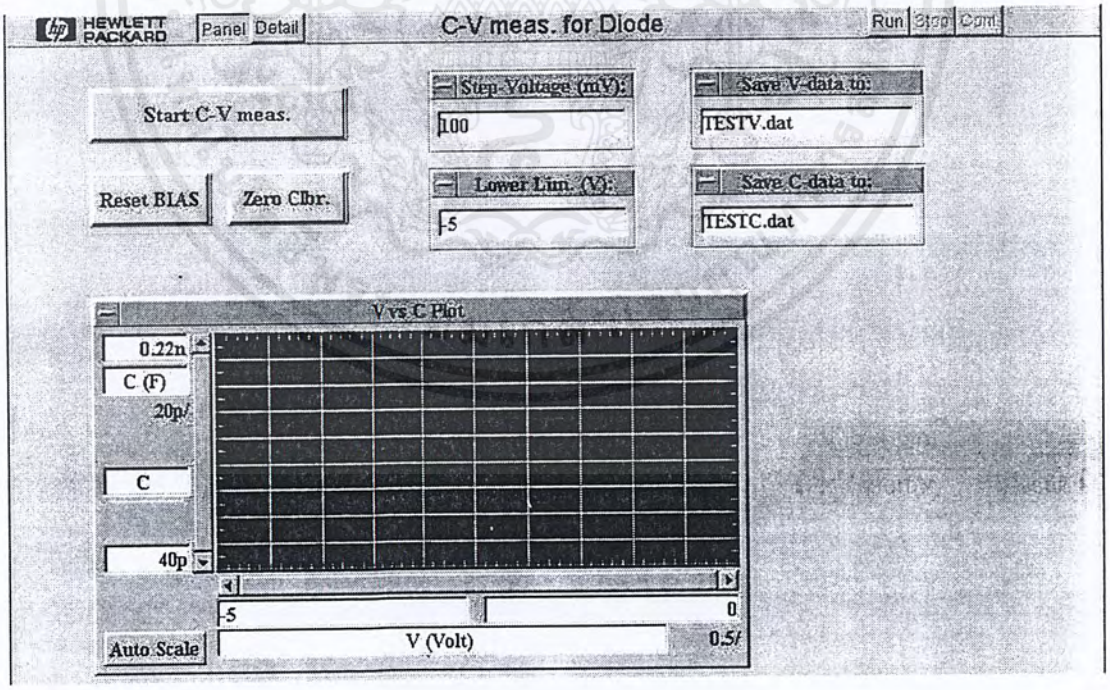
**4.6.8 การ Design Panel**

การปรับแต่งหน้าจอทำได้โดย click ขวาที่ตัวอุปกรณ์ เลือก Edit Properties ซึ่งจะสามารถปรับแต่งสีและตัวอักษรได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.23 โปรแกรมที่เชื่อมต่อกัน




รูปที่ 4.24 โปรแกรมสำหรับใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.7 การเขียนโปรแกรมวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟต

การเขียนโปรแกรมวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอส เป็นโปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของมอส มาพล็อตหาค่าโดยมีแหล่งจ่ายไฟ 2 ชุด คือ แหล่งจ่ายแรงดัน HP 715 , HP 716 และ Multimeter HP711 เมื่อต่อเชื่อมการ์ดแล้ว เข้าตัวโปรแกรมเลือกที่ new

**4.7.1 The Voltage Sweep**

เป็นการกำหนด Range ของแรงดัน เนื่องจากการวัดค่าแรงดันขีดเริ่มมีแหล่งจ่ายไฟ 2 ชุด คือ VDD และ VGS

VGS ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.1

VDD เป็นแหล่งจ่ายไฟที่มีค่าคงที่ โดยเลือกแหล่งจ่าย HP 716

**4.7.2 การส่งข้อมูลไปที่แหล่งจ่ายแรงดัน** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.2

VDD ต่อเชื่อมกับ HP 716 โดยตรง

**4.7.3 การอ่านข้อมูลจาก Multimeter** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.3

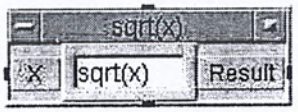
**4.7.4 การใช้ Delay** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.4

**4.7.5 การพล็อตกราฟ I-V Curve** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.5

และพล็อตกราฟหาค่า Vth เพิ่ม ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.5 โดยเพิ่ม Input pin ของกราฟ เพื่อให้สามารถอ่านค่า Vth ได้สะดวกโดย Click Data => constant ใส่ค่าเป็น 0 ดังแสดงในรูป 4.25

-นำค่ากระแสที่วัดได้ยกกำลัง ½ ก่อนที่จะต่อเข้ากราฟ ดังแสดงในรูป 4.26

รูปที่ 4.25 การสร้างค่าคงที่



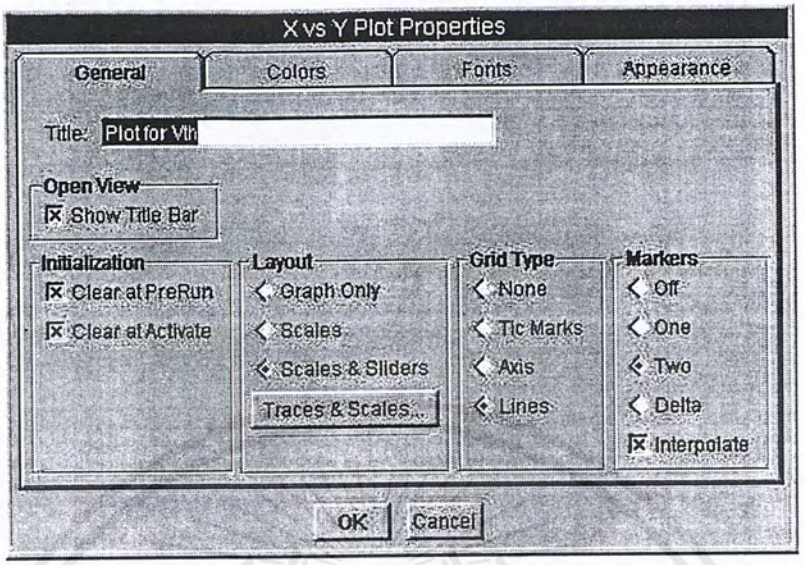

รูปที่ 4.26 การนำค่ากระแสยกกำลัง ½

-เลือก Properties ของกราฟเพื่อให้อ่านค่าได้ตามที่ต้องการ โดยเลือก Markers ที่ Two ดังแสดงในรูป 4.27

**4.7.6 การนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ไฟล์** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.6

**4.7.7 การสร้าง Input Boxes** ไว้เก็บชื่อไฟล์ ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.27 การกำหนด Properties ของกราฟ

**4.7.8 การแสดงค่าที่วัดได้** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.8
เปลี่ยนชื่อเป็น VGS , VR , IDS^1/2 , IDS

**4.7.9 การสร้างบล็อกคำนวณค่า** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.9
เปลี่ยน การคำนวณค่าเป็น A/1000 ดังแสดงในรูป 4.28

รูปที่ 4.28 การสร้างบล็อกที่ใช้คำนวณ

**4.7.10 การกำหนดการเริ่มต้นทำงานของอุปกรณ์** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.10 โดยเพิ่ม HP 716 กำหนด Function การทำงานเป็น 0 ดังแสดงในรูป 4.29 และกำหนด Multimeter เป็น 1 วัด DC Volts

**4.7.11 การสร้างปุ่ม Start** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.11

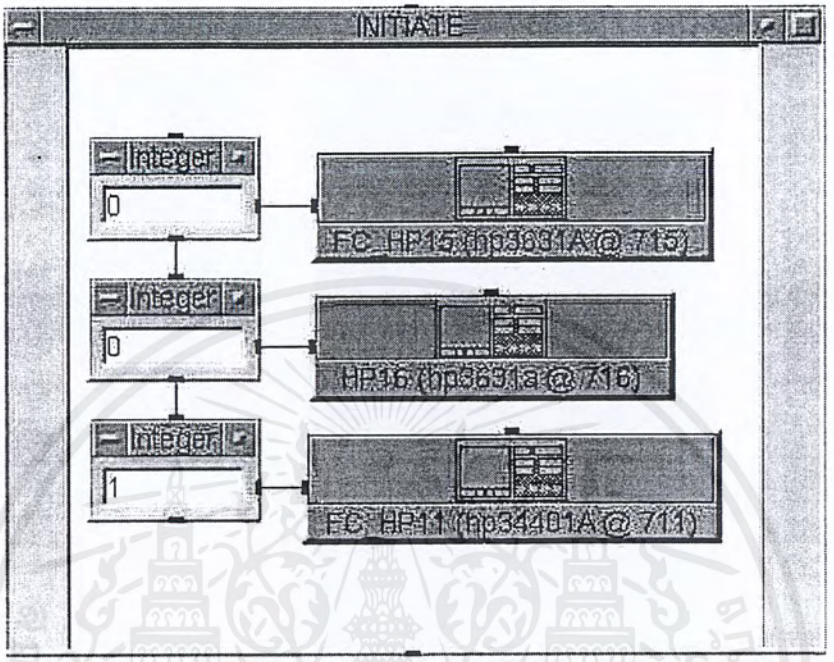
**4.7.12 การสร้างปุ่ม Reset** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.12

**4.7.13 การเชื่อมต่อ Sequence Pin**

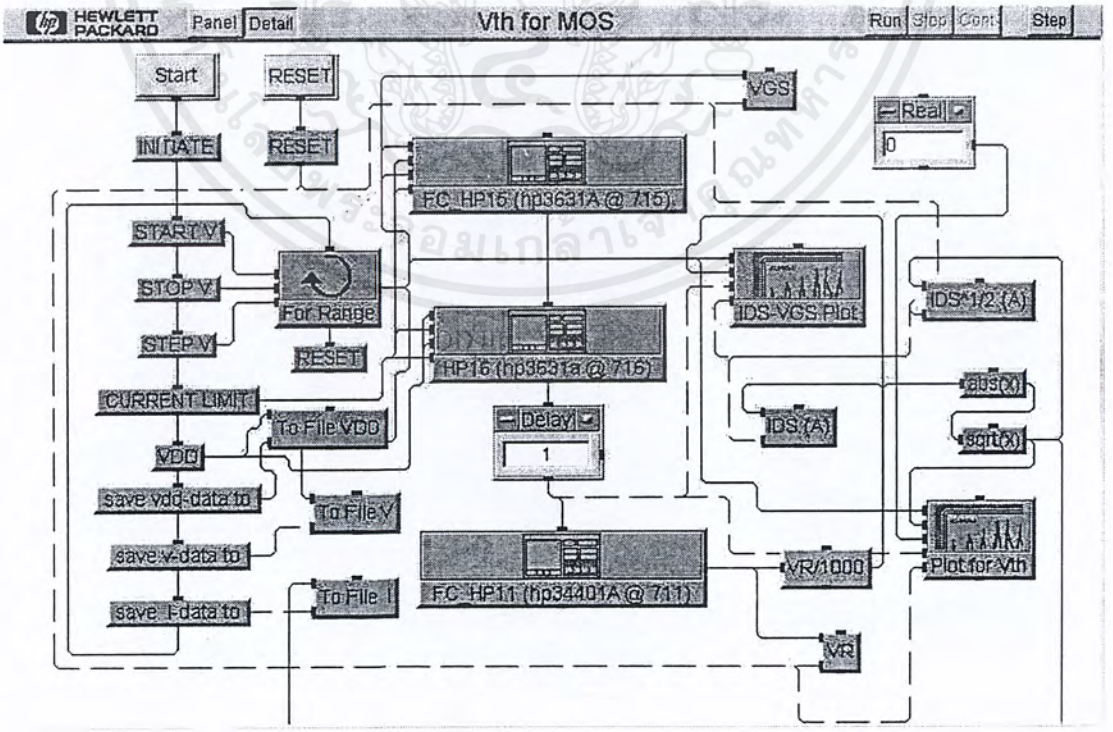
'Start'- button => 'Initiate'- box => 'Start V'- box => 'Stop V'- box => 'Step V'- box => 'Current Limit'- box => 'Vdd'-box =>'Save Vdd –data to' =>'Save V –data to' => 'Save I –data to' => 'For Range' –box => 'Reset' ดังแสดงในรูป 4.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.7.14 การ Design Panel** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.14 ดังแสดงในรูป 4.31

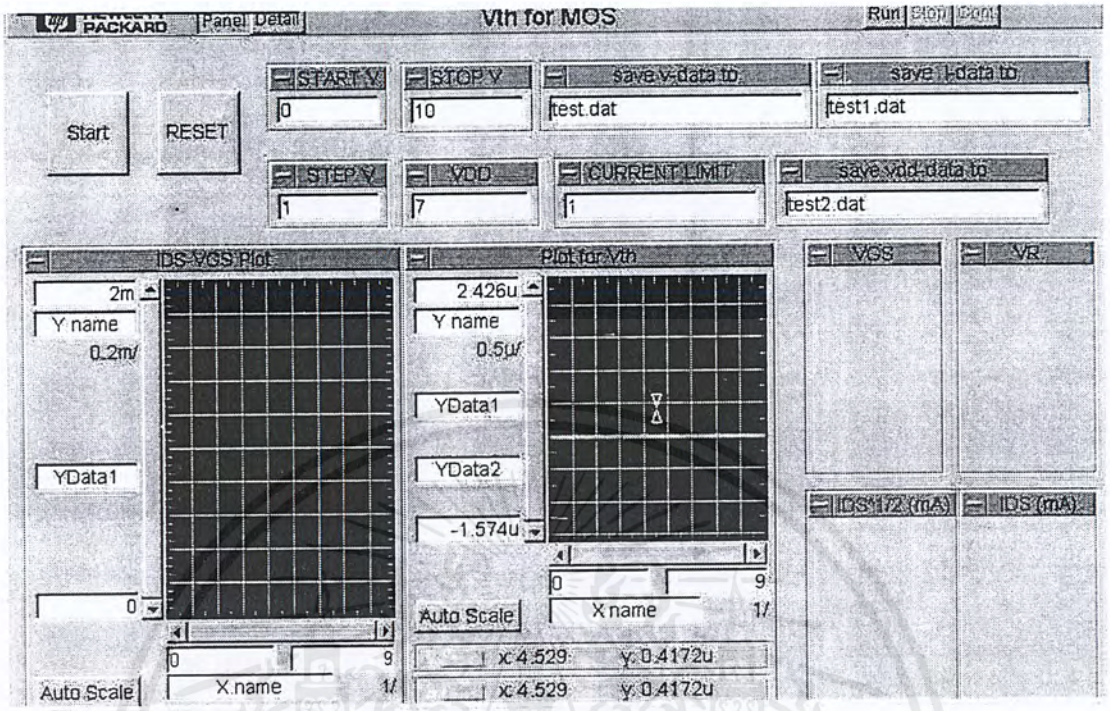



รูปที่ 4.29 การสร้างบล็อกกำหนดเงื่อนไขการทำงานของเครื่อง




รูปที่ 4.30 โปรแกรมที่เชื่อมต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.31 โปรแกรมสำหรับใช้งาน

## 4.8 การเขียนโปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสเฟต

การเขียนโปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดัน เป็นการเขียนโปรแกรมที่ใช้อุปกรณ์เหมือนกับการเขียนโปรแกรมวัดค่าแรงดันขีดเริ่ม แต่เปลี่ยน HP 715 เป็น VDD ที่เปลี่ยนค่าเป็น Range และ HP 716 เป็น VGS ที่มีค่าคงที่

**4.8.1 The Voltage Sweep**

เป็นการกำหนด Range ของแรงดัน เนื่องจากการวัดค่าแรงดันขีดเริ่มมีแหล่งจ่ายไฟ 2 ชุด คือ VDD และ VGS

VDD ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.1

VGS เป็นแหล่งจ่ายไฟที่มีค่าคงที่ โดยเลือกแหล่งจ่าย HP 716

**4.8.2 การส่งข้อมูลไปที่แหล่งจ่ายแรงดัน** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.2

VGS ต่อเชื่อมกับ HP 716 โดยตรง

**4.8.3 การอ่านข้อมูลจาก Multimeter** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.3

**4.8.4 การใช้ Delay** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.4

**4.8.5 การพล็อตกราฟ I-V Curve** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.5

**4.8.6 การนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ไฟล์** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

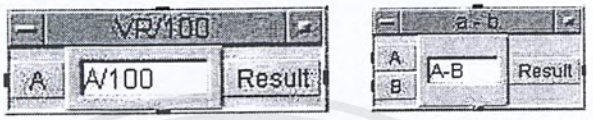
**4.8.7 การสร้าง Input Boxes** ไว้เก็บชื่อไฟล์ ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.7

**4.8.8 การแสดงค่าที่วัดได้** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.8

เปลี่ยนชื่อเป็น VDD , VR , VDS , IDS

**4.8.9 การสร้างบล็อกคำนวณค่า** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.9

เปลี่ยนการคำนวณค่าเป็น A/100 , A-B ดังแสดงในรูป 4.32




รูปที่ 4.32 การสร้างบล็อกคำนวณค่า

**4.8.10 การกำหนดการเริ่มต้นทำงานของอุปกรณ์** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.7.10

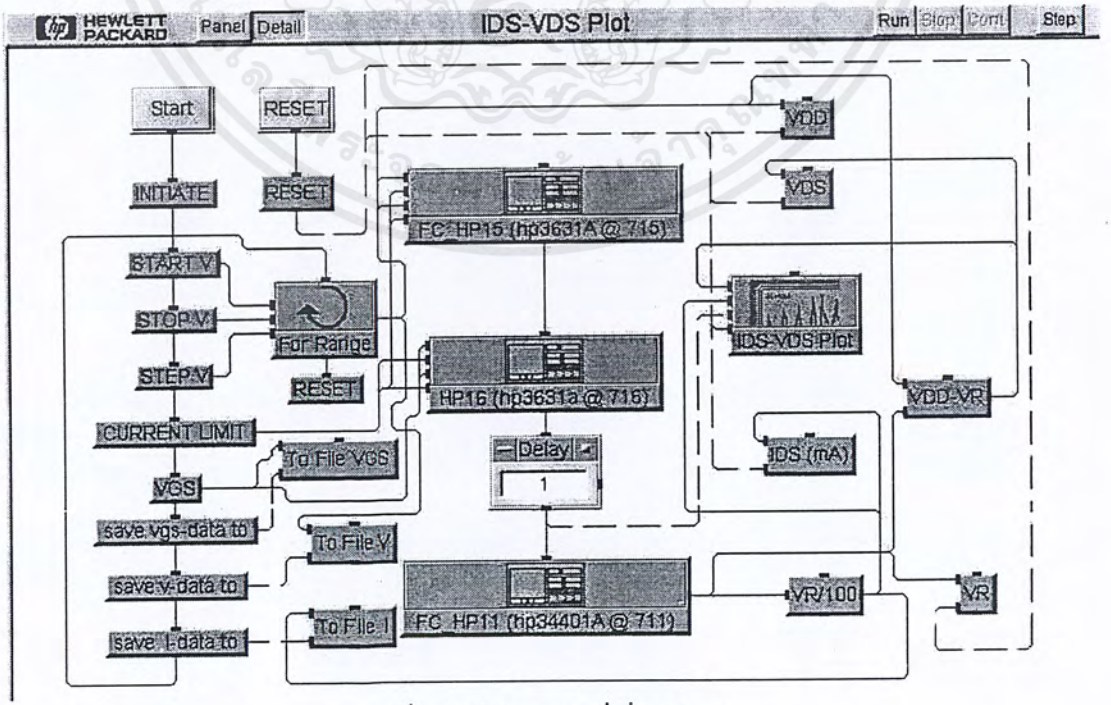
**4.8.11 การสร้างปุ่ม Start** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.11

**4.8.12 การสร้างปุ่ม Reset** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.12

**4.8.13 การเชื่อมต่อ Sequence Pin**

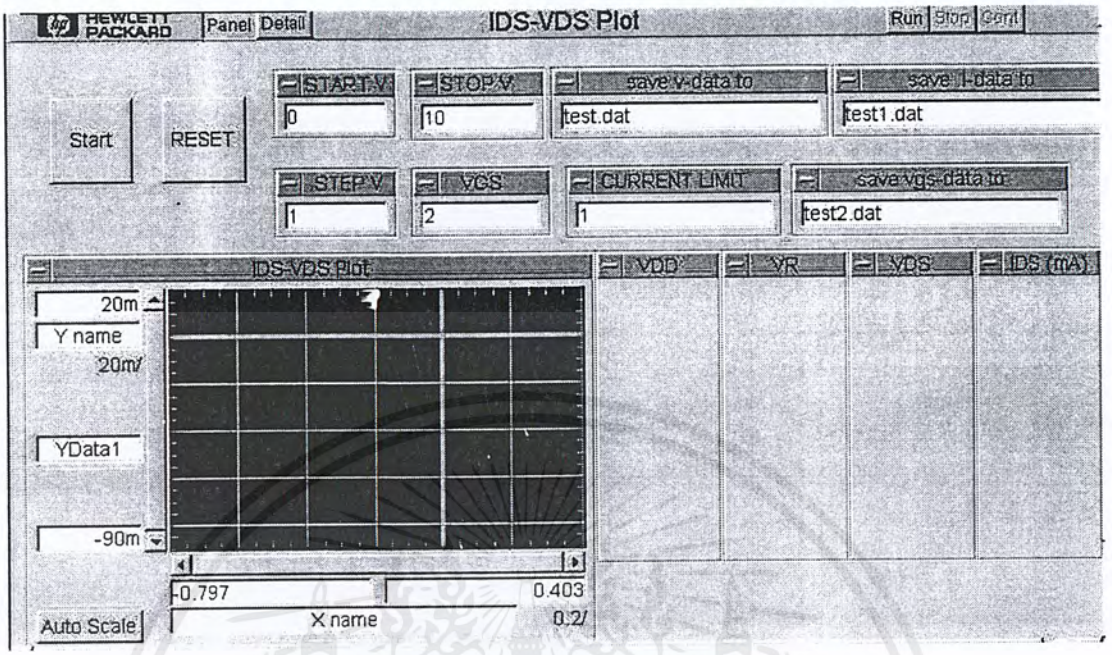
'Start'- button => 'Initiate'- box => 'Start V'- box => 'Stop V'- box => 'Step V'- box => 'Current Limit'- box => 'Vgs'-box =>'Save Vgs–data to' =>'Save V –data to' => 'Save I –data to' => 'For Range' –box => 'Reset' ดังรูป 4.33

**4.8.14 การ Design Panel** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.14 ดังแสดงในรูป 4.34




รูปที่ 4.33 โปรแกรมที่เชื่อมต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.34 โปรแกรมสำหรับใช้งาน

## 4.9 การเขียนโปรแกรมวัดมอสเฟตแบบแบ็กเกทไบอัส

การเขียนโปรแกรมวัดมอสแบบแบ็กเกทไบอัส เป็นโปรแกรมที่วัดค่ากระแสและแรงดันของมอสที่มีลักษณะคล้ายกับแบบวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสในหัวข้อที่ 4.7 โดยเพิ่มแรงดัน VBS ขึ้นอีก 1 ชุด ที่ HP 716

**4.9.1 The Voltage Sweep**

เป็นการกำหนด Range ของแรงดัน เนื่องจากการวัดค่าแรงดันขีดเริ่มมีแหล่งจ่ายไฟ 2 ชุด คือ VDD และ VGS

VGS ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.1

VDD เป็นแหล่งจ่ายไฟที่มีค่าคงที่ โดยเลือกแหล่งจ่าย HP 716

VBS เป็นแหล่งจ่ายไฟที่มีค่าคงที่ โดยเลือกแหล่งจ่าย HP 716

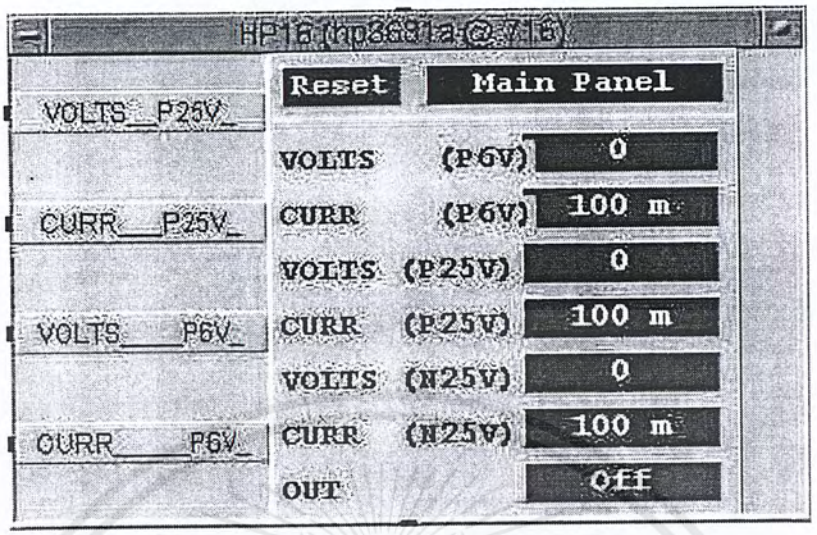
**4.9.2 การส่งข้อมูลไปที่แหล่งจ่ายแรงดัน** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.2

VDD ต่อเชื่อมกับ HP 716 โดยตรง

VBS ต่อเชื่อมกับ HP 716 โดยตรง

เพิ่มแรงดันชุด 6 volts ของ HP 716 ให้เป็น VBS ดังแสดงในรูป 4.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.35 แหล่งจ่ายแรงดัน ที่ HP 716

**4.9.3 การอ่านข้อมูลจาก Multimeter** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.3

**4.9.4 การใช้ Delay** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.4

**4.9.5 การพล็อตกราฟ I-V Curve** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.7.5

**4.9.6 การนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ไฟล์** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.6

**4.9.7 การสร้าง Input Boxes** ไว้เก็บชื่อไฟล์ ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.7

**4.9.8 การแสดงค่าที่วัดได้** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.8

เปลี่ยนชื่อเป็น VGS , VR , IDS^1/2 , IDS

**4.9.9 การสร้างบล็อกคำนวณค่า** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.7.9

**4.9.10 การกำหนดการเริ่มต้นทำงานของอุปกรณ์** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.7.10

**4.9.11 การสร้างปุ่ม Start** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.11

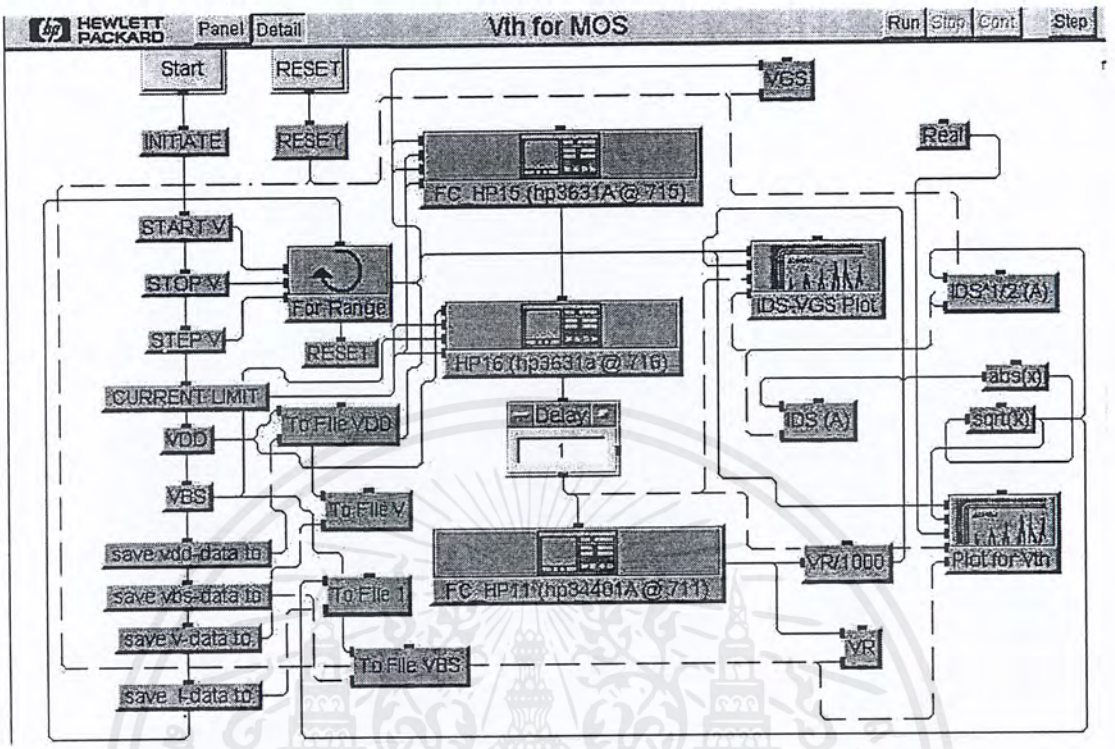
**4.9.12 การสร้างปุ่ม Reset** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.12

**4.9.13 การเชื่อมต่อ Sequence Pin**

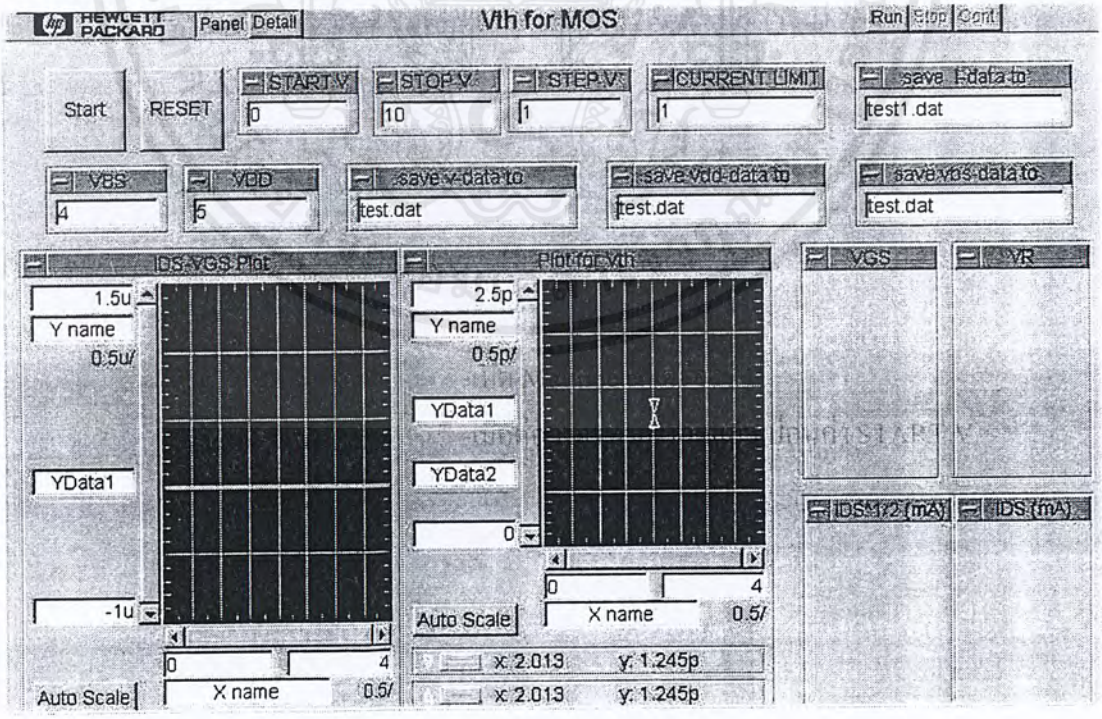
'Start'- button => 'Initiate'- box => 'Start V'- box => 'Stop V'- box => 'Step V'- box => 'Current Limit'- box => 'Vdd'-box =>'Vbs'-box =>'Save Vdd –data to'=>'Save Vbs –data to' =>'Save V –data to' => 'Save I –data to' => 'For Range' –box => 'Reset' ดังแสดงในรูป 4.36

**4.9.14 การ Design Panel** ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.14 ดังแสดงในรูป 4.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.36 โปรแกรมที่เชื่อมต่อกัน



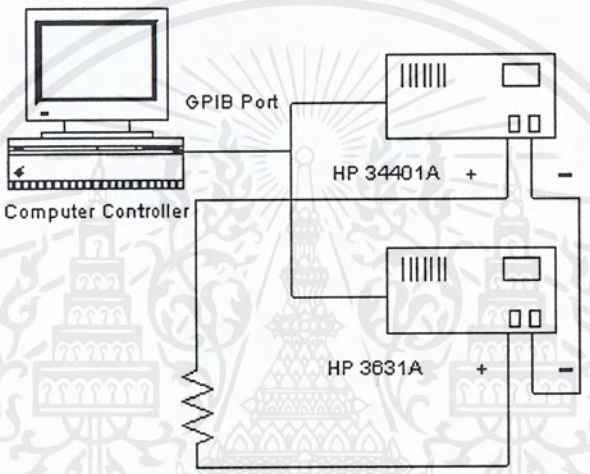

รูปที่ 4.37 โปรแกรมสำหรับใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# การทดสอบโปรแกรมในการวัดอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

## 5.1 การใช้โปรแกรมวัดค่าอุปกรณ์ความต้านทาน

เป็นการวัดอุปกรณ์ประเภทความต้านทาน ซึ่งจะคำนวณหาค่าความต้านทานออกมาเป็นหน่วยโอห์ม โดยการต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 5.1




รูปที่ 5.1 การต่ออุปกรณ์ที่เข้ากับชุดเครื่องมือ

เข้าโปรแกรมโดย START => PROGRAMS => EVALUATION

-เลือกโปรแกรม Project1.vee

-เปิด Power Supply เครื่อง 15

-เปิด Multimeter เครื่อง 11

-เมื่อต่อวงจรทำการวัดแล้ว ป้อนค่า START V

-ป้อนค่า STOP V

ค่าที่ป้อน START V จะต้องมีค่าน้อยกว่า STOP V มีหน่วยเป็น VOLTS

-ป้อนค่า STEP V เพื่อต้องการให้ Supply ป้อนออกมาเป็นค่าทีละ STEP

-ป้อนค่า Current Limit เพื่อป้องกันอุปกรณ์เสียหาย มีหน่วยเป็น VOLTS

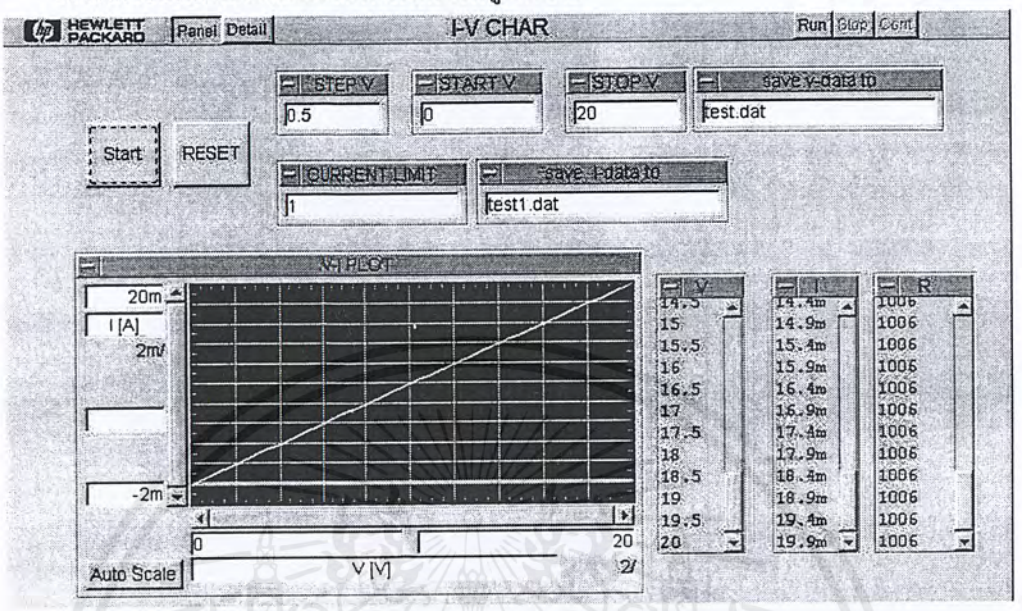
-ใส่ไฟล์ ที่ต้องการ save ในช่อง Save V-data to และ Save I-data t

ไฟล์ที่ใส่ต้องเป็น FILENAME.DAT

-กดปุ่ม START

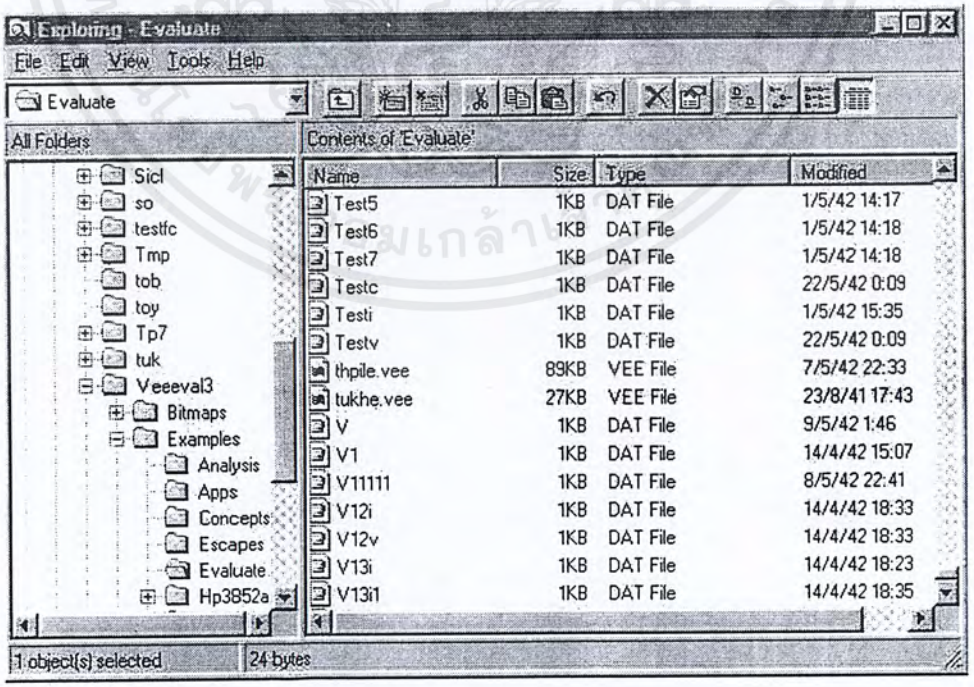
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ค่าออกมาตามตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 5.2




รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการวัด

การตรวจดูไฟล์ที่ใช้ในการ save สามารถเข้าไปดูได้ใน Veeval3 => Examples => Evaluate แล้วเลือก ไฟล์ที่ save ไว้ เปิดดูใน word ดังแสดงในรูปที่ 5.3

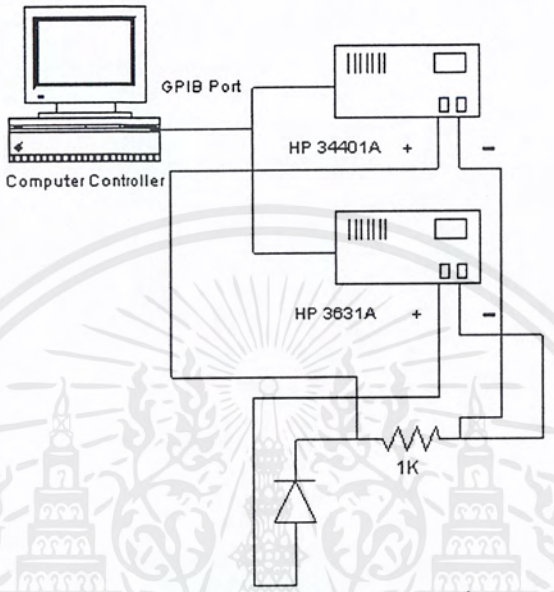



รูปที่ 5.3 ชื่อไฟล์ที่ใช้เก็บในการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การใช้โปรแกรมวัดค่าอุปกรณ์ไดโอด

เป็นการวัดอุปกรณ์ประเภทไดโอด ซึ่งจะคำนวณหาค่าไดโอดออกมาโดยการนำเอาค่าที่ได้จากการอ่านจากแหล่งจ่ายลบกับแรงดันจากตัวต้านทาน โดยการต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 5.4




รูปที่ 5.4 การต่ออุปกรณ์เข้ากับชุดเครื่องมือ

เข้าโปรแกรมโดย START => PROGRAMS => EVALUATION

-เลือกโปรแกรม Project2.vee

-เปิด Power Supply เครื่อง 15

-เปิด Multimeter เครื่อง 11

-เมื่อต่อวงจรทำการวัดแล้ว ป้อนค่า START V

-ป้อนค่า STOP V

ค่าที่ป้อน START V จะต้องมีค่าน้อยกว่า STOP V มีหน่วยเป็น VOLTS

-ป้อนค่า STEP V เพื่อต้องการให้ Supply ป้อนออกมาเป็นค่าทีละ STEP

-ป้อนค่า Current Limit เพื่อป้องกันอุปกรณ์เสียหาย มีหน่วยเป็น VOLTS

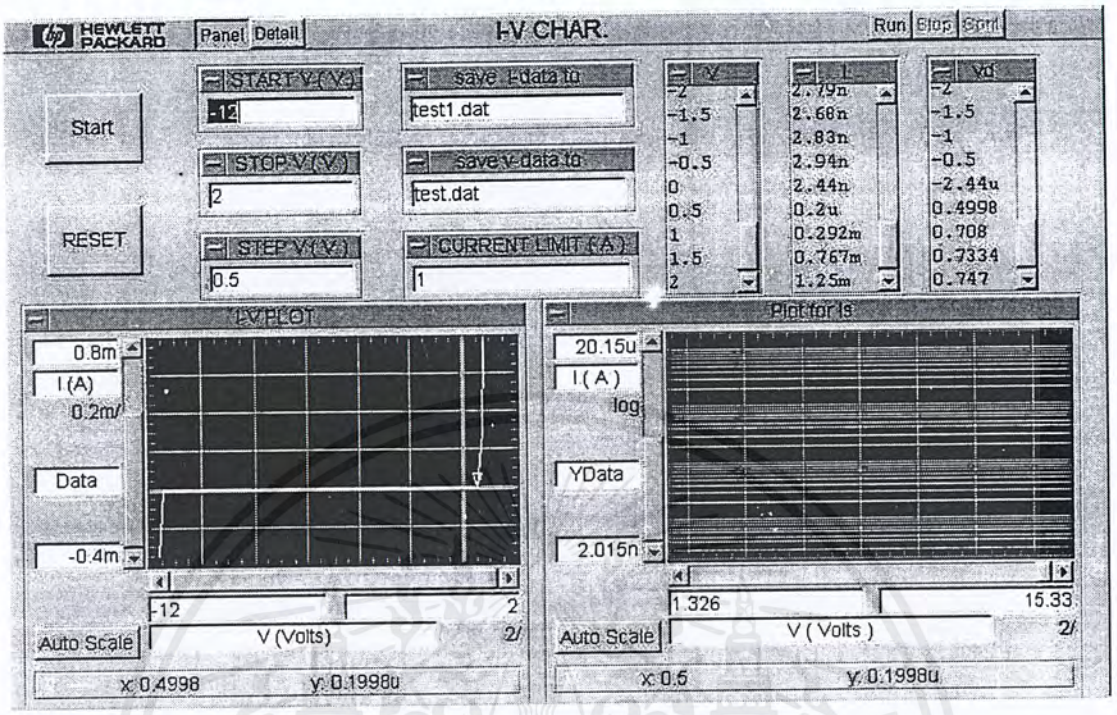
-ใส่ไฟล์ที่ต้องการ save ในช่อง Save V-data to และ Save I-data to

ไฟล์ที่ใส่ต้องเป็น FILENAME.DAT

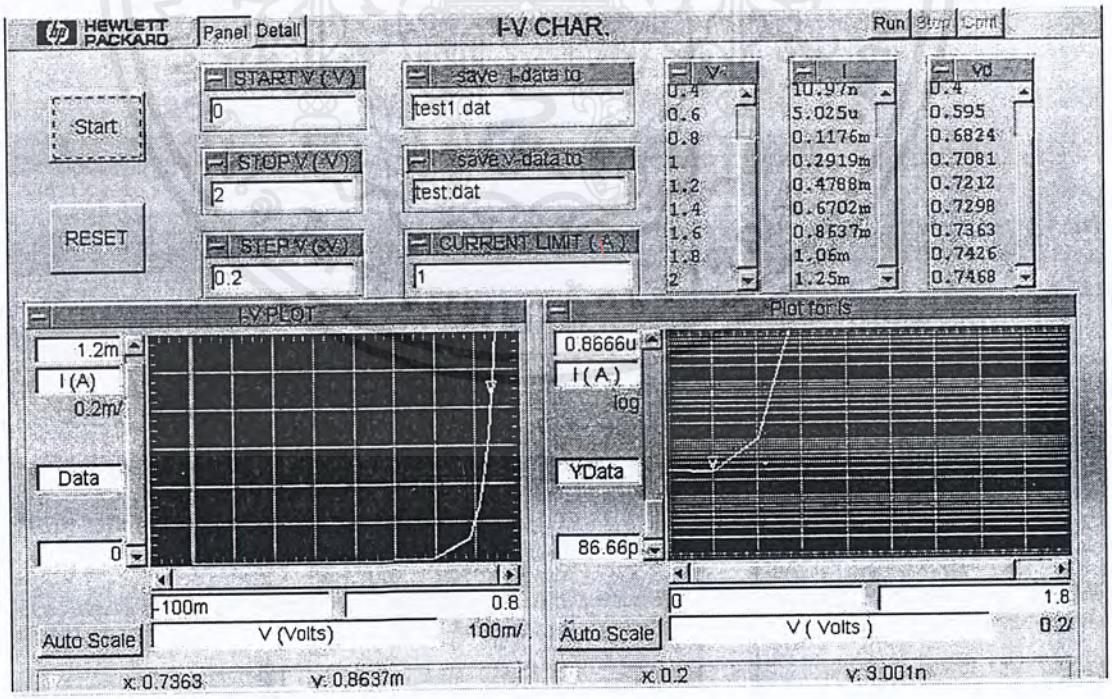
-กดปุ่ม START

การวัดออกมาทางด้านไบอัสกลับและไบอัสตรงพร้อมกัน ทำได้โดยเมื่อถึงค่าศูนย์แล้วกด stop จากนั้นทำการเปลี่ยนขั้วแหล่งจ่ายไฟ ทำการวัดต่อโดยกด continue จะได้ค่าออกมาตามตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

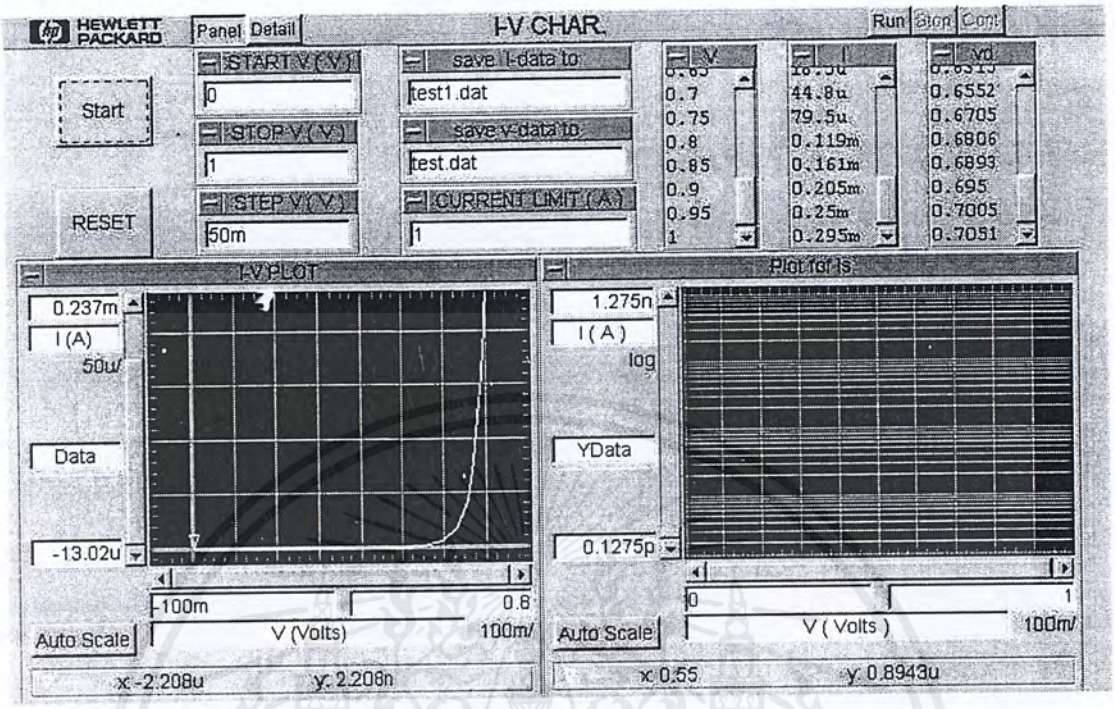



รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการวัด

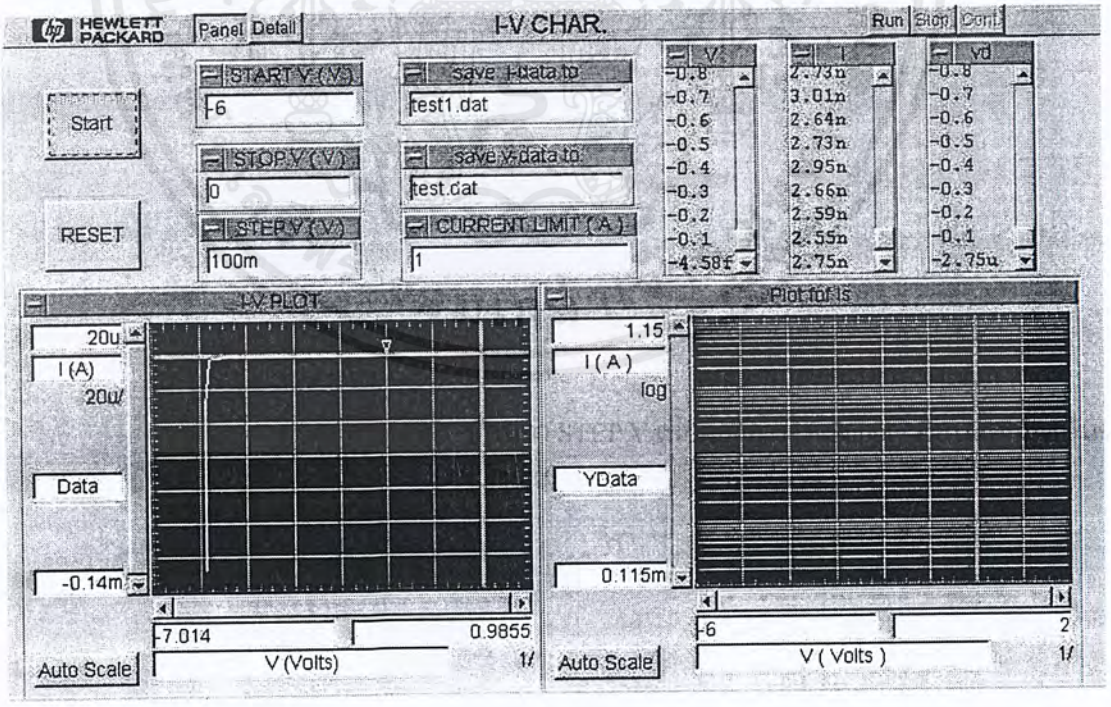



รูปที่ 5.6 ตัวอย่างการวัดการหาค่า Is

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 5.7 การวัดในช่วงไบอัสตรงของซีเนอร์ไดโอด เบอร์ 1N5233

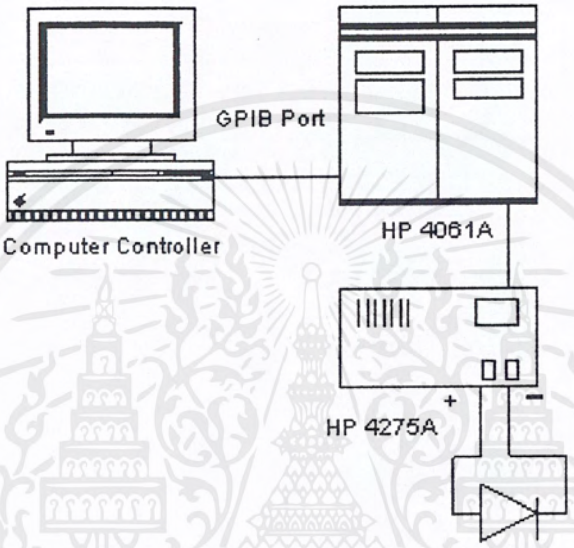



รูปที่ 5.8 การวัดในช่วงไบอัสกลับของซีเนอร์ไดโอด เบอร์ 1N5233

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.3 การใช้โปรแกรมวัดค่าความจุไฟฟ้าของไดโอด

เป็นการวัดอุปกรณ์ประเภทไดโอด ซึ่งจะหาค่าความจุไฟฟ้าไดโอดออกมา โดยการป้อนแรงดันไบอัสกลับให้กับไดโอดนำ โดยการต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 5.9




รูปที่ 5.9 การต่ออุปกรณ์เข้ากับชุดเครื่องมือ

เข้าโปรแกรมโดย START => PROGRAMS => EVALUATION

-เลือกโปรแกรม Project3.vee

-เปิดเครื่อง HP 4061A

-เมื่อต่อวงจรทำการวัดแล้ว ป้อนค่า Lower Limit

-ป้อนค่า STEP V เพื่อต้องการให้ Supply ป้อนออกมาเป็นค่าทีละ STEP

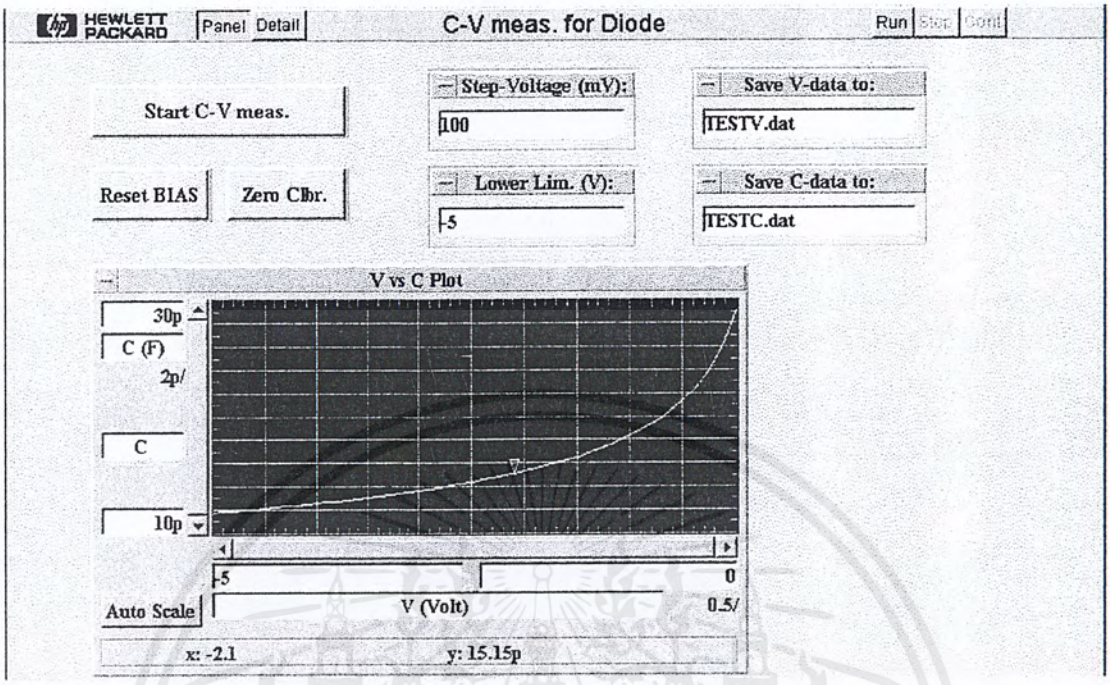
-ใส่ไฟล์ที่ต้องการ save ในช่อง Save V-data to และ Save I-data to

ไฟล์ที่ใส่ต้องเป็น FILENAME.DAT

-กดปุ่ม zero calibration

-กดปุ่ม start ดังแสดงในรูป 5.10

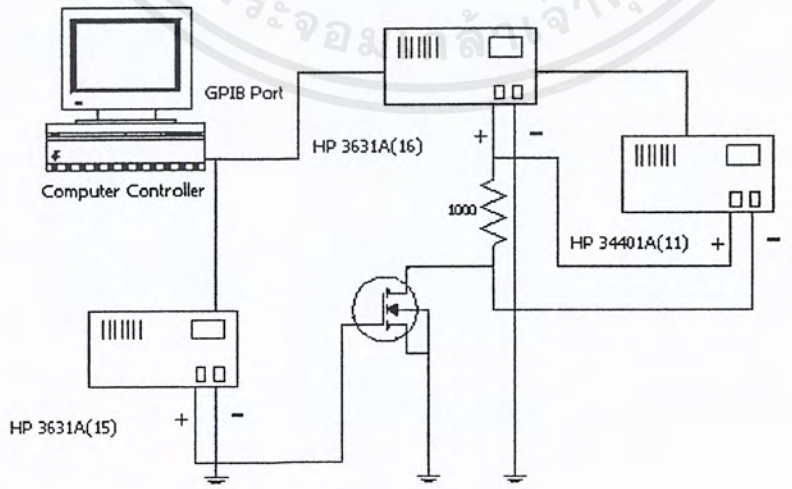
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 5.10 ตัวอย่างการวัด

## 5.4 การใช้โปรแกรมวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟต

เป็นการวัดอุปกรณ์ประเภทมอส ซึ่งจะแสดงค่าแรงดันขีดเริ่มโดยการนำเอาค่าที่ได้จากการอ่านจาก Multimeter มาพล็อตเป็นกราฟ โดยการต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 5.11




รูปที่ 5.11 การต่ออุปกรณ์เข้ากับชุดเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าโปรแกรมโดย START => PROGRAMS => EVALUATION

-เลือกโปรแกรม Project4.vee

-เปิด Power Supply เครื่อง 15,16

-เปิด Multimeter เครื่อง 11

-เมื่อต่อวงจรทำการวัดแล้ว ป้อนค่า START V

-ป้อนค่า STOP V

ค่าที่ป้อน START V จะต้องมีค่าน้อยกว่า STOP V มีหน่วยเป็น VOLTS

-ป้อนค่า STEP V เพื่อต้องการให้ Supply ป้อนออกมาเป็นค่าทีละ STEP

-ป้อนค่า VDD

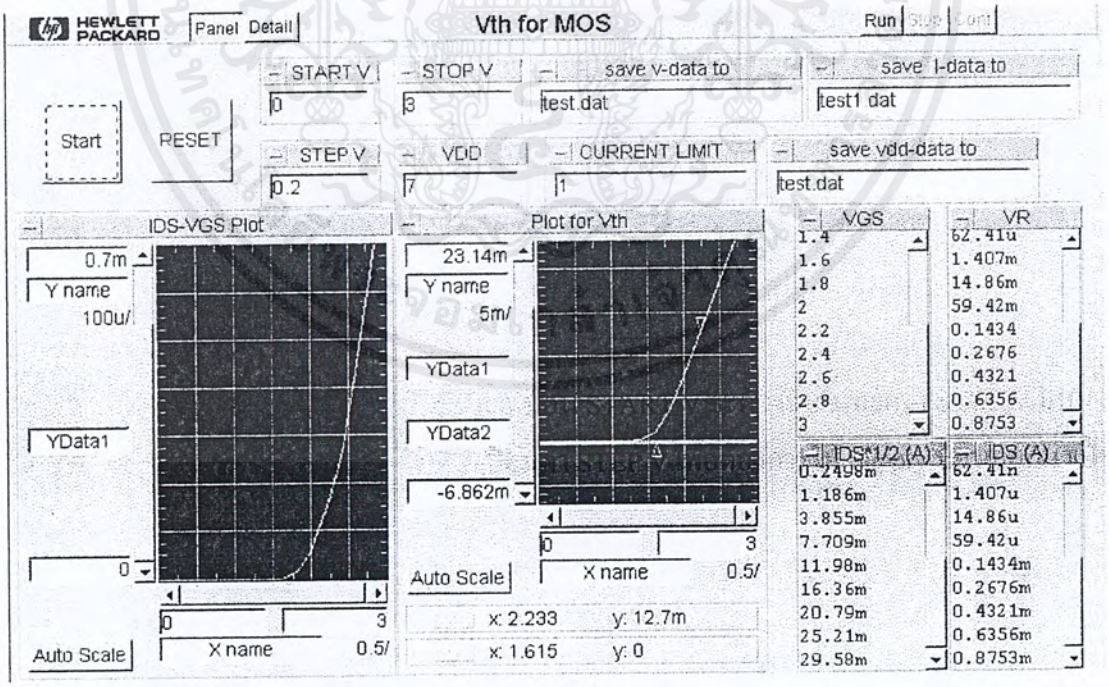
-ป้อนค่า Current Limit เพื่อป้องกันอุปกรณ์เสียหาย มีหน่วยเป็น VOLTS

-ใส่ไฟล์ที่ต้องการ save ในช่อง Save V-data to และ Save I-data to

ไฟล์ที่ใส่ต้องเป็น FILENAME.DAT

-กดปุ่ม START

จะได้ค่าออกมาตามตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 5.12

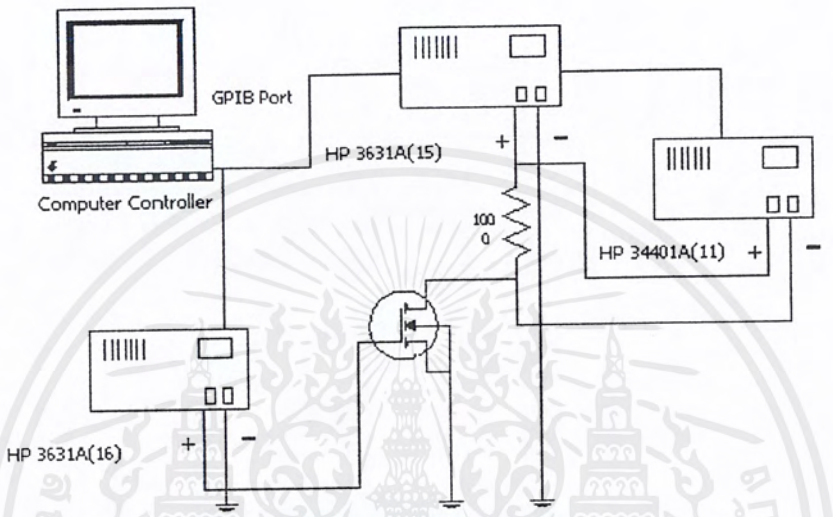



รูปที่ 5.12 ตัวอย่างการวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟต เบอร์ 4007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.5 การใช้โปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสเฟต

เป็นการวัดอุปกรณ์ประเภทมอส ซึ่งจะแสดงค่าแรงดันและกระแส โดยการนำเอาค่าที่ได้จากการอ่านจาก Multimeter มาพล็อตเป็นกราฟ โดยการต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 5.13




รูปที่ 5.13 การต่ออุปกรณ์เข้ากับชุดเครื่องมือ

เข้าโปรแกรมโดย START => PROGRAMS => EVALUATION

-เลือกโปรแกรม Project5.vee

-เปิด Power Supply เครื่อง 15,16

-เปิด Muliimeter เครื่อง 11

-เมื่อต่อวงจรทำการวัดแล้ว ป้อนค่า START V

-ป้อนค่า STOP V

ค่าที่ป้อน START V จะต้องมีค่าน้อยกว่า STOP V มีหน่วยเป็น VOLTS

-ป้อนค่า STEP V เพื่อต้องการให้ Supply ป้อนออกมาเป็นค่าทีละ STEP

-ป้อนค่า VGS

-ป้อนค่า Current Limit เพื่อป้องกันอุปกรณ์เสียหาย มีหน่วยเป็น VOLTS

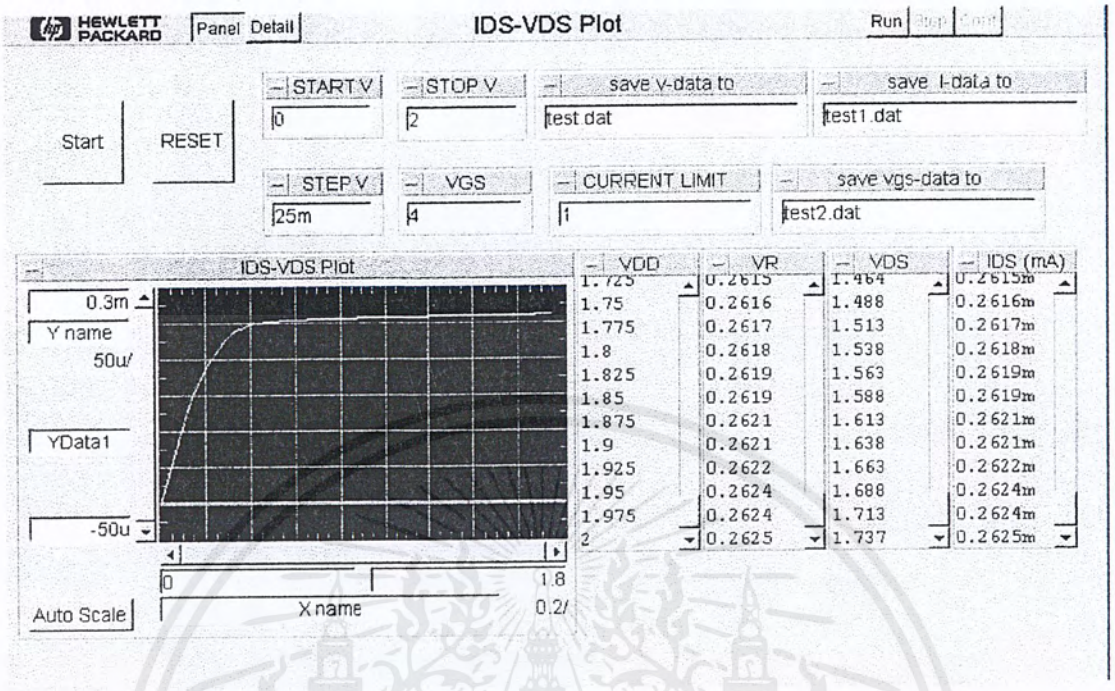
-ใส่ไฟล์ที่ต้องการ save ในช่อง Save V-data to และ Save I-data to

ไฟล์ที่ใส่ต้องเป็น FILENAME.DAT

-กดปุ่ม START

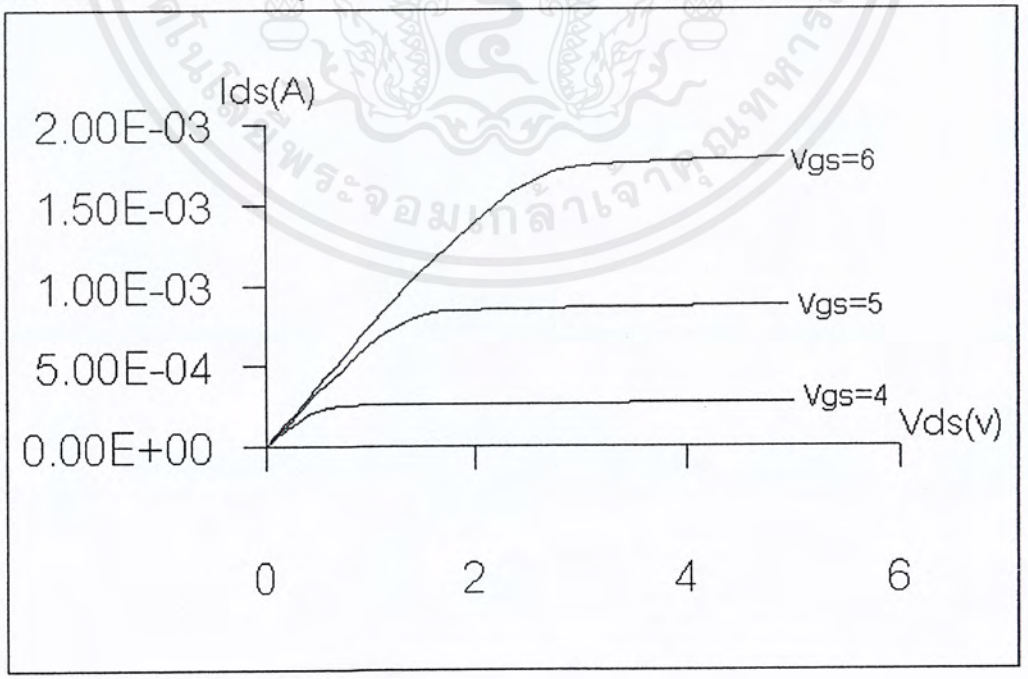
จะได้ค่าออกมาตามตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 5.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 5.14 ตัวอย่างการวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสเฟต เบอร์ 4007

ถ้าต้องการวัดค่า VGS หลายๆค่า ทำได้โดยการวัดค่าแล้วเก็บไฟล์ในการวัดแต่ละครั้งไปพล็อตใน EXCEL ดังแสดงในรูป 5.15

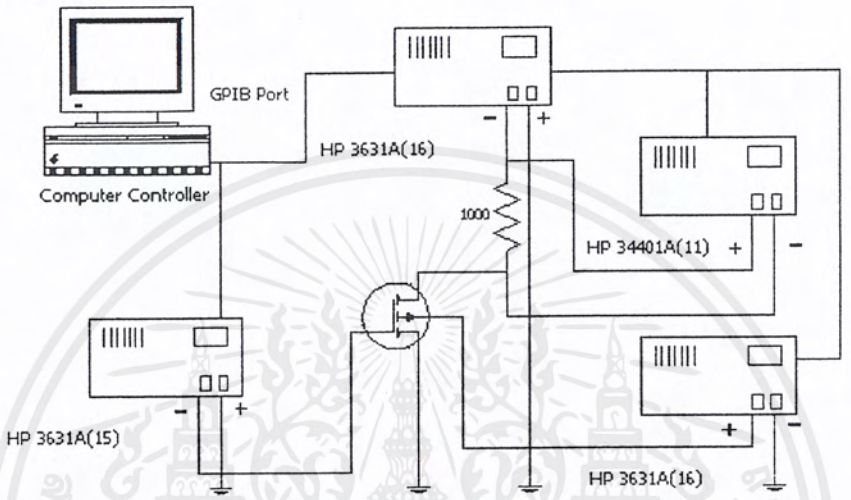



รูปที่ 5.15 กราฟที่ได้จากการพล็อตใน Excel ที่ VGS ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.6 การใช้โปรแกรมวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟตแบบแบ็คเกทไบอัส

เป็นการวัดอุปกรณ์ประเภทมอส ซึ่งจะแสดงค่าแรงดันขีดเริ่ม เมื่อมีการต่อแบบแบ็กเกทไบอัสโดยการนำเอาค่าที่ได้จากการอ่านจาก Multimeter มาพล็อตเป็นกราฟ โดยการต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 5.16




รูปที่ 5.16 การต่ออุปกรณ์เข้ากับชุดเครื่องมือ

เข้าโปรแกรมโดย START => PROGRAMS => EVALUATION

-เลือกโปรแกรม Project6.vee

-เปิด Power Supply เครื่อง 15,16

-เปิด Muliimeter เครื่อง 11

-เมื่อต่อวงจรทำการวัดแล้ว ป้อนค่า START V

-ป้อนค่า STOP V

ค่าที่ป้อน START V จะต้องมีค่าน้อยกว่า STOP V มีหน่วยเป็น VOLTS

-ป้อนค่า STEP V เพื่อต้องการให้ Supply ป้อนออกมาเป็นค่าทีละ STEP

-ป้อนค่า VDD

-ป้อนค่า VBS

-ป้อนค่า Current Limit เพื่อป้องกันอุปกรณ์เสียหาย มีหน่วยเป็น VOLTS

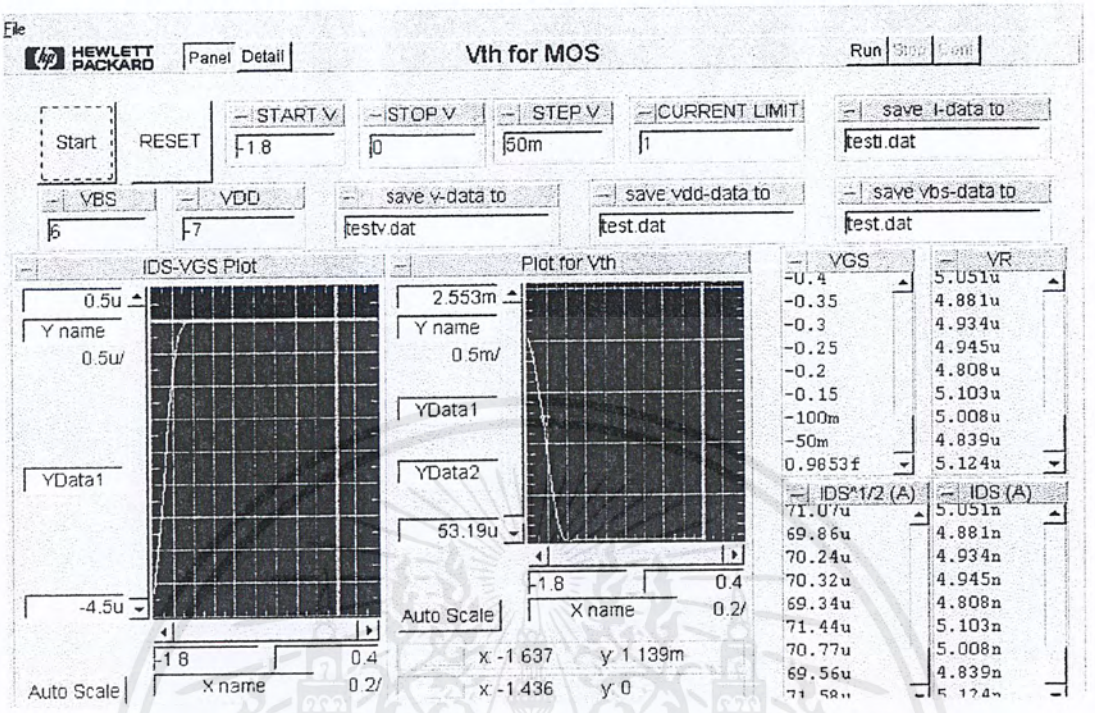
-ใส่ไฟล์ที่ต้องการ save ในช่อง Save V-data to และ Save I-data to

ไฟล์ที่ใส่ต้องเป็น FILENAME.DAT

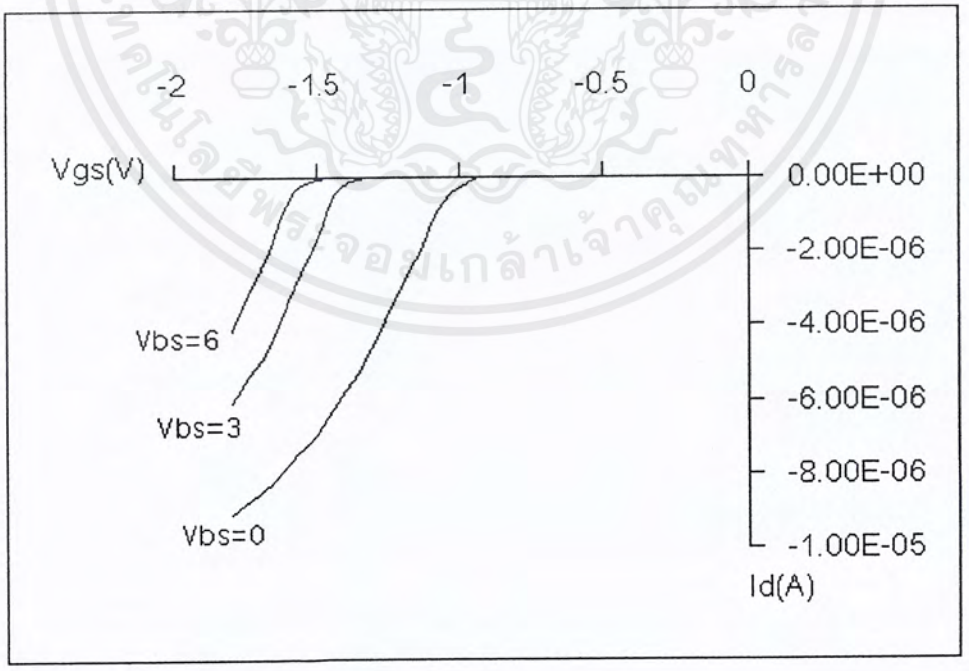
-กดปุ่ม START

จะได้ค่าออกมาตามตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 5.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 5.17 ตัวอย่างการวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟต เบอร์ 4007 แบบแบ็กเกทไบอัส




รูปที่ 5.18 กราฟที่ได้จากการพล็อตใน Excel ที่ค่าแรงดันแบ็กเกทไบอัสต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# สรุปและวิจารณ์

## 6.1 สรุป

รายงานเล่มนี้ได้กล่าวถึงการเขียนโปรแกรม HP VEE Evaluation เพื่อใช้ในการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวต้านทาน ไดโอดและมอสเฟต ชนิด N- Channel โดยมีโปรแกรมที่ใช้ในการวัดทั้งหมด 6 โปรแกรม ที่จะสามารถควบคุมเครื่องมือวัดได้ โดยใช้โปรแกรม HP VEE Evaluation ควบคุมผ่าน GPIB bus ซึ่งสามารถสรุปแต่ละโปรแกรมได้ดังนี้ คือ

โปรแกรมที่หนึ่ง เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับวัดคุณสมบัติระหว่างกระแสและแรงดัน ของตัวต้านทาน ในการวัดนั้นจะใช้อุปกรณ์เครื่องมือวัด คือ แหล่งจ่ายแรงดัน (Power supply) และดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital multimeter) ซึ่งในการวัดนั้น จะเป็นการวัดทั้งในช่วงแรงดันลบและช่วงแรงดันบวก ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดค่าให้แหล่งจ่ายแรงดัน จ่ายแรงดันทั้งแรงดันบวกและแรงดันลบ และต้องมีการกำหนดค่าให้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดเป็นกระแส DC เมื่อได้ทำการวัดและนำมา พล็อตกราฟแล้ว จากกราฟสามารถนำมาคำนวณหาค่าความต้านทาน (R) ได้โดยใช้สมการ E=I*R จากการทดลองนั้น จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานที่คำนวณได้นั้นจะมีค่าประมาณ 1kΩ ซึ่งตรงกับค่าความต้านทานที่ใช้ในการทดลอง

โปรแกรมที่สอง เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติระหว่างกระแสและแรงดัน ของไดโอด เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวัดจะใช้แหล่งจ่ายแรงดัน (Power supply) และดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital multimeter) เช่นเดียวกับโปรแกรมแรก และต้องกำหนดให้แหล่งจ่ายแรงดันจ่ายแรงดันทั้งบวกและลบ แต่กำหนดให้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าเป็นแรงดันไฟตรง

ในการวัดโดยการให้ไบอัสตรงนั้น จะต้องวัดแรงดันที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน ($V_R$) ซึ่งในการทดลองนั้นใช้โหลดตัวต้านทาน 1kΩ จะได้ว่า $V_F = V_S - V_R$ แรงดันที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน ($V_R$) นั้นจะนำมาคำนวณหาค่ากระแสโดย $I_F = V_R / R$ และในการวัดในช่วงไบอัสกลับนั้นก็ทำเช่นเดียวกับไบอัสตรง เพียงแต่กลับขั้วไดโอดเท่านั้น โดยจะนำค่าที่คำนวณได้นี้นำมาพล็อตเป็นกราฟคุณสมบัติระหว่างกระแสและแรงดันของไดโอด จากกราฟสามารถที่จะหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญอื่นๆ ได้อีก เช่น Built in voltage (Vbi) เป็นแรงดันที่ไดโอดเริ่มนำกระแส และเมื่อนำเอาค่าที่คำนวณได้นั้นมาพล็อตในกราฟ log โดยทำให้สเกลของกระแสเป็นสเกล log แล้วนำมาพล็อตจะได้ค่าของกระแสอิ่มตัวย้อนกลับ ( $I_S$ ) โดยประมาณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่สาม เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวัดค่าความจุไฟฟ้าที่รอยต่อพี-เอ็น ของไดโอด โดยในการวัดค่าความจุไฟฟ้าที่รอยต่อนี้ จะใช้เครื่องมือวัด HP 4275 A และในการวัดค่าความจุไฟฟ้าที่รอยต่อจะทำการวัดในช่วงไบอัสกลับเท่านั้น ดังสมการ

$$C_J = \frac{\varepsilon}{d_p + d_n} \quad \text{.....(3.6)}$$

จากสมการ (3.6) จะเห็นได้ว่าเมื่อรอยต่อได้รับไบอัสตรง ค่า $d_p+d_n$ จะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นค่าความจุไฟฟ้าที่รอยต่อจะมีค่ามากจนไม่สามารถวัดได้

โปรแกรมที่สี่ เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวัดเพื่อหาค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage ; $V_T$) ของมอสเฟต ในการวัดจะใช้เครื่องมือวัด คือ แหล่งจ่ายแรงดัน 2 ชุด คือ แรงดันเกท- ซอส ($V_{GS}$) แรงดันเดรน ($V_{DD}$) และดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าเป็นแรงดันไฟตรง โดยให้ $V_{DD}$ มีค่าคงที่ และทำการวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน ($V_R$) โดยใช้โหลดตัวต้านทาน 1 kΩ และให้โปรแกรมคำนวณหาค่ากระแส $I_D$ โดยที่ $I_D = V_R / R$ จากนั้นจะนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{I_D}$ กับ $V_{GS}$ ซึ่งจากกราฟ จะทำให้ทราบค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage ; $V_T$) ของมอสเฟต โดยจุดที่เส้นกราฟในช่วงเชิงเส้นตัดแกนแรงดันเกท – ซอส ($V_{GS}$) จะประมาณได้ว่าเป็นค่าแรงดันขีดเริ่ม

โปรแกรมที่ห้า เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวัด เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสเดรน ($I_D$) กับแรงดันเดรน-ซอส ($V_{DS}$) ซึ่งจะใช้เครื่องมือวัดคือแหล่งจ่ายแรงดัน 2 ชุด คือ แรงดันเกท- ซอส ($V_{GS}$), แรงดันเดรน ($V_{DD}$) และดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าเป็นแรงดันไฟตรง เช่นเดียวกับโปรแกรมวัดเพื่อหาค่าแรงดันขีดเริ่ม แต่โปรแกรมนี้จะให้ $V_{GS}$ มีค่าคงที่ ซึ่งในการวัดนั้นจะทำการวัดแรงดันคร่อมโหลดตัวต้านทาน($V_R$) ใช้โหลดตัวต้านทาน 100 Ω แล้วให้โปรแกรมคำนวณหาค่า $I_D$ และ $V_{DS}$ โดยที่ $I_D = V_R / R$ และ $V_{DS} = V_{DD} - V_R$ และนำมาพล็อกราฟคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรน ($I_D$) กับแรงดันเดรน- ซอส ($V_{DS}$) ที่ $V_{GS}$ ค่าต่างๆ

โปรแกรมที่หก เป็นโปรแกรมที่ใช้มอสเฟต โดยให้แบ็คเกทไบอัส (Back gate Bias ; $V_{BS}$) แก่มอสเฟต โปรแกรมนี้จะใช้แหล่งจ่ายแรงดันทั้งหมด 3 ชุด โดยทำการไบอัสที่ส่วนฐานรองของมอสเฟตอีกชุดหนึ่ง ($V_{BS}$) ซึ่งจะกำหนดให้ $V_{GS}$ และ $V_{BS}$ มีค่าคงที่ และในการวัดนั้นจะทำการวัดแรงดันคร่อมโหลดตัวต้านทาน ($V_R$) ใช้โหลดตัวต้านทานมีค่า 1 kΩ ให้โปรแกรมคำนวณหาค่ากระแสเดรน ($I_D$) โดย $I_D = V_R / R$ และจากนั้นนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{I_D}$ กับ $V_{GS}$ ซึ่งจากกราฟนั้นสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ว่าการแบ็คเกทไบอัส มีผลต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแรงดันขีดเริ่ม คือ เมื่อมีการให้ไบอัสที่ฐานรองของมอสเฟต ($V_{BS}$) ด้วยนั้น ค่าแรงดันขีดเริ่มจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแบ็คเกทไบอัส ($V_{BS}$) มีค่าเพิ่มขึ้น

## 6.2 เปรียบเทียบการวัดด้วยโปรแกรม HP VEE กับเครื่องวัดมาตรฐานของ ERC

โปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของไดโอด มีค่าเท่ากัน

โปรแกรมวัดหาค่าแรงดันขีดเริ่ม มีค่าต่างกันประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

โปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสเฟต มีค่าเท่ากัน

โปรแกรมวัดหาค่าแรงดันขีดเริ่มแบบแบ็กเกทไบอัส มีค่าเท่ากัน

## 6.3 ข้อจำกัดของโครงงานและแนวทางแก้ไข

เนื่องจากโปรแกรมเป็นโปรแกรมทดลอง ดังนั้นระยะเวลาของโปรแกรมจะถูกจำกัด การเก็บแฟ้มข้อมูลจะบันทึกได้เฉพาะไฟล์ Eval.vee เวลาที่ใช้ในการวัดแต่ละครั้งจะใช้เวลานาน เนื่องจากคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องรุ่นที่มีความเร็วต่ำ และการเริ่มต้นการวัดที่แหล่งจ่ายเท่ากับศูนย์ จะออกมาที่ค่าประมาณศูนย์

แนวทางแก้ไขทำได้โดย เปลี่ยนวันไม่ให้ครบกำหนดวันหมดอายุ การบันทึกแฟ้มข้อมูลจะบันทึกเป็นไฟล์ Eval.vee แล้วทำการเปลี่ยนชื่อใน Window Explorer แทนและต้องเก็บไฟล์ Eval.vee ไว้ด้วย เพราะการเข้าโปรแกรมจะสามารถเข้าได้เฉพาะไฟล์ Eval.vee การเพิ่มความไวในการใช้โปรแกรมทำได้โดย อัพเกรดเครื่องให้มีความเร็วสูงขึ้น และการเริ่มวัดแต่ละครั้งที่ค่าศูนย์ ค่าที่ใช้จริงจะต้องกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์

ข้อดีของโปรแกรม HP VEE Evaluation คือ สามารถที่จะพัฒนาโปรแกรมให้ทำการวัดได้ง่าย โดยออกแบบโปรแกรมให้ทำการวัดตามต้องการได้ นอกจากนี้โปรแกรม HP VEE Evaluation ยังเก็บข้อมูลที่ทำการวัดในแต่ละครั้งได้ ดังนั้นจึงเป็นการสะดวกอย่างยิ่งหากต้องการที่จะนำข้อมูลในการวัดแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบกัน หรือนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DESCRIPTION

The HEF4007UB is a dual complementary pair and an inverter with access to each device. It has three n-channel and three p-channel enhancement mode MOS transistors.

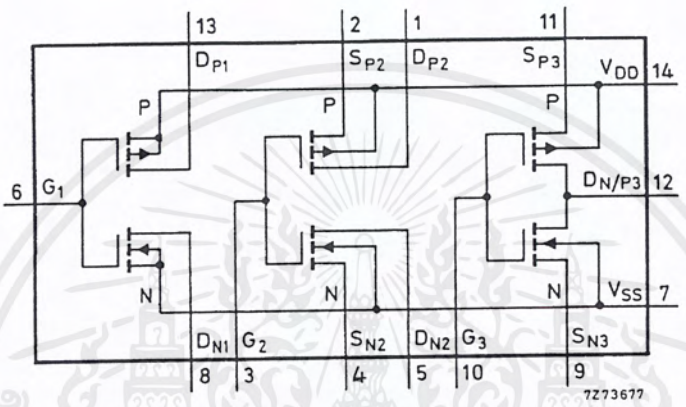



Fig.1 Schematic diagram.

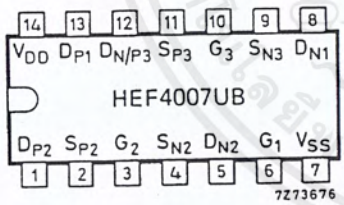



Fig.2 Pinning diagram.

## PINNING

| | |
|---|---|
| $S_{P2}$, $S_{P3}$ | source connections to 2nd and 3rd p-channel transistors |
| $D_{P1}$, $D_{P2}$ | drain connections from the 1st and 2nd p-channel transistors |
| $D_{N1}$, $D_{N2}$ | drain connections from the 1st and 2nd n-channel transistors |
| $S_{N2}$, $S_{N3}$ | source connections to the 2nd and 3rd n-channel transistors |
| $D_{N/P3}$ | common connection to the 3rd p-channel and n-channel transistor drains |
| $G_1$ to $G_3$ | gate connections to n-channel and p-channel of the three transistor pairs |

HEF4007UBP(N): 14-lead DIL; plastic (SOT27-1)

HEF4007UBD(F): 14-lead DIL; ceramic (cerdip) (SOT73)

HEF4007UBT(D): 14-lead SO; plastic (SOT108-1)

( ): Package Designator North America

## FAMILY DATA, $I_{DD}$ LIMITS category GATES

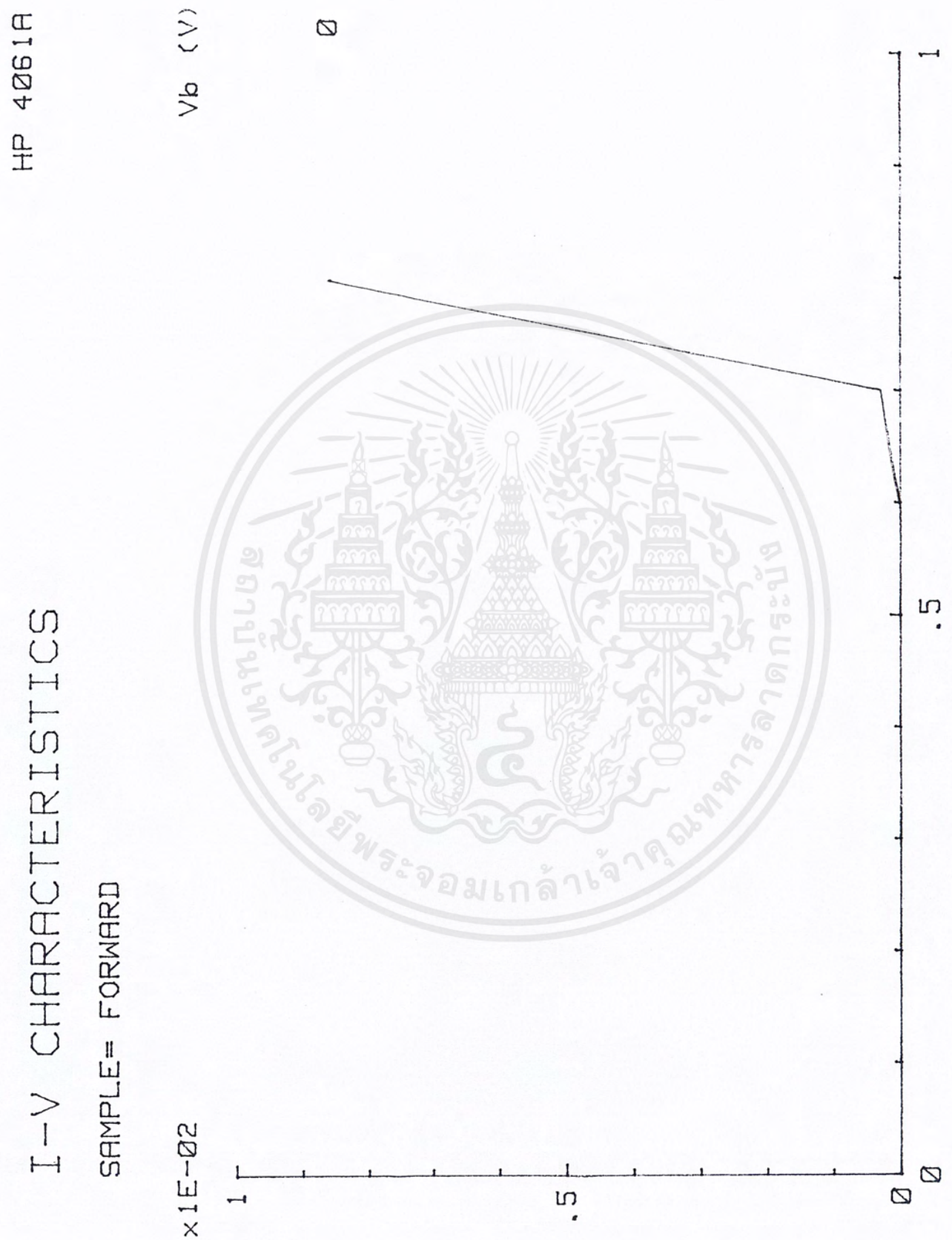
See Family Specifications for $V_{IH}/V_{IL}$ unbuffered stages



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

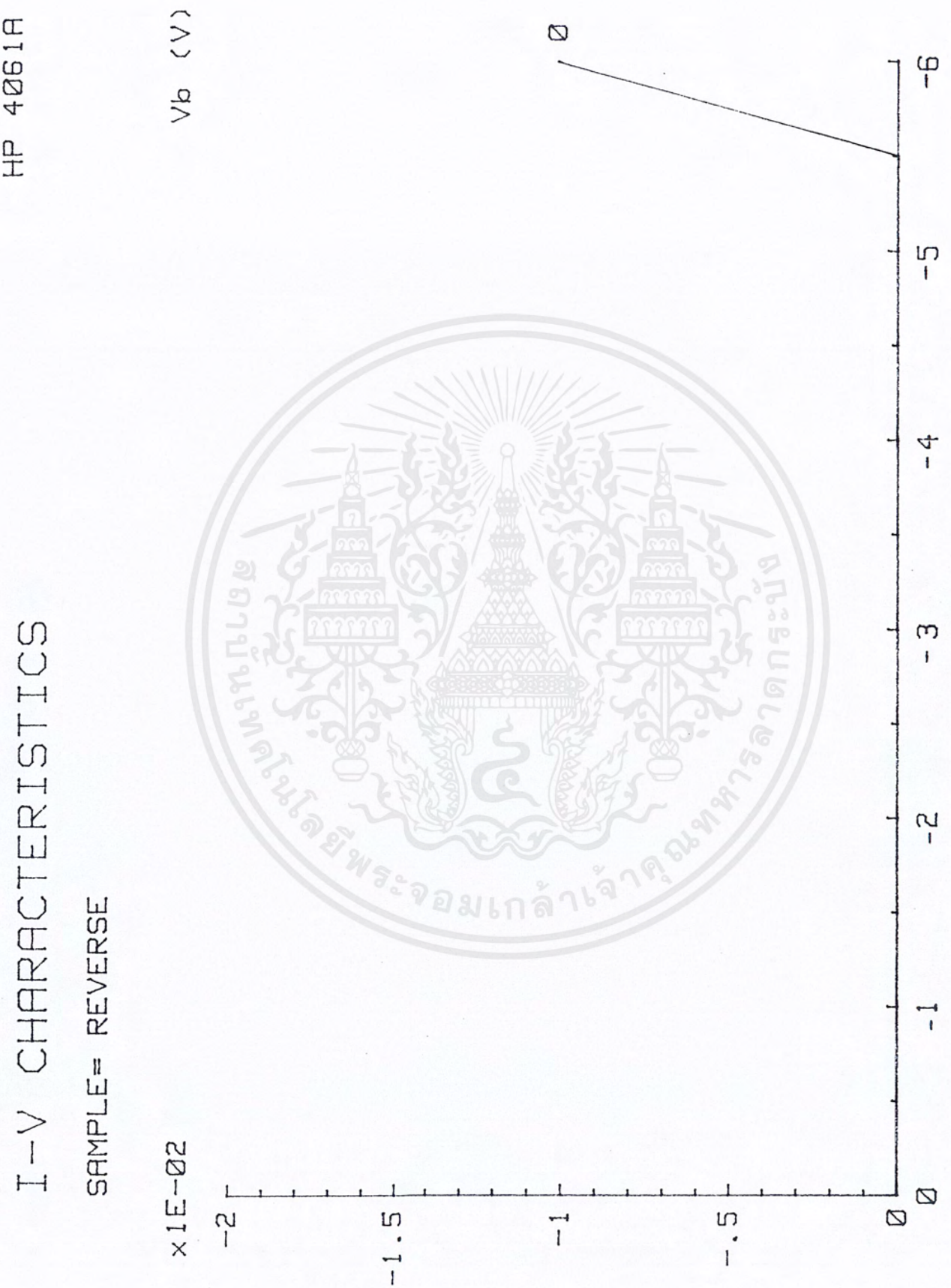
# ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



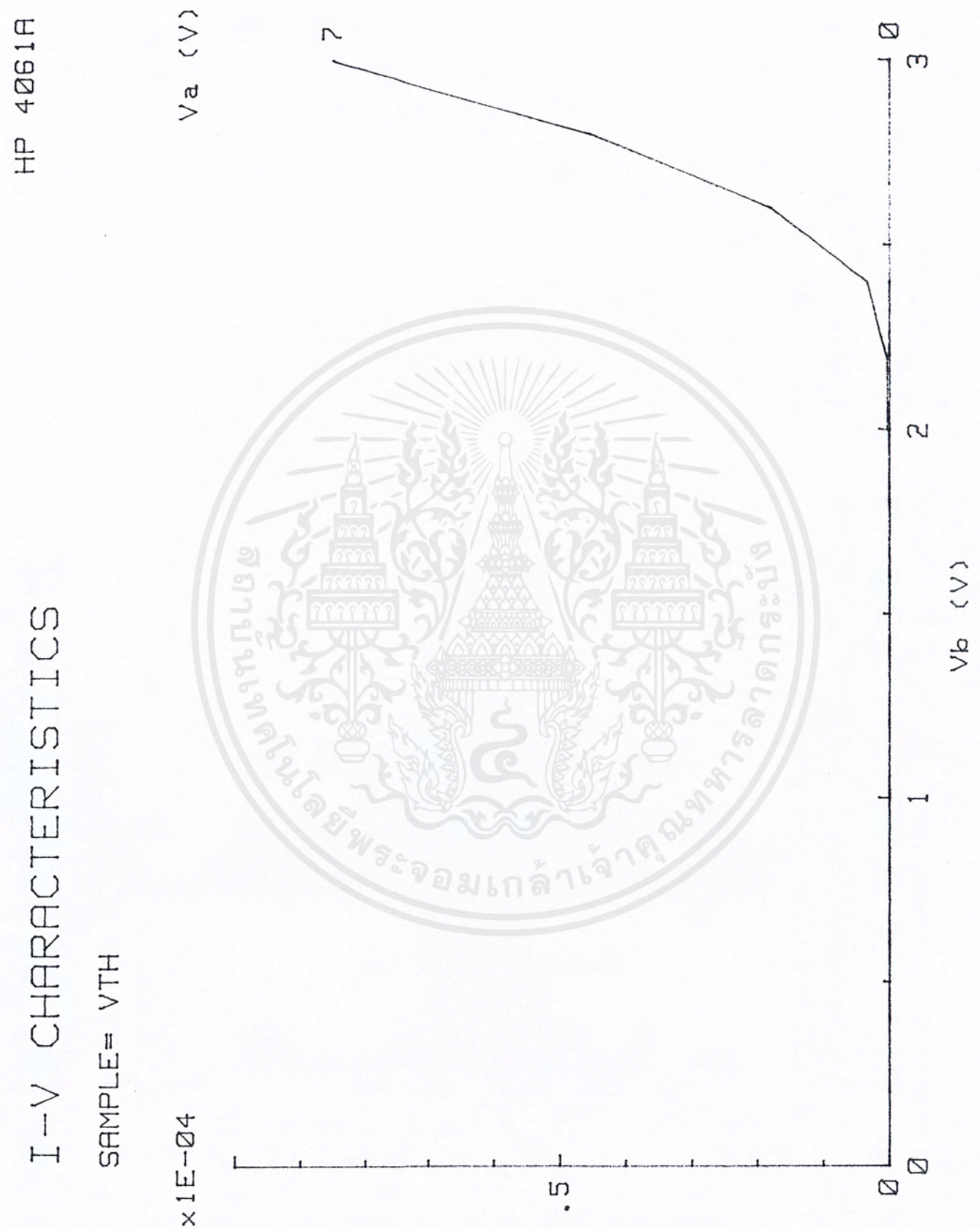

รูปที่ ข.1 การวัดในช่วงไบอัสตรงของซีเนอร์ไดโอด เบอร์ 1N5233 ด้วยเครื่อง HP 4061A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



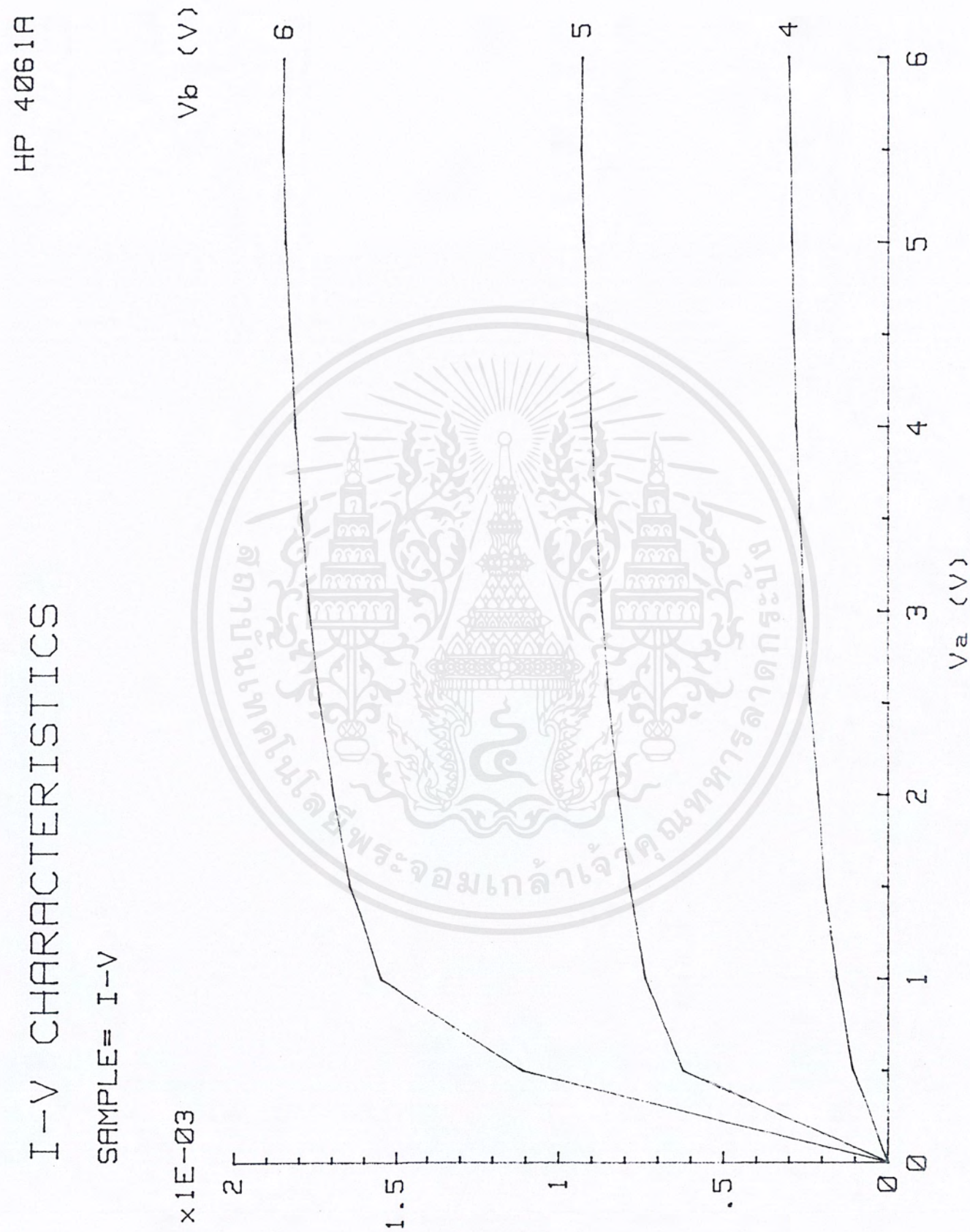

รูปที่ ข.2 การวัดในช่วงไบอัสกลับของซีเนอร์ไดโอด เบอร์ 1N5233 ด้วยเครื่อง HP 4061A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



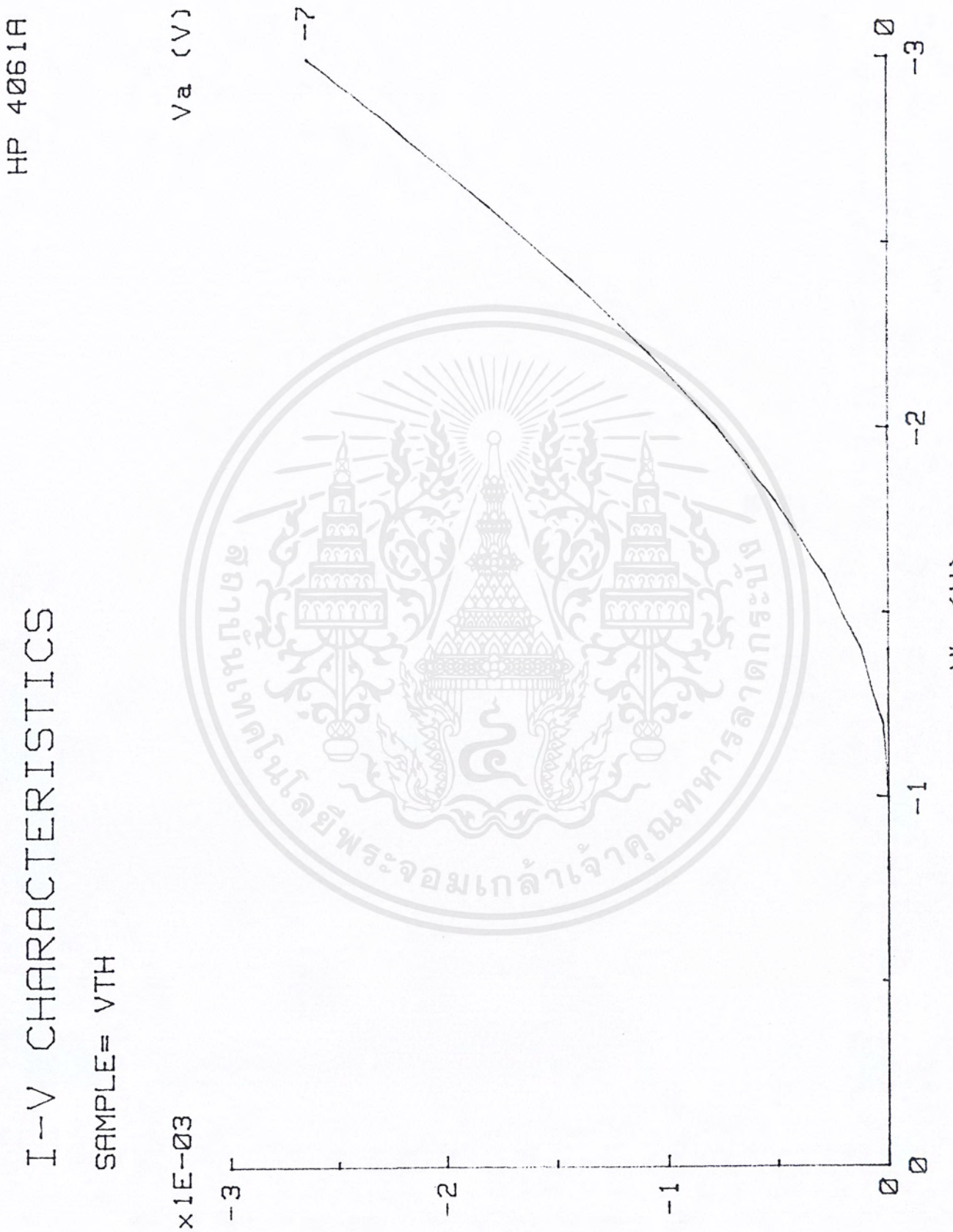

รูปที่ ข.3 ตัวอย่างการวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟต เบอร์ 4007 ด้วยเครื่อง HP 4061A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ ข.4 ตัวอย่างการวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสเฟต เบอร์ 4007 ด้วยเครื่อง HP 4061A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

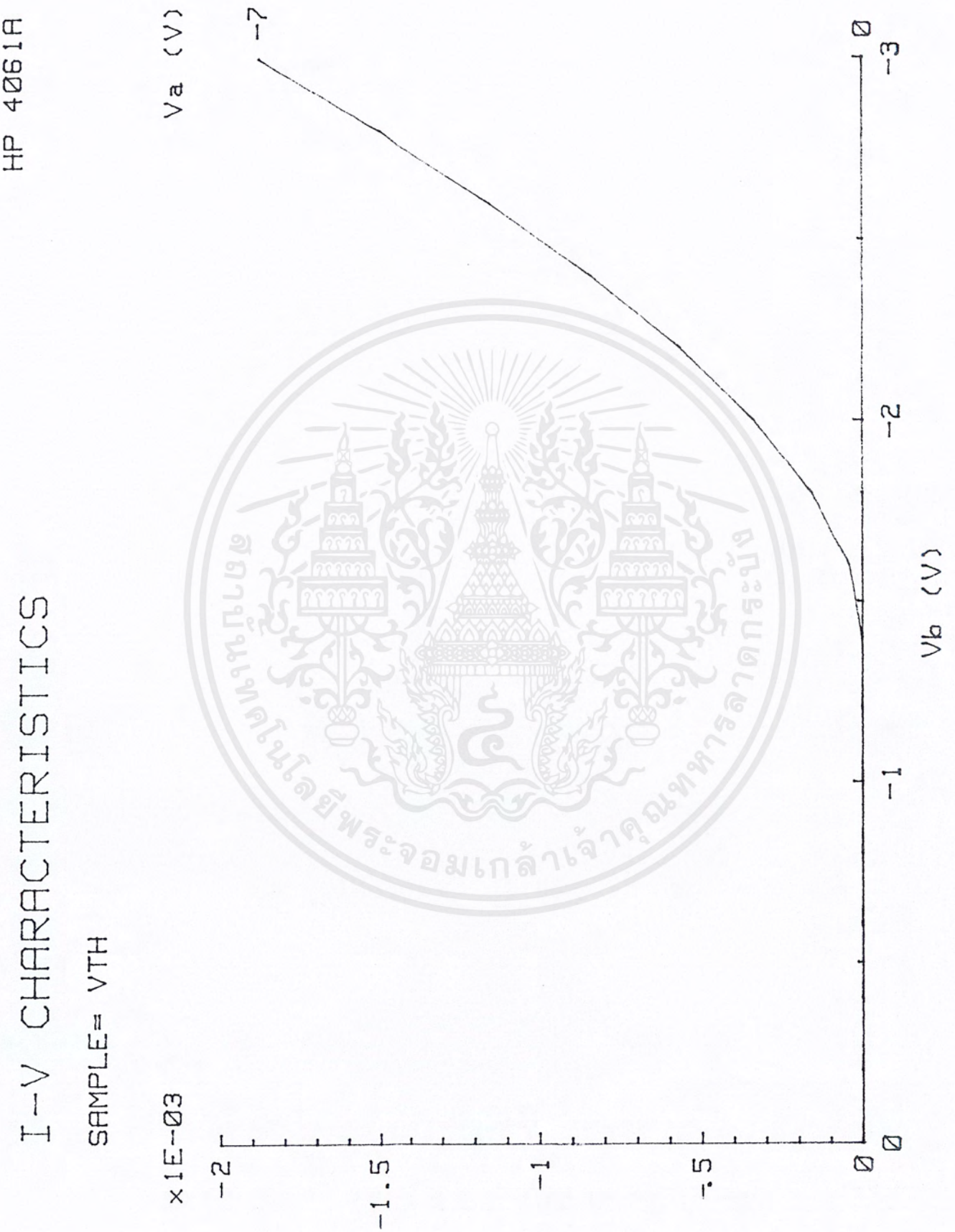



รูปที่ ข.5 การวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟตแบบแบ็กเกทไบอัสที่ค่า 0 โวลท์ เครื่อง HP 4061A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.6 การวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟตแบบแบ็กเกทไบอัสที่ค่า 3 โวลท์ เครื่อง HP 4061A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ ข.7 การวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟตแบบแบ็กเกทไบอัสที่ค่า 6 โวลท์ เครื่อง HP 4061A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

**ขอขอบคุณ**

- ท่านคณาจารย์ภาคอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้คำปรึกษา
- คุณ รังสรรค์ เมืองเหลือ ที่เป็นคนจัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำ
- คุณ สรายุทธ วิศาแสวงสุข ที่เป็นคนแนะนำในการทำ

วิทวัส บุญยู้

(นายวิทวัส บุญยู้)

ธเนศ โซะเหม

(นายธเนศ โซะเหม)

ผู้จัดทำ

วันที่ 11 / 01 / 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# หนังสืออ้างอิง


1) รศ.ดร. สมเกียรติ ศุภเดช, "สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ", พิมพ์ครั้งที่ 6, พ.ศ. 2536.
2) ยืน ภู่วรวรรณ, "ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์", พิมพ์ครั้งที่ 2, พ.ศ. 2525.
3) "เอกสารศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์", คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
4) "วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์", คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
5) Dewitt G. Ong, "Modern MOS Technology", Mcgraw-Hill Book Company, pp.91-92
6) Fredrik Claesson, "Development work on measurement instrumentation for thermopilebased flowsensor", KMITL, Thailand, 2540.
7) Hewlett Packard, "Exploring HP VEE", X/Open Company Limited, 1995.
8) Paolo Antonetti and Giuseppe Massobrio, "Semiconductor device modeling with spice", McGraw Hill compony, 1987.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้