

การวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอสทรานซิสเตอร์โดยใช้โปรแกรม

Agilent VEE Pro 6.0

Electrical Characterization of MOS Transistor by Agilent VEE Pro 6.0



โดย
นาย รัชฎมิ พรรณสุข
นาย สุวัฒน์ อินทุประภา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...50325...
วัน,เดือน,ปี 29 ต.ย. 2547

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถ้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดไปการศึกษา 2545 อย่างไรก็ดีเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอสทรานซิสเตอร์โดยใช้โปรแกรม

Agilent VEE Pro 6.0

Electrical Characterization of MOS Transistor by Agilent VEE Pro 6.0

โดย

นาย รัชฎภูมิ พรรณสุข 43515905

นาย สุวัฒน์ อินทุประภา 43515941

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้ในวงจำกัดเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2545

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอสทรานซิสเตอร์โดยใช้โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0

ผู้จัดทำ

1. นายรัชฎภูมิ พรรณสุข
2. นายสุวัฒน์ อินทุประภา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอสทรานซิสเตอร์โดยใช้โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0

นาย ชัฒภูมิ พรรณสุข

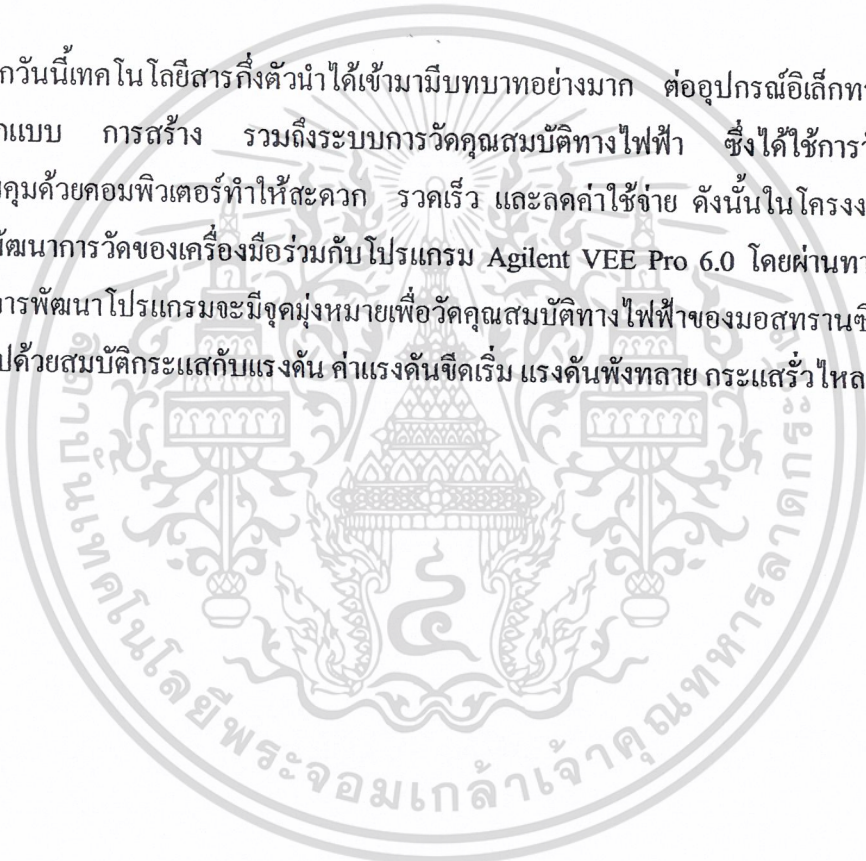
นาย สุวัฒน์ อินทุประภา

ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

ในทุกวันนี้เทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำได้เข้ามามีบทบาทอย่างมาก ต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทั้งในการออกแบบ การสร้าง รวมถึงระบบการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งได้ใช้การวัดแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ทำให้สะดวก รวดเร็ว และลดค่าใช้จ่าย ดังนั้นในโครงการนี้จึงนำเสนอการพัฒนาการวัดของเครื่องมือร่วมกับโปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0 โดยผ่านทางการ์ด GPIB โดยการพัฒนาโปรแกรมจะมีจุดมุ่งหมายเพื่อวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอสทรานซิสเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วยสมบัติกระแสกับแรงดัน ค่าแรงดันขีดเริ่ม แรงดันพังทลาย กระแสรั่วไหล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characterization of MOS Transistor by Agilent VEE Pro 6.0

Mr. Thatpoom Phansuk

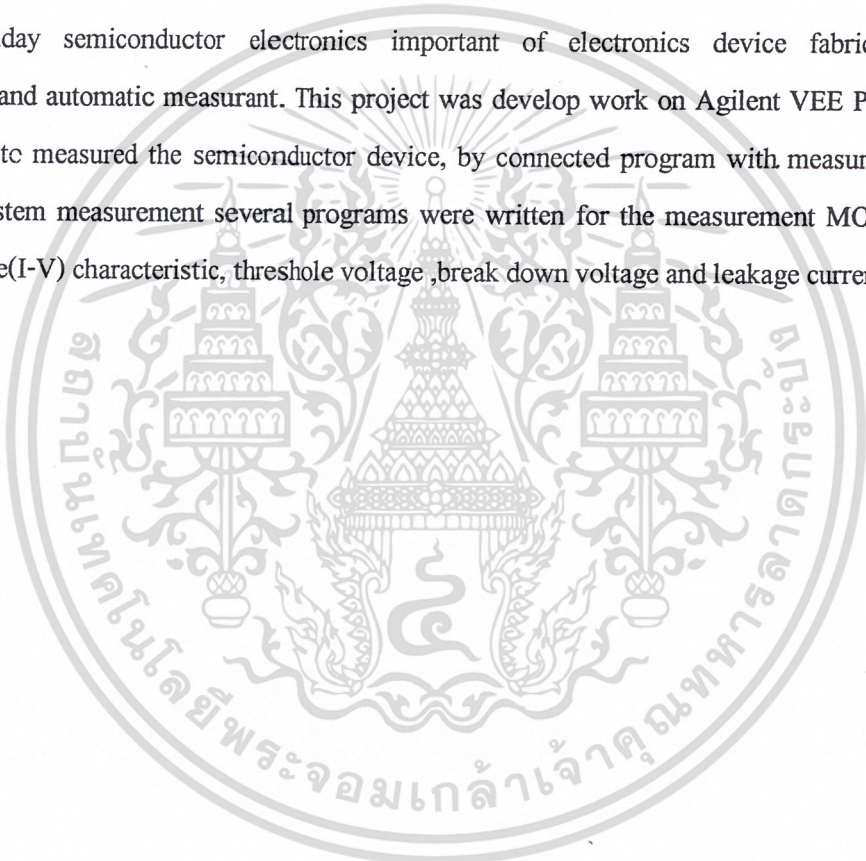
Mr. Suwat Intuprapa

Asst.Prof. Surasak Meimcharoen (Advisor)

Educational Year 2002

Abstract

Nowaday semiconductor electronics important of electronics device fabrication, characteristic and automatic measurant. This project was develop work on Agilent VEE Pro 6.0 program able to measured the semiconductor device, by connected program with measurement instrument system measurement several programs were written for the measurement MOSFET current-voltage(I-V) characteristic, threshore voltage ,break down voltage and leakage current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

เนื่องจากการสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำจำเป็นต้องมีการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ซึ่งขั้นตอนการทดสอบจะทำให้ทราบว่าอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมานั้นใช้ได้หรือไม่โครงการนี้จึงทำขึ้นเพื่อเป็น โปรแกรมทดสอบ แทนเครื่องมือที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เพราะสามารถเก็บข้อมูลที่วัดไว้ดูภายหลังได้ และพัฒนาโปรแกรมให้วัดคุณสมบัติต่างๆ ได้สะดวกขึ้น ภายในปฏิญานิพนธ์เล่มนี้จะประกอบด้วย

บทที่ 1 คือ บทนำกล่าวถึงจุดประสงค์และเนื้อหาของการทำงาน

บทที่ 2 คือ ความรู้เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0

บทที่ 3 คือ ทฤษฎีของอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ประกอบด้วย ตัวความต้านทาน ไดโอด และมอสเฟต

บทที่ 4 คือ วิธีการเขียน โปรแกรมวัดคุณสมบัติต่างๆ ประกอบด้วย โปรแกรม วัดค่ากระแสแอสและแรงดัน ค่าแรงดันขีดเริ่ม ของมอสเฟต

บทที่ 5 คือ เทคนิคการวัดและการใช้งาน โปรแกรม HP E3631A

บทที่ 6 คือ เทคนิคการวัดและการใช้งาน โปรแกรม HP 4061A

บทที่ 7 คือ สรุปและวิจารณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
คำนำ	III
สารบัญ	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0	2
2.1 GPIB Bus (IEEE 488)	2
2.2 รายละเอียดโปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0	5
บทที่ 3 ทฤษฎีมอสทรานซิสเตอร์	7
3.1 โครงสร้างมอสทรานซิสเตอร์	7
3.2 ชนิดของมอสทรานซิสเตอร์	8
3.3 สัญลักษณ์ของมอสทรานซิสเตอร์	10
3.4 โครงสร้างพื้นฐานและหลักการทำงานของมอสทรานซิสเตอร์	11
3.5 คุณสมบัติกระแสและแรงดันของมอสทรานซิสเตอร์	15
3.6 คุณสมบัติแรงดันขีดเริ่มของมอสทรานซิสเตอร์	19
บทที่ 4 การเขียนโปรแกรม	23
4.1 ส่วนประกอบของ โปรแกรม	23
4.2 การเข้าโปรแกรม	23
4.3 วิธีการช่วยเขียนโปรแกรม	24
4.4 การเขียนโปรแกรมวัดค่าความต้านทาน	24
4.5 การเขียนโปรแกรมวัดคุณสมบัติของไดโอด	33
4.6 การเขียนโปรแกรมวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสทรานซิสเตอร์	35
4.7 การใช้โปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสทรานซิสเตอร์	39
บทที่ 5 เทคนิคการวัดและการใช้งานของระบบเครื่องมือวัด HP E3631A	41
5.1 การใช้โปรแกรมวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสทรานซิสเตอร์	41
5.2 การใช้โปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสทรานซิสเตอร์	48
บทที่ 6 เทคนิคการวัดและการใช้งานของระบบเครื่องมือวัด HP 4061A	54
6.1 การใช้งานโปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสทรานซิสเตอร์	54
6.2 การใช้งานโปรแกรมวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสทรานซิสเตอร์	58
6.3 การใช้งานโปรแกรมวัดค่าแรงดันพียงหลายของมอสทรานซิสเตอร์	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
6.4 การใช้งานโปรแกรมวัดค่ากระแสรั่วไหลของมอสทรานซิสเตอร์	65
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์	69
7.1 สรุป	69
7.2 วิจารณ์	69
ภาคผนวก	70
กิตติกรรมประกาศ	72
หนังสืออ้างอิง	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีในการสร้างอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วมาก กระบวนการทดสอบ เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญ ซึ่งหลังจากได้เสร็จสิ้นกระบวนการสร้างแล้วก็จะต้องนำมาทำการทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบนี้จะทำให้ทราบว่าอุปกรณ์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นนี้ใช้ได้หรือไม่ โดยจะต้องทำการทดสอบในทางคุณสมบัติทางไฟฟ้า หลังจากขั้นตอนของการทดสอบนี้แล้วจึงนำอุปกรณ์ไปทำการการบรรจุลงตัวถัง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ในส่วนของปริณญาณิพนธ์นี้ จะได้กล่าวถึงโปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0 โดยเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งโปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0 นี้จะทำการเชื่อมต่อระหว่างตัวโปรแกรมกับอุปกรณ์เครื่องมือวัด โดยผ่าน GPIB BUS IEEE 488 เป็นตัวสำหรับใช้เชื่อมต่อระหว่างตัวโปรแกรมหลักกับอุปกรณ์เครื่องมือวัด โดยจะทำการควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือวัดเหล่านี้ผ่านตัวโปรแกรม ส่วนของโปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0 จะมีด้วยกันอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วน Detail คือ ส่วนที่ใช้สำหรับเขียนโปรแกรม และส่วน Panel เป็นส่วนของโปรแกรมที่ใช้สำหรับทำการวัด

การควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือวัดให้ทำการวัดตามโปรแกรมที่ต้องการนั้น จะต้องมีการกำหนด หรือทำการตั้งค่าการใช้งานต่างๆ ให้กับเครื่องมือวัดก่อนที่จะทำการวัด โดยจะทำการกำหนดหรือตั้งค่าการใช้งานผ่านตัวโปรแกรมที่ได้ทำขึ้น เพราะเนื่องจากอุปกรณ์เครื่องมือวัดชนิดหนึ่งนั้นอาจมีความสามารถทำการวัดได้หลายอย่าง เช่น วัดกระแสหรือวัดแรงดัน และอุปกรณ์แหล่งจ่ายแรงดัน ก็จะต้องทำการควบคุมให้มีการจ่ายแรงดันตามความต้องการ โดยกำหนดเอาไว้ในส่วนของโปรแกรม

ส่วนโปรแกรมวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรน (I_D) และแรงดันเกต-ซอส (V_{GS}) ของมอสเฟต ซึ่งในการวัดนั้นจะให้แรงดันเดรน (V_{DD}) มีค่าคงที่ และเมื่อทำการวัด แล้วจะนำมาพล็อตกราฟเพื่อหาค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage ; V_T) ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแต่ละโปรแกรม ขั้นตอนของการเขียนโปรแกรม และขั้นตอนในการใช้ จะได้กล่าวโดยละเอียดในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0

โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0 เป็นโปรแกรมเขียนขึ้นมาเพื่อใช้ติดต่อกับเครื่องมือวัด ซึ่งการที่จะสามารถติดต่อกับเครื่องมือวัดได้จะต้องมี GPIB Bus (IEEE 488) โดย GPIB Bus นี้จะเป็นตัวเชื่อมระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เครื่องมือวัด ทำให้สามารถติดต่อและควบคุมเครื่องมือวัดผ่านตัวโปรแกรมที่ได้ทำไว้

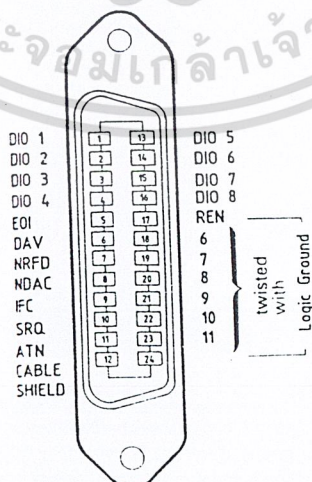
2.1 GPIB Bus (IEEE 488)

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

2.1.1 ผู้ส่ง (Talker) ทำหน้าที่ส่งข้อมูล โดยในระบบสามารถมีผู้ส่ง (Talker) ได้หลายตัว แต่จะมีเพียงตัวเดียวเท่านั้นที่กำลังทำงานอยู่

2.1.2 ผู้รับ (Listener) ทำหน้าที่เป็นตัวรับข้อมูล โดยในระบบสามารถมีผู้รับ (Listener) ได้ครั้งละหลายตัว และผู้รับ (Listener) สามารถทำงานได้ครั้งละหลายๆ ตัว

2.1.3 ผู้ควบคุม (Controller) ทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆในระบบ ในการติดตั้งอุปกรณ์ในระบบระบบหนึ่ง จำนวนอุปกรณ์ทั้งหมดที่ต่อในระบบ (Talker, Listener, Controller) ที่ต่อกับสายสัญญาณ 1 เส้นจะต้องมีไม่เกิน 15 เครื่อง
รูปแสดงสายสัญญาณ GPIB bus (IEEE 488) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



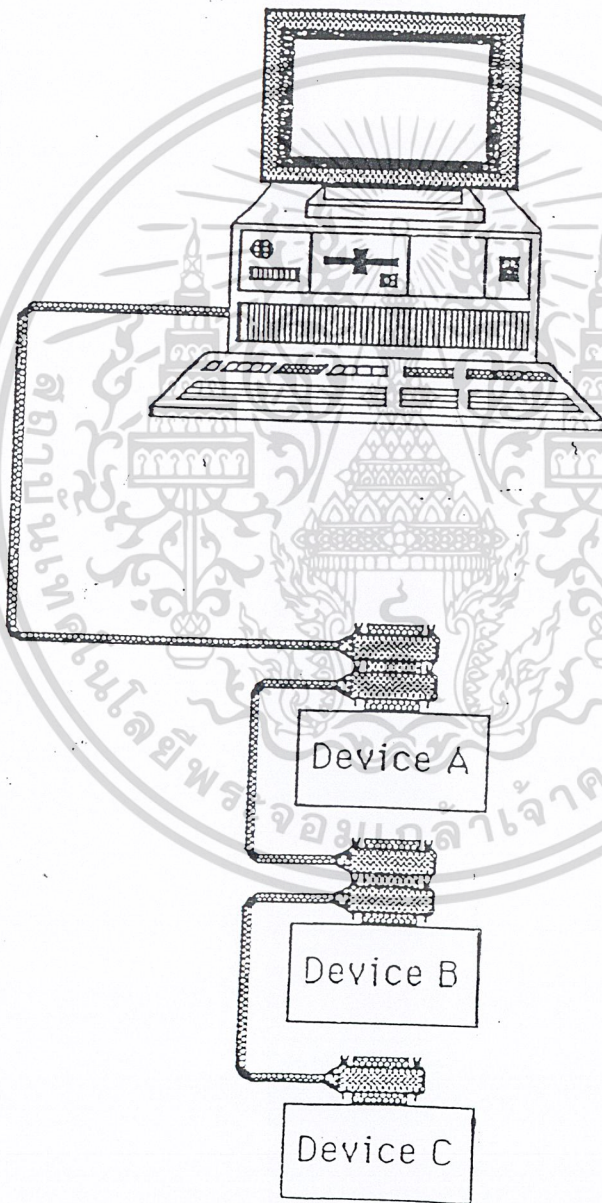
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GPIB bus นี้จะเป็นสายสัญญาณแบบ 24 เส้นขนานกันและมีขั้วต่ออยู่ทางปลายทั้งสองของสายเพื่อต่อกับอุปกรณ์ ในจำนวนสายสัญญาณ 24 เส้นนี้จะมี 16 เส้นที่ทำหน้าที่นำสัญญาณ ส่วนที่เหลือ 8 เส้นทำหน้าที่เป็นกราวด์และชีลด์

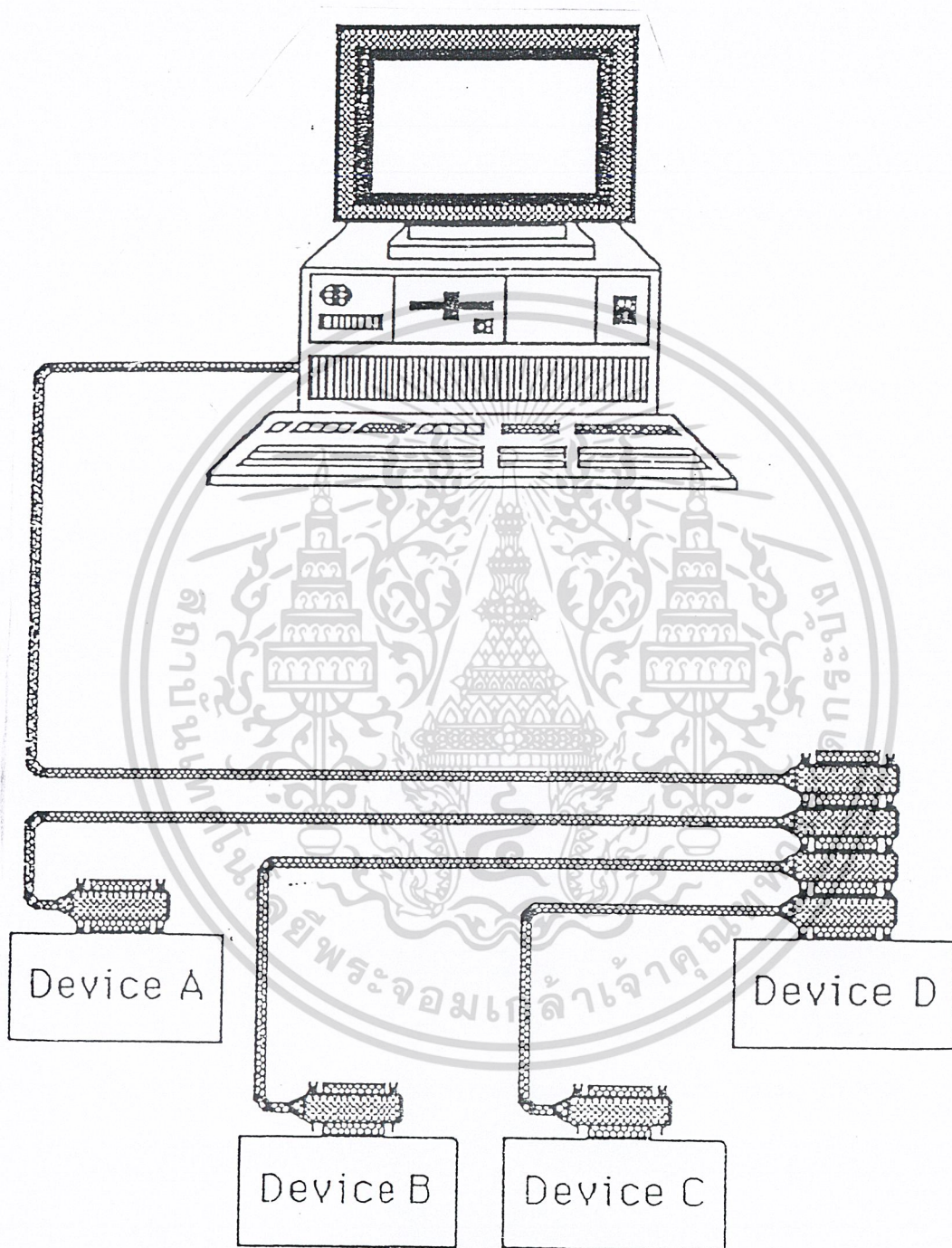
ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆในระบบ GPIB bus (IEEE 488) นั้นจะมีอยู่ 2 วิธี คือ

- การเชื่อมต่อแบบเรียงต่อเนื่องกัน
- การเชื่อมต่อแบบกระจาย

ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้ง 2 แบบ แสดงได้ดังรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3



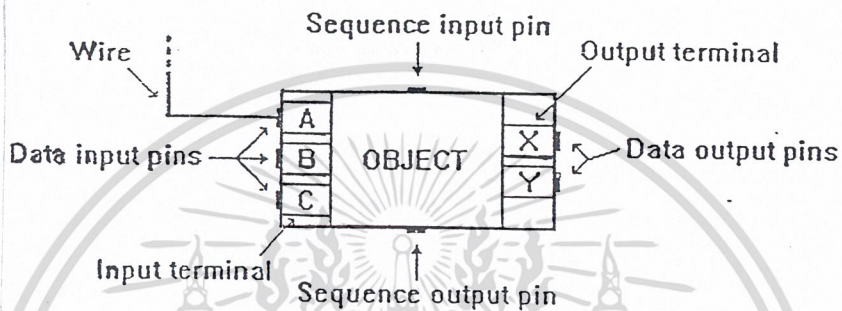
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.2 การเชื่อมต่อแบบต่อเนื่อง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 2.3 การเชื่อมแบบกระจาย

2.2 รายละเอียดโปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0

เมื่อมีการติดตั้งเครื่องมือวัดแล้ว โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0 จะสามารถทำการติดต่อกับเครื่องมือวัดได้ โดยตัวโปรแกรมจะเป็นลักษณะบล็อก (block) ซึ่งคำสั่งแต่ละบล็อกจะทำหน้าที่ต่างกัน โดยที่แต่ละบล็อกคำสั่งจะมีอินพุต (input) และเอาต์พุต (output) เป็นตัวเชื่อมต่อกันเพื่อกำหนดขั้นตอนการทำงานของตัวโปรแกรม และรับส่งข้อมูลกันระหว่างที่ตัวโปรแกรมทำงาน ซึ่งบล็อกคำสั่งและส่วนต่างๆ ของบล็อกแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



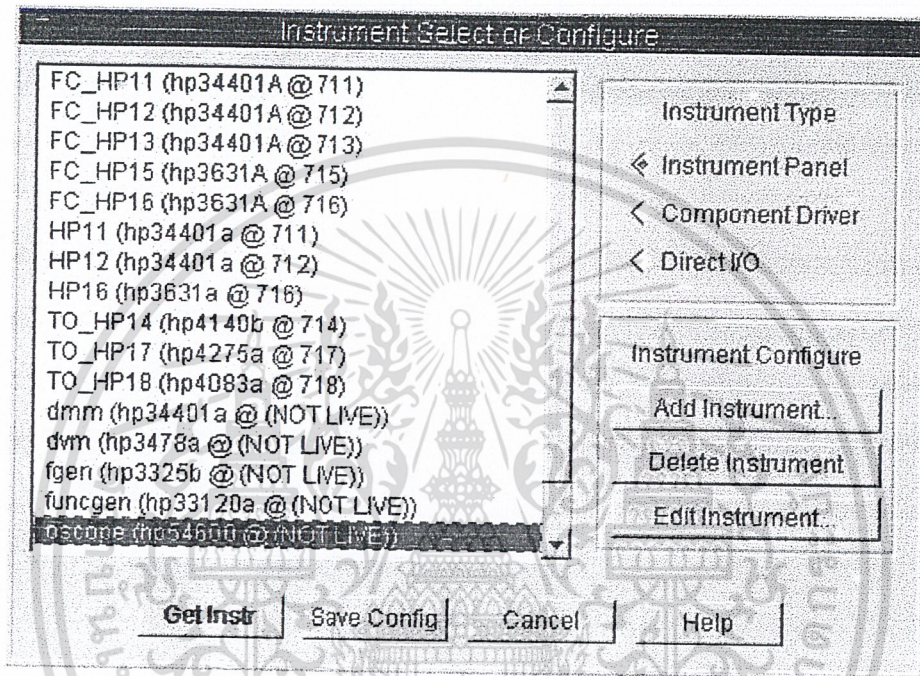
รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของบล็อกคำสั่ง

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าที่บล็อกจะมีส่วนต่างๆ โดยทำหน้าที่ดังนี้

- Data input pins เป็นตัวที่รับข้อมูลในระหว่างการวัด เช่นค่ากระแส (I) หรือแรงดัน (V) ซึ่งในการรับข้อมูลมาเก็บไว้นี้ จะนำข้อมูลที่ได้ออกไปแสดงค่าเป็นกราฟ หรือจะนำไปบันทึก (save) ค่าไว้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของ โปรแกรมหรือผู้ใช้งาน
- Data output pins เป็นตัวที่คอยส่งข้อมูลที่รับเข้ามาเก็บไว้ออกไป เช่น นำไปพล็อตกราฟ นำไปคำนวณหาค่า หรือนำไปแสดงเป็นตาราง
- Sequence input pins เป็นตัวเชื่อมระหว่างบล็อกคำสั่ง เพื่อควบคุมให้แต่ละบล็อกทำหน้าที่ตามลำดับขั้นตอน หรือทำหน้าที่ให้สัมพันธ์กัน
- Sequence output pins เป็นตัวควบคุมให้บล็อกคำสั่งต่อไปทำงาน เมื่อบล็อกนั้น ทำหน้าที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว
- Wire เป็นเส้นที่ลากเชื่อมระหว่างบล็อกคำสั่ง เพื่อควบคุมให้แต่ละบล็อกทำงานสัมพันธ์กันเป็นลำดับตามขั้นตอน

ภายในโปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0 จะมีการกำหนดตำแหน่ง (address) ของเครื่องมือวัด เมื่อต้องการใช้เครื่องมือวัดชนิดใดควรระบุตัวอุปกรณ์เครื่องมือวัดออกมา ซึ่งจะมีบล็อกของอุปกรณ์เครื่องมือวัดอยู่ในโปรแกรมซึ่งได้ติดตั้งไว้แล้ว โดยภายในบล็อกเครื่องมือวัดนั้นจะสามารถควบคุมให้เครื่องมือวัดทำการวัดได้นั้นต้องมีการกำหนดค่าต่างๆ ให้ เช่น เครื่องมือวัด

จำพวกแหล่งจ่ายไฟ (power supply) จะต้องควบคุมให้จ่ายแรงดันบวกหรือลบ หรือควบคุมให้จ่ายได้ทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการวัด หรืออุปกรณ์มัลติมิเตอร์ (multimeter) นั้น จะต้องมีการควบคุมด้วยว่าจะให้วัดในลักษณะใดซึ่งจะทำการวัดได้หลายแบบ เช่น ควบคุมให้วัดกระแส หรือแรงดัน และต้องมีกำหนดไว้ก่อนที่จะทำการวัด ในรูปที่ 2.5 เป็นรูปที่แสดงตำแหน่ง (address) ของเครื่องมือวัด เมื่อเราต้องการใช้เครื่องมือวัดชนิดใดก็เลือกออกมาใช้และทำการตั้งค่าต่างๆ ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมจะได้กล่าวโดยละเอียดในบทต่อไป



รูปที่ 2.5 ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องมือวัดภายใน โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

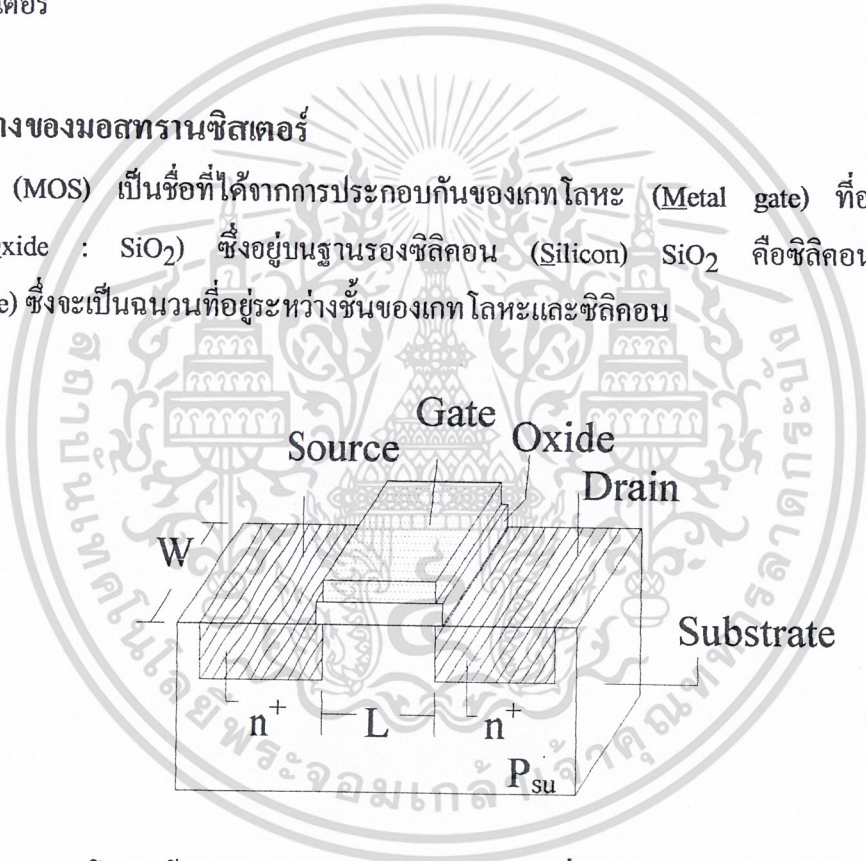
บทที่ 3

ทฤษฎีการทำงานของมอสทรานซิสเตอร์

ในวงจรรวมต่างๆที่มีโครงสร้างซับซ้อนนั้น จะเป็นการประกอบกันขึ้นจากองค์ประกอบย่อยหลายองค์ประกอบด้วยกัน เป็นคืบว่า ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ดังนั้นในการศึกษวงจรรวมจึงควรจะเริ่มค้นที่องค์ประกอบย่อยต่างๆ ก่อน โดยเนื้อหาของบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงมอสทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบย่อยของวงจรรวมสะท้อนกระแสแบบต่างๆที่เป็นเนื้อหาหลักของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ หัวข้อที่กล่าวถึงจะเริ่มตั้งแต่โครงสร้างของมอส สัญลักษณ์ การแบ่งชนิดของมอส และคุณสมบัติอื่นๆของมอสทรานซิสเตอร์

3.1 โครงสร้างของมอสทรานซิสเตอร์

มอส (MOS) เป็นชื่อที่ได้จากการประกอบกันของเกทโลหะ (Metal gate) ที่อยู่บนชั้นของออกไซด์ (Oxide : SiO_2) ซึ่งอยู่บนฐานรองซิลิคอน (Silicon) SiO_2 คือซิลิคอนไดออกไซด์ (Silicondioxide) ซึ่งจะเป็นฉนวนที่อยู่ระหว่างชั้นของเกทโลหะและซิลิคอน

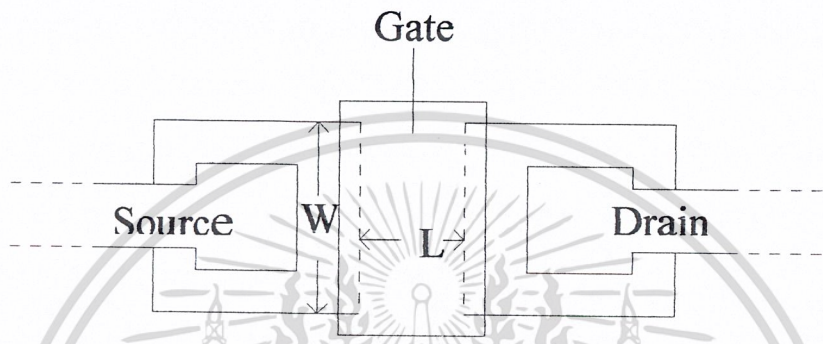


รูปที่ 3.1 แสดง โครงสร้างอย่างง่ายของมอสทรานซิสเตอร์ที่มีช่องทางเดินกระแสชนิดเอ็น

รูปที่3.1แสดงถึง โครงสร้างของมอสทรานซิสเตอร์ที่มีช่องทางเดินกระแสชนิดเอ็น(ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นมอส) ส่วนของฐานรองจะเป็นแผ่นซิลิคอน (silicon wafer) ที่ได้จากการเติมสารเจือชนิดพี ส่วนของซอส (Source:S) และเดรน (Drain:D) จะเป็นชั้นที่ได้จากการแพร่สารเจือชนิด n^+ (n^+ หมายถึง สารเจือชนิดเอ็นที่มีความเข้มข้นอะตอมสารเจือสูงๆ)ทำให้บริเวณนี้เกิดเป็นรอยต่อพี-เอ็นขึ้นในฐานรอง และขั้วโลหะ(ปกติจะเป็นอลูมิเนียม) ขั้วเกท(Gate:G) เป็นส่วนที่ทำให้ขั้วโลหะแยกตัวออกจากผิวซิลิคอน โดยเป็นชั้นบางๆของซิลิคอนไดออกไซด์ ความหนาของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์นี้ โดยทั่วไปจะหนาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

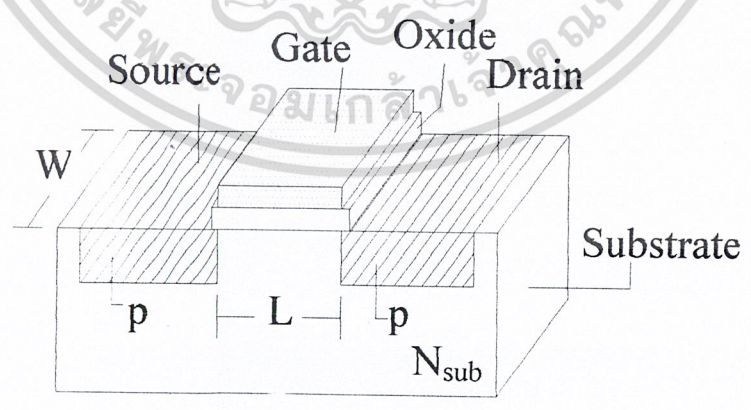
ประมาณ 1000 \AA (อังสตรอม) หรือ 0.1 \mu m เนื่องจากความเป็นฉนวนนี้เอง จึงทำให้ค่าความต้านทานขาเข้าที่ส่วนเกทมีค่าสูง

W คือความกว้างของช่องทางเดินกระแส (channel width) ซึ่งเป็นความกว้างของบริเวณสารเจือที่ขั้วเดรนหรือซอส(ปกติขั้วเดรนหรือซอสจะมีขนาดเท่ากัน) ส่วน L คือความยาวช่องทางเดินกระแส (channel length) ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างส่วนเดรนและซอส ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ภาพด้านบนของมอสทรานซิสเตอร์ เพื่อให้เห็นความกว้าง W และความยาว L ของช่องทางเดินกระแส

ในลักษณะเดียวกันมอสทรานซิสเตอร์ที่มีช่องทางเดินกระแสชนิดพี (ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็มอส) จะมีฐานรองชนิดคอนที่เติมสารเจือชนิดเอ็น บริเวณส่วนของเดรนและซอสจะถูกแพร่ด้วยสารเจือชนิดพีอย่างเข้มข้น ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็มอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ชนิดของมอสทรานซิสเตอร์

ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะมีอิเล็กตรอนหรือประจุลบ เป็นประจุพาหะส่วนมาก ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดพี จะมีโฮลเป็นประจุพาหะส่วนมาก ดังนั้นมอสทรานซิสเตอร์เมื่อแบ่งตามชนิดของประจุพาหะที่บริเวณช่องทางเดินกระแสในขณะที่เกิดกระแสครีฟท์ จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. เอ็น-แชนแนล มอสทรานซิสเตอร์ (n-channel MOS transistor : nMOS) หมายถึง มอสทรานซิสเตอร์ ที่มีอิเล็กตรอนหรือประจุลบเป็นพาหะส่วนมาก ที่ทำให้เกิดกระแสครีฟท์ และมีส่วนเดรนและส่วนซอส เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n type semiconductor)

2. พี-แชนแนล มอสทรานซิสเตอร์ (p-channel MOS transistor : pMOS) หมายถึง มอสทรานซิสเตอร์ ที่มีโฮลหรือประจุบวก เป็นพาหะส่วนมากที่ทำให้เกิดกระแสครีฟท์ และมีส่วนเดรนและส่วนซอส เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p type semiconductor)

ในสภาวะปกติก่อนการให้ไบอัส (bias) กับทรานซิสเตอร์ บริเวณช่องทางเดินกระแสของมอสทรานซิสเตอร์ อาจจะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกันกับส่วนเดรนและส่วนซอส หรือต่างชนิดกันก็ได้ ทำให้สามารถแบ่งประเภทของสารกึ่งตัวนำบริเวณช่องทางเดินกระแสได้ดังนี้

1. ดีพลีชัน (depletion) หมายถึง สารกึ่งตัวนำบริเวณช่องทางเดินกระแสที่เป็นชนิดเดียวกันกับสารกึ่งตัวนำของส่วนเดรนและส่วนซอส

2. เอ็นฮานซ์เมนต์ (enhancement) หมายถึง สารกึ่งตัวนำบริเวณช่องทางเดินกระแสที่ต่างชนิดกันกับสารกึ่งตัวนำของส่วนเดรนและส่วนซอส

ดังนั้น มอสทรานซิสเตอร์ เมื่อแบ่งตามลักษณะการควบคุมปริมาณประจุพาหะในช่องทางเดินกระแส จะแบ่งออกเป็น 4 แบบ ดังนี้

1. เอ็น-แชนแนล เอ็นฮานซ์เมนต์โหมด มอสทรานซิสเตอร์ (n-channel enhancement mode MOS transistor) หมายถึง เอ็น-แชนแนล มอสทรานซิสเตอร์ ที่ในสภาวะปกติก่อนการให้ไบอัสที่เกต จะมีบริเวณช่องทางเดินกระแสเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี และเมื่อขณะใช้งาน โดยการให้ศักดาที่เกตจะเป็นบวก เมื่อเทียบกับฐานรอง จะทำให้บริเวณช่องทางเดินกระแสที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี ถูกเหนี่ยวนำให้เปลี่ยนเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

2. พี-แชนแนล เอ็นฮานซ์เมนต์โหมด มอสทรานซิสเตอร์ (p-channel enhancement mode MOS transistor) หมายถึง พี-แชนแนล มอสทรานซิสเตอร์ ที่ในสภาวะปกติก่อนการให้ไบอัสที่เกต จะมีบริเวณช่องทางเดินกระแสเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และเมื่อขณะใช้งาน โดยการให้ศักดาที่เกตจะเป็นลบเมื่อเทียบกับฐานรอง จะทำให้บริเวณช่องทางเดินกระแสที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ถูกเหนี่ยวนำให้เปลี่ยนเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี

3. เอ็น-แชนแนล ดีพลีชันโหมด มอสทรานซิสเตอร์ (n-channel depletion mode MOS transistor) หมายถึง เอ็น-แชนแนล มอสทรานซิสเตอร์ ที่ในสภาวะปกติก่อนการให้ไบอัสที่เกต จะมีบริเวณช่องทางเดินกระแสเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ทำให้เกิดการเชื่อมต่อเนื้อสารกึ่งตัวนำระหว่างส่วนเดรนและส่วนซอส

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

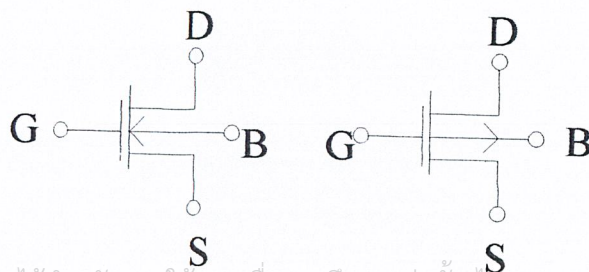
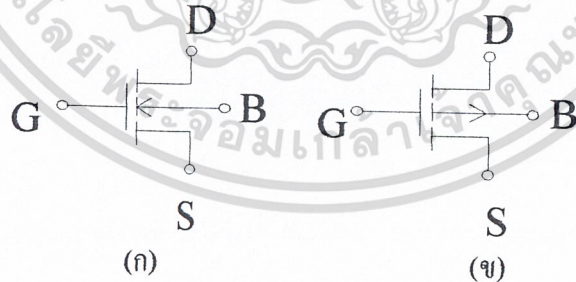
ซอสเข้าด้วยกัน เป็นผลให้เกิดกระแสรีฟท์ทันทีที่มีความต่างศักรระหว่างส่วนเดรนและส่วนซอส ในการควบคุมปริมาณกระแสรีฟท์นี้สามารถทำให้ปริมาณกระแสรีฟท์เพิ่มขึ้นได้ โดยการให้ศักคาคที่เกทเป็นบวกเมื่อเทียบกับฐานรอง และทำให้ปริมาณกระแสรีฟท์ (drift current) ลดลงได้ โดยการให้ศักคาคที่เกทเป็นลบเมื่อเทียบกับฐานรอง

4. พี-แซนแนล ดีพลีชันโหมด มอสทรานซิสเตอร์ (P-channel depletion mode MOS transistor) หมายถึง พี-แซนแนล มอสทรานซิสเตอร์ ที่ในสภาวะปกติก่อนการให้ไบอัสที่เกท จะมีบริเวณช่องทางเดินกระแสเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี ทำให้เกิดการเชื่อมต่อเนื้อสารกึ่งตัวนำระหว่างส่วนเดรนและส่วนซอสเข้าด้วยกัน เป็นผลให้เกิดกระแสรีฟท์ทันทีที่มีความต่างศักรระหว่างส่วนเดรนและส่วนซอส ในการควบคุมปริมาณกระแสรีฟท์นี้สามารถทำให้กระแสรีฟท์เพิ่มขึ้นได้ โดยการให้ศักคาคที่เกทเป็นลบเมื่อเทียบกับฐานรอง และทำให้ปริมาณกระแสรีฟท์ลดลงได้ โดยการให้ศักคาคที่เกทเป็นบวกเมื่อเทียบกับฐานรอง

รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างของมอสทรานซิสเตอร์ชนิดต่างๆ จะเห็นว่าในลักษณะ ของเอ็นฮานซ์เมนท์โหมด จะไม่มีช่องทางเดินกระแสเกิดขึ้นก่อนการให้ไบอัสที่เกท ส่วนลักษณะของ ดีพลีชันโหมด จะมีช่องทางเดินกระแสเชื่อมต่อระหว่างส่วนของเดรนและส่วนซอส

3.3 สัญลักษณ์ของมอสทรานซิสเตอร์

สัญลักษณ์แบบนี้หมายถึง มอสทรานซิสเตอร์ที่ขั้วของซอสไม่ลัดวงจรกับเนื้อสาร กรณีนี้จะใช้เมื่อต้องการที่จะให้ศักคาคที่ฐานรอง ($V_{SB} \neq 0$) ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงดังรูปที่ 3.4



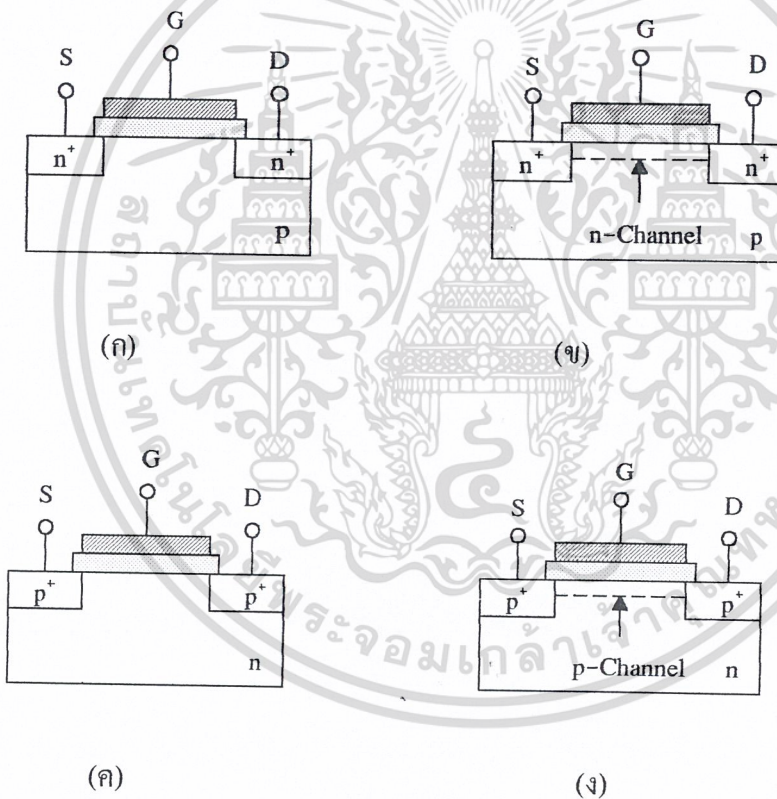
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึง(ง)เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างสัญลักษณ์ของมอสทรานซิสเตอร์ โดย $V_{SB} \neq 0$

- (ก) เอ็นฮานซ์เมนต์เอ็นมอส
- (ข) เอ็นฮานซ์เมนต์พีมอส
- (ค) คีพลิซันเอ็นมอส
- (ง) คีพลิซันพีมอส

3.4 โครงสร้างพื้นฐานและหลักการทำงานของมอสทรานซิสเตอร์

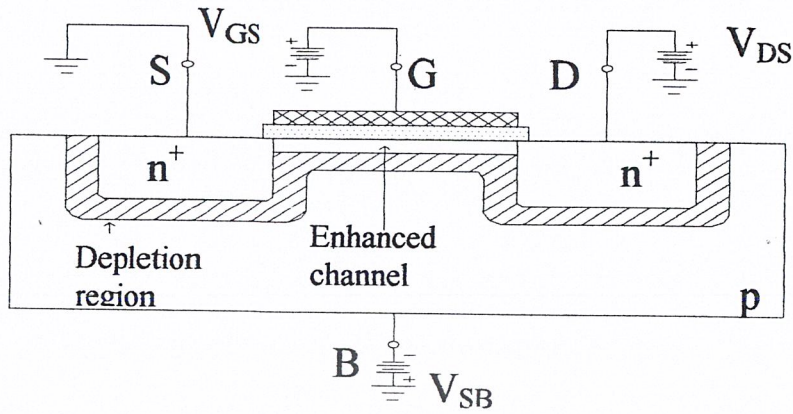
โครงสร้างของเอ็น-แชนแนล มอสทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 3.6 จะแสดงให้เห็นถึงการให้ไบอัสแก่ มอสทรานซิสเตอร์ โดยที่แรงดันเดรน-ซอส $V_{DS} = (V_D - V_S)$ แรงดันเกต-ซอส $V_{GS} = (V_G - V_S)$ และแรงดันซอส-ฐานรอง $V_{SB} = (V_S - V_B)$



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะ โครงสร้างของมอสทรานซิสเตอร์ชนิดต่าง ๆ

- (ก) เอ็น-แชนแนลเอ็นฮานซ์เมนต์โทมด
- (ข) เอ็น-แชนแนล คีพลิซัน โทมด
- (ค) พี-แชนแนลเอ็นฮานซ์เมนต์โทมด
- (ง) พี-แชนแนล คีพลิซัน โทมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การให้ไบอัสแก่เอ็น-แชนแนล มอสทรานซิสเตอร์

ส่วนของซอสและฐานรองจะถูกต่อลงกราวด์ ($V_S = 0 = V_B = V_{SB}$) แรงดันเกต-ซอส V_{GS} จะถูกใช้เพื่อการเหนี่ยวนำให้เกิดอิเล็กตรอนในชั้นกลับ (inversion layer) ภายใต้ชั้นเกตออกไซด์ ซึ่งปกติแล้วแรงดันที่เกตจะเป็นบวกเมื่อเทียบกับฐานรอง และเมื่อมีความต่างศักย์ระหว่างขั้วเดรนและขั้วซอส ก็จะทำให้กระแสเดรน (drain current : I_D) ไหลได้ทันที ดังนั้น กระแสเดรนที่ไหลจะมากน้อยเพียงใด จึงขึ้นอยู่กับแรงดันเกต-ซอส และแรงดันที่ขั้วเดรน-ซอส นั้นเอง

เมื่อพิจารณาการทำงานของมอสทรานซิสเตอร์ จะพิจารณาเป็นช่วง ๆ ได้ดังนี้

1. ช่วงคัทออฟ (cut-off region) สำหรับกรณีนี้ แรงดันเกต-ซอส มีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันขีดเริ่มสมบูรณ์, เมื่อแรงดัน V_{GS} ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดชั้นกลับ ทำให้ช่องทางเดินกระแสไม่เกิดขึ้น ดังนั้น แม้ว่าแรงดันเดรน-ซอส V_{DS} จะถูกให้เข้าไป ($V_{DS} > 0$) ก็จะไม่มีการไหล ($I_D = 0$) รูปที่ 3.7 (ก) แสดงถึงช่วงคัทออฟของมอสทรานซิสเตอร์

2. ช่วงเชิงเส้น (linear region) หรืออาจเรียกว่า ช่วงการทำงานไม่อิ่มตัว (nonsaturated) เมื่อแรงดันเกต-ซอส เพิ่มขึ้น กระทั่ง $V_{GS} > V_{TO}$ กระแสเดรนจะเริ่มไหล ซึ่งเป็นผลมาจาก (1) มีอิเล็กตรอนที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นชั้นกลับภายใต้ชั้นเกตออกไซด์ด้วยอิทธิพลของสนามไฟฟ้าในแนวตั้ง ชั้นกลับที่เกิดขึ้นจะเรียกว่า ช่องทางเดินกระแส (channel) ซึ่งจะเชื่อมต่อสารกึ่งตัวนำส่วนเดรนและส่วนซอสเข้าด้วยกัน และ (2) มีสนามไฟฟ้าในแนวอนภายในช่องทางเดินกระแส เนื่องจากความแตกต่างของศักย์ V_{DS} จึงทำให้กระแสเดรนเกิดขึ้น เมื่อกระแสเดรนในมอสทรานซิสเตอร์ไหล จะเรียกว่า การทำงานในโหมดแอคทีฟ (active mode) ในช่องแอคทีฟโหมด จะแสดงคุณสมบัติของกระแสที่แตกต่างกัน 2 แบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับ ความสัมพันธ์ของค่า V_{DS} กับ $(V_{GS} - V_{TO})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V_{DS} มีค่าต่ำหรือ $V_{DS} < (V_{GS} - V_{TO})$ ช่องทางเดินกระแสจะเกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.7(ข) โดยมอสทรานซิสเตอร์ช่วงนี้เรียกว่า อยู่ในช่วงการทำงานแอคทีฟของโหมดการทำงานไม่อิ่มตัว (nonsaturated mode) ดังเกิดได้ว่า ที่แรงดันเดรน-ซอส ค่าต่างๆ ขนาดของช่องทางเดินกระแสจะมีลักษณะปลายเรียวเล็กทางด้านเดรนเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดันช่องทางเดินกระแส V ที่คงอยู่ในชั้นกลับ เนื่องจาก V_{DS} แรงดันช่องทางเดินกระแสจะสมมติว่ามีค่ามากที่สุด $V = V_{DS}$ ที่บริเวณเดรน n^+ และลดลงที่ $V_S = 0$ ที่ซอส จนกระทั่งเมื่อให้แรงดันเกต-ซอสเข้าไป ทำให้เกิดเป็นชั้นกลับขึ้น ดังนั้น ช่องทางเดินจึงให้เกิดการเชื่อมต่อกับซอสไปยังเดรน

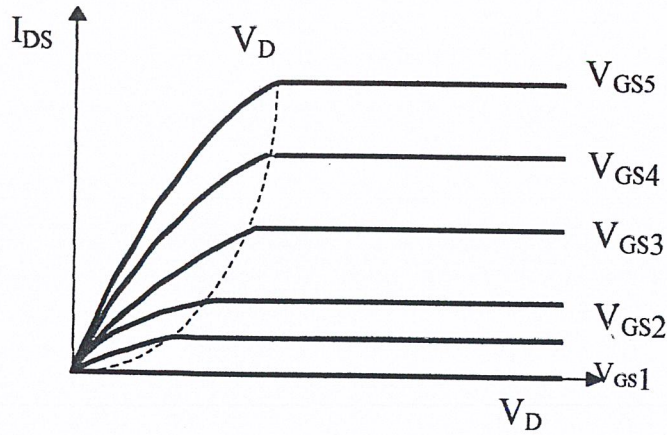
3. ช่วงการทำงานอิ่มตัว (saturate dregion) ถ้าให้ไบอัสทรานซิสเตอร์ เพิ่มขึ้นจนกระทั่ง $V_{DS} \geq (V_{GS} - V_{TO})$ จะทำให้มอสทรานซิสเตอร์อยู่ในช่วงการทำงานอิ่มตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.7 (ค) ช่วงการทำงานอิ่มตัว จะทำให้เกิดช่องทางเดินกระแสชนิดพินช์-ออฟ (pinch-off) ขึ้น ซึ่งความหนาของช่องทางเดินจะลดลงและจะแคบที่สุดเมื่อไปถึงบริเวณเดรน n^+

เมื่อพิจารณาถึงหลักการทำงานของมอสทรานซิสเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.6 แล้ว จะเห็นได้ว่าที่ $V_{GS} < V_{TO}$ ไม่มีการเหนี่ยวนำช่องทางเดินระหว่างชั้นซอสและเดรน ต่อมาเมื่อให้แรงดันค่าบวก V_{GS1} ที่มากกว่าค่า V_{TO} เข้าที่ขั้วเกต ช่องทางเดินก็จะถูกเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขั้วซอสและขั้วเดรน และเมื่อมีการให้แรงดันค่าบวกน้อยๆ V_{DS} ที่ขั้วเดรนกระแสก็จะเริ่มไหล อย่างไรก็ตามที่ V_{DS} ค่าน้อยๆ จะทำให้ไม่เกิดความแตกต่างของศักดาที่ผิว บริเวณส่วนเดรนและส่วนซอส ดังนั้น ความเข้มข้นอิเล็กตรอนตลอดช่องทางเดินกระแสจะยังคงเท่ากัน ดังรูปที่ 3.7 ด้วยเหตุนี้เองทำให้ช่องทางเดินกระแสมีพฤติกรรมคล้ายตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทาน R ดังสมการ

$$R = \frac{L}{\mu_n W Q_n} \quad (3-1)$$

โดย W และ L คือ ความกว้างและความยาวของช่องทางเดินกระแส μ_n เป็นค่าความคล่องตัวของอิเล็กตรอน และ Q_n เป็นประจุอิเล็กตรอนต่อหน่วยพื้นที่ของชั้นกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงกราฟแสดงคุณสมบัติ I-V ของมอสทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็น-แชนแนล เอ็นฮานซ์เมนต์โหมด

เมื่อให้ค่าของ V_{DS} เพิ่มขึ้น จะทำให้ศักดาที่ตกคร่อมช่องทางเดินกระแสเพิ่มขึ้นด้วย จึงเป็นสาเหตุให้แรงดันระหว่างเกตและชั้นกั้นใกล้ๆ ขั้วเดรนลดลง เป็นผลให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในช่องทางเดินกระแสใกล้ๆ ขั้วเดรนมีค่าลดลง ซึ่งจะลดลงเป็นจำนวน Q_n และ ทำให้ค่าความต้านทานช่องทางเดินกระแส R เพิ่มขึ้น ดังนั้นกราฟของ I-V จึงเริ่มโค้งลงจากเส้นค่าตัวต้านทานเริ่มต้น (initial resistor line) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 เมื่อเพิ่มค่า V_{DS} ต่อไปอีก แรงดันตกคร่อมออกไซด์ บริเวณใกล้ๆ ขั้วเดรนก็จะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งมีค่าต่ำกว่าที่ชั้นกั้นจะคงอยู่ได้ ทำให้ช่องทางเดินกระแสบริเวณใกล้ๆ ขั้วเดรนเกิดปรากฏการณ์พินช์-ออฟขึ้น และสารกึ่งตัวนำส่วนเดรนก็จะถูกแยกออกจากช่องทางเดินกระแสโดยบริเวณของดีพลีชัน (depletion region) ดังแสดงในรูปที่ 3.7 (ข) ดังนั้น กระแสเดรนจึงอิ่มตัวที่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง

การเริ่ม V_{DS} จนเกินกว่าค่าแรงดันอิ่มตัว (saturation voltage : V_{DSat}) จะเป็นสาเหตุให้จุดพินช์-ออฟ (P) เคลื่อนที่เข้าใกล้ขั้วซอส และความยาวช่องทางเดินกระแสที่แท้จริง (effective channel length) จะลดลงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 3.7 (ค) อย่างไรก็ตาม ศักดาที่ V_{DSat} และแรงดันที่เกินมาของ V_{DSat} ก็จะตกคร่อมบริเวณดีพลีชัน ดังนั้นกระแสเดรนจึงเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อ V_{DS} ถูกเพิ่มให้มากกว่า V_{DSat}

เมื่อให้ไบอัสที่เกตเพิ่มขึ้นเป็น V_{GS2} จะเป็นผลให้ประจุชั้นกั้น Q_n เพิ่มขึ้น ดังนั้นความต้านทานช่องทางเดิน R จะลดลง จึงเป็นเหตุให้กระแสเดรนเพิ่มขึ้น ดังที่ปรากฏในกราฟคุณสมบัติ I-V ของรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 คุณสมบัติกระแสและแรงดันของมอสทรานซิสเตอร์

พิจารณาเอ็น-แชนแนล มอสทรานซิสเตอร์ ที่มีความกว้างและความยาวของช่องทางเดินกระแส เป็น W และ L ตามลำดับ จากรูปที่ 3.9 จะเห็นได้ว่า ส่วนเล็กๆของความยาวช่องทางเดินกระแส dx ที่ระยะ x จากขั้วซอส มีความต้านทาน dR ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$dR = -\frac{dx}{Q_n(x)\mu_n W} \quad (3-2)$$

ประจุรวม $Q_S(x)$ ถูกเหนี่ยวนำในสารกึ่งตัวนำเป็น

$$Q_S(x) = Q_n(x) + Q_B(x) \quad (3-3)$$

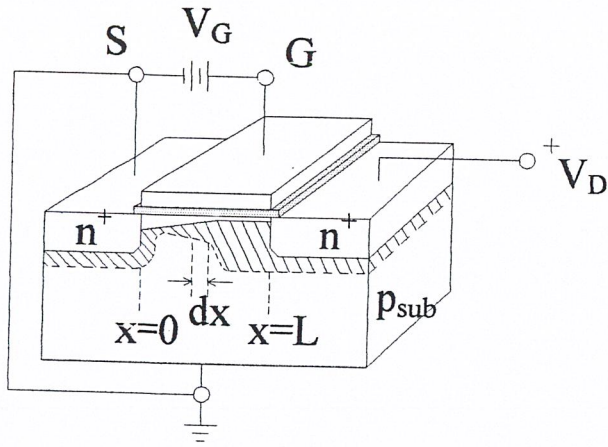
เมื่อ $Q_B(x)$ เป็นประจุบริเวณปอดพาหะต่อหน่วยพื้นที่ และจากสมการตัวเก็บ ประจุมอส (MOS capacitor) ที่ตำแหน่งใดๆ ของ x จะมีค่า Q_S ที่อยู่ในเทอมของ V_{GS} , V_{FB} และศักดาผิว (surface potential : Φ_S) เป็น

$$V_{GS} - V_{FB} = -\frac{Q_S(x)}{C_{ox}} + \Phi_S(x) \quad (3-4)$$

โดย V_{GS} เป็นแรงดันที่ให้แก่อั้วเกต, V_{FB} เป็นแรงดันแฟลต-แบนด์ (flat-band voltage) C_{ox} เป็นค่าเก็บประจุออกไซด์ต่อหน่วยพื้นที่ (oxide capacitance) กำจัด $Q_S(x)$ ระหว่างสมการ (3-3) และ (3-4) จะได้ว่า

$$Q_n(x) = C_{ox}[\Phi_S(x) - (V_{GS} - V_{FB})] - Q_B(x) \quad (3-5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงภาคตัดขวางของเอ็น-แชนแนล มอสทรานซิสเตอร์ ซึ่งในส่วนเล็กๆ dx มีค่าความต้านทาน dR

คำนวณค่า Φ_S และ $Q_B(x)$ ภายใต้เงื่อนไขการเกิดขั้วกลับอย่างเต็มที่ (strong inversion) ตลอดทั้งช่องทางเดินกระแส สมมติว่าฐานรองถูกต่อเข้ากับขั้วซอส จะเห็นได้ว่าขณะนี้กระแสเดรนจะยังไม่ไหล ดังนั้น ทรานซิสเตอร์ขณะนี้จะอยู่ในสภาวะสมดุลทางความร้อน (thermal equilibrium) และ ณ จุดวิกฤตของการกลับอย่างเต็มที่หรือ $\Phi_S = 2\Phi_F$ ภายใต้เงื่อนไขการทำงานจริงบริเวณที่มีประจุไฟฟ้า (space-charge region) ในมอสทรานซิสเตอร์ จะไม่อยู่ในสภาวะสมดุลความร้อน เมื่อขั้วซอสและฐานรองถูกต่อลงกราวด์ และขั้วเดรนถูกไบอัสด้วยค่าบวก ศักคาผิวจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของระยะ x ดังนั้น จึงเกิดค่าไบอัสย้อนกลับ (reverse bias) น้อย ๆ ครอบงำระหว่างรอยต่อฐานรองกับช่องทางเดินกระแส ถ้าให้ $V(x)$ คือศักคา (channel potential) ที่ตำแหน่ง x ในช่องทางเดินกระแส การประมาณค่าศักคาผิวสำหรับการเกิดขั้วกลับอย่างเต็มที่ จะได้เป็น

$$\Phi_S(x) = 2\Phi_F + V(x) \quad (3-6)$$

ด้วยการใช้การประมาณค่าแบบคิพลีชัน (depletion approximation) จะสามารถเขียนความหนาแน่นประจุ $Q_B(x)$ ที่จุดวิกฤตของการกลับอย่างเต็มที่ ได้ดังนี้

$$Q_B(x) = -\sqrt{2qN_a\epsilon_S[2\Phi_F + V(x)]} \quad (3-7)$$

เมื่อ $V(x)$ เพิ่มขึ้นตามระยะ x ประจุ $Q_B(x)$ ก็จะเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งปลายขั้วซอสไปจนถึงปลายขั้วเดรน แทนค่าของ $\Phi_S(x)$ จากสมการ (3-7) ลงในสมการ (3-5) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_n(x) = C_{ox} [2\Phi_F + V(x) - (V_{GS} - V_{FB})] + \sqrt{2q\epsilon_s N_a [2\Phi_F + V(x)]} \quad (3-8)$$

สำหรับกระแสเดรน I_D , แรงดันที่ตกคร่อมค่าความต้านทานส่วนย่อย คือ

$$dV = I_D dR$$

และแทนค่า dR ด้วยสมการ (3-2) จะทำให้ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$I_D dx = -\mu_n W Q_n(x) dV \quad (3-9)$$

แทนค่า $Q_n(x)$ จากสมการ (3-8) ในสมการ (3-9) และทำการอินทิเกรตจาก $x = 0$ ถึง $x = L$ ทำให้ได้ I_D เป็น

$$I_D = \frac{W\mu_n C_{ox}}{L} \left\{ \left[V_{GS} - V_{FB} - 2\Phi_F - \frac{V_{DS}}{2} \right] V_{DS} - \frac{2}{3} \gamma \left[(2\Phi_F + V_{DS})^{\frac{3}{2}} - (2\Phi_F)^{\frac{3}{2}} \right] \right\} \quad (3-10)$$

โดยที่

$$\gamma = \frac{\sqrt{2q\epsilon_s N_a}}{C_{ox}} \quad (3-11)$$

ซึ่งค่า γ เรียกว่า บอดี้แฟกเตอร์ (body factor) สมการ (3-10) นี้จะใช้ได้เฉพาะก่อนช่วงอิ่มตัวเท่านั้น ซึ่งเมื่อเข้าสู่ภาวะ pinch off แล้ว กระแสเดรนจะมีค่าคงที่ (I_{Dsat}) จะไม่เปลี่ยนแปลงกับ V_{DS} อีกต่อไป สมการ (3-11) อาจแยกพิจารณาได้เป็นสองกรณี คือ

(ก) บริเวณเชิงเส้น (linear region)

สำหรับค่า V_{DS} น้อยๆ เช่น $V_{DS} \ll (V_{GS} - V_{FB} - 2\Phi_F)$ และ $V_{DS} \ll 2\Phi_F$ เทอมของ V_{DS} ของสมการ (3.5-9) ก็จะสามารถตัดออกได้ และสมการก็จะเปลี่ยนใหม่เป็น

$$I_D = \frac{W\mu_n C_{ox}}{L} \left[V_{GS} - V_{FB} - 2\Phi_F - \gamma (2\Phi_F)^{\frac{1}{2}} \right] V_{DS} \quad (3-12)$$

สมการนี้จะแสดงได้ดังในกราฟคุณสมบัติ I-V ที่บริเวณช่วงเชิงเส้น ที่ V_{DS} ค่าต่ำๆ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma(2\Phi_F)^{\frac{1}{2}} = -\frac{\sqrt{4q\epsilon_s N_a \Phi_F}}{C_{ox}} = -\frac{Q_B}{C_{ox}} \quad (3-13)$$

สมการ (3-12) จึงสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$I_D = \frac{W\mu_n C_{ox}}{L} (V_{GS} - V_{th}) V_{DS} \quad (3-14)$$

โดย
$$V_{th} = V_{FB} - \frac{Q_B}{C_{ox}} + 2\Phi_F \quad (3-15)$$

สำหรับเอ็น-แชนแนล เอ็นฮานซ์เมนท์ ของมอสทรานซิสเตอร์, V_{FB} จะมีค่าเป็นลบเล็กน้อย ส่วนอีก 2 เทอมในสมการ (3-15) จะเป็นค่าบวก ดังนั้น V_{th} จึงเป็นปริมาณบวกและแสดงถึงแรงดันเปิด (turn-on voltage) ของทรานซิสเตอร์ อย่างไรก็ตาม ในมอสทรานซิสเตอร์ชนิดพีไลชั้น ค่าลบของ V_{FB} จะมีค่าสูงเมื่อเทียบกับอีก 2 เทอม ทำให้ได้ค่า V_{th} เป็นลบ

(๗) บริเวณช่วงอิ่มตัว (saturation region)

เมื่อช่องทางเดินกระแสเกิดเป็นพินช์-ออฟ ที่บริเวณใกล้ขั้วเดรนทำให้การประมาณค่าช่องทางเดินกระแสเป็นแบบลาด (gradual channel approximation) ใช้ไม่ได้อีกต่อไป แรงดัน V_{Dsat} ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการอิ่มตัวของกระแส I_D ซึ่งได้จากเงื่อนไขว่า ที่แรงดันนี้ ความหนาแน่นประจุในชั้นกลับใกล้ขั้วเดรนจะกลายเป็นศูนย์ ดังนั้นจะแทนค่า $V(x)$ ด้วย V_{Dsat} ($V(x) = V_{Dsat}$) ซึ่งจะทำให้ $Q_n(x) = 0$ ในสมการ (3-8) และจากการพล็อตกราฟของสมการ V_{Dsat} จะได้ว่า

$$V_{Dsat} = V_{GS} - V_{FB} - 2\Phi_F + \frac{\gamma^2}{2} - \gamma \left(V_{GS} - V_{FB} + \frac{\gamma^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3-16)$$

กระแสเดรนในช่วงอิ่มตัวจะได้ภายหลังการแทน $V_D = V_{Dsat}$ จากสมการ (3-16) ลงในสมการ (3-10) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากสมการ (3-16) เมื่อความเข้มข้นสารเจือ N_a มีค่าต่ำ และชั้นออกไซด์บางๆ จะเป็นผลให้แรงดันที่ตกคร่อมออกไซด์มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ $2\Phi_F$ ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ทำให้ค่าบอดีแฟคเตอร์ γ มีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ $V_{Dsat} = V_{GS} - V_{FB} - 2\Phi_F - \gamma(V_{GS} - V_{FB})^{\frac{1}{2}}$ นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (3-17)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติว่าแรงดันตกคร่อมออกไซด์มีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับศักคาผิวที่เกิดขึ้นกลับอย่างเต็มที่ และค่า $V_{GS} - V_{FB} \approx 2\Phi_F$ ดังนั้นจากสมการ (3-16) จะเขียนได้ใหม่เป็น

$$V_{Dsat} = V_{GS} - \left[V_{FB} + 2\Phi_F + \gamma(2\Phi_F)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (3-18)$$

และ $V_{Dsat} = V_{GS} - V_{th}$ (3-19)

เมื่อนำสมการ (3-13) และ (3-15) แทนในสมการ (3-18) จะได้ V_{Dsat} ดังสมการ (3-19) และในตอนนี กระแสเดรนอิมตัวจะได้ออกจากการแทนสมการ (3-19) ลงในสมการ (3-10) ดังนั้น

$$I_{Dsat} = \frac{W\mu_n C_{ox}}{L} \left\{ [V_{GS} - V_{FB} - 2\Phi_F] (V_{GS} - V_{th}) - \frac{(V_{GS} - V_{th})^2}{2} - \frac{2}{3} \gamma \left[(2\Phi_F + V_{GS} - V_{th})^{\frac{3}{2}} - (2\Phi_F)^{\frac{3}{2}} \right] \right\} \quad (3-20)$$

กระแสเดรนอิมตัวนี้จะขึ้นอยู่กับค่า V_D ดังที่แสดงในกราฟรูปที่ 3.8 ภายใต้เงื่อนไข เมื่อ $\gamma \ll 1$ และ $V_{th} \approx V_{FB} + 2\Phi_F$ ดังนั้น สมการ (3-20) จะลดรูปได้เป็น

$$I_{Dsat} = \frac{W\mu_n C_{ox}}{2L} (V_{GS} - V_{th})^2 \quad (3-21)$$

กระแสเดรนอิมตัว I_D จะขึ้นอยู่กับแรงดันเกต ซึ่งจะใช้ได้กับทุกๆ ค่าของ $V_{DS} < (V_{GS} - V_{th})$

3.6 คุณสมบัติแรงดันขีดเริ่มของมอสทรานซิสเตอร์

แรงดันขีดเริ่ม (V_{th}) คือ ค่าต่ำสุดของแรงดันเกต (V_{GS}) ที่ใช้เพื่อเหนี่ยวนำช่องทางเดินกระแสที่รอยต่อซิลิกอน-ซิลิกอนไดออกไซด์ สำหรับมอสที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ และให้ไบอัสขอสถึงเดรนมีค่าน้อยๆ แรงดันขีดเริ่มจะได้ออกมาจากการที่ถูกล้อมรอบด้วยขั้วเกต (gate electrode) และเนื้อสารกึ่งตัวนำ เป็นต้น

$$Q_g + (Q_f + Q_{ot} + Q_m) + Q_{it} - (Q_n - Q_p) = 0 \quad (3-22)$$

โดยที่ Q_g เป็นประจุในขั้วเกต

Q_f เป็นประจุออกไซด์ที่ถูกตรึงไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Q_{ot} เป็นความหนาแน่นประจุที่ถูกออกไซด์จับไว้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นและต้องอยู่ใต้อาณัติของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

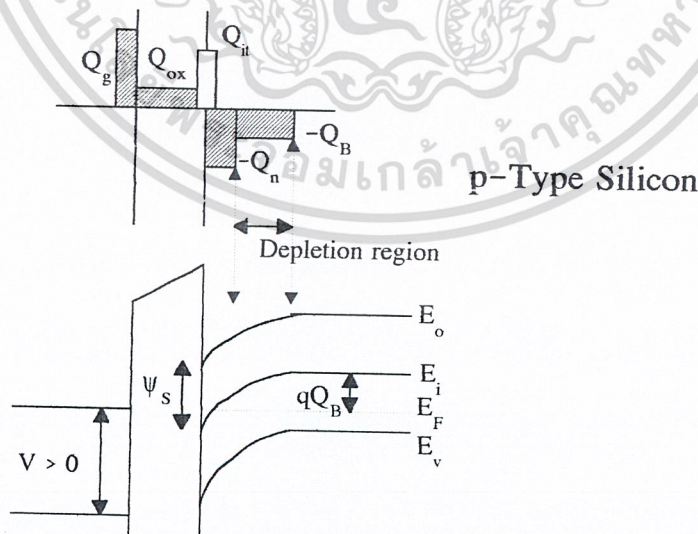
- Q_m เป็นความหนาแน่นประจุอิเล็กตรอนที่ภายในออกไซด์
- Q_{it} เป็นความหนาแน่นประจุที่รอยต่อ
- Q_n เป็นประจุภายในชั้นกลับ
- Q_B เป็นประจุภายในชั้นปลอดพาหะ

การกระจายของประจุเหล่านี้และแผนผังแถบพลังงานของเอ็น-แชนแนล MOSFET ใน การกลับ (inversion) จะแสดงในรูปที่ 3.10 เมื่อแถบพลังงาน (energy band) ของโลหะเรียบ (flat) จนถึง รอยต่อซิลิคอน-ซิลิคอนไดออกไซด์ จะทำให้เกิดแรงดันเฟลตแบนด์ V_{FB} ขึ้นบนเกต ดังนี้

$$V_{FB} + \Phi_{ms} = \frac{Q_g}{C_{ox}} = -\frac{1}{C_{ox}} \left(Q_{it} + \frac{\bar{T}_f}{T_{ox}} \cdot Q_f + \frac{\bar{T}_{ot}}{T_{ox}} \cdot Q_{ot} + \frac{\bar{T}_m}{T_{ox}} \cdot Q_m \right) \quad (3-23)$$

โดยที่

- Φ_{ms} เป็นความแตกต่างฟังก์ชันงานระหว่างเกตโลหะกับซิลิคอนชนิดพี
- C_{ox} เป็นค่าเก็บประจุรวม
- T_{ox} เป็นความหนาแน่นออกไซด์
- \bar{T}_f เป็นศูนย์กลางการกระจายประจุที่ถูกตรึงไว้ในออกไซด์
- \bar{T}_{ot} เป็นศูนย์กลางการกระจายประจุที่ถูกออกไซด์จับไว้
- \bar{T}_m เป็นศูนย์กลางการกระจายประจุเคลื่อนที่



รูปที่ 3.10 แสดงแผนผังแถบพลังงานและการกระจายประจุของ MOSFET ในอินเวอร์ชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระบวนการสมัยใหม่ทั่วไป พจน์ที่มีความสำคัญมากคือ ความหนาแน่นประจุที่รอยต่อ Q_{it} ซึ่งบ่อยครั้งที่ประจุออกไซด์จะถูกรวมเข้าหรือตัดออก เรียกว่า ประจुरอยต่อที่แท้จริง (effective interface charge), Q_{SS} สมการ (3-23) จะกลายเป็น

$$V_{FB} = -\frac{Q_{SS}}{C_{ox}} - \Phi_{ms} \quad (3-24)$$

ศักดาผิว Φ_s ที่จุดวิกฤตของการกลับอย่างเต็มที่ บ่อยครั้งจะถือว่าเป็น $2\Phi_F$ เมื่อ Φ_F เป็นศักดาเฟอร์มี (fermi potential) สำหรับเนื้อซิลิคอน ณ จุดนี้ ถ้าสมมติว่า ประจุนกลับ (inversion charge) มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับประจุนี้อสาร (bulk charge) ดังนั้นจะได้ว่า

$$V_{th} = V_{FB} + 2\Phi_F + \frac{Q_B}{C_{ox}} \quad (3-25)$$

โดยที่ V_{th} เป็นแรงดันขีดเริ่ม สำหรับวัสดุที่ถูกเจือสารอย่างสม่ำเสมอ Q_B จะได้เป็น

$$Q_B = q \cdot N_a \cdot W_c \quad (3-26)$$

โดยที่

N_a เป็นความเข้มข้นอะตอมสารเจือผู้รับ

W_c เป็นความกว้างวิกฤตของชั้นปลอดพาหะในช่องทางเดินที่จุดวิกฤตของการกลับอย่างเต็มที่

ความกว้างของชั้นปลอดพาหะมากที่สุดที่จุดวิกฤตของการกลับอย่างเต็มที่จะเป็นดังนี้

$$W_c = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s(2\Phi_F + V_{SB})}{qN_a}} \quad (3-27)$$

โดยที่

ε_s เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของซิลิคอน

V_{SB} เป็นแรงดันระหว่างขั้วขอสกับฐานรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าสมการ (3-26) และ (3-27) ลงใน (3-25) จะได้

$$V_{th} = V_{FB} + 2\Phi_F + \frac{1}{C_{ox}} \sqrt{(2q\epsilon_s N_a (2\Phi_F + V_{SB}))} \quad (3-28)$$

หรือ

$$V_{th} = V_{FB} + 2\Phi_F + \frac{Q_B}{C_{ox}} \quad (3-29)$$

เมื่อ

$$Q_B = \sqrt{(2q\epsilon_s N_a (2\Phi_F + V_{SB}))} \quad (3-30)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

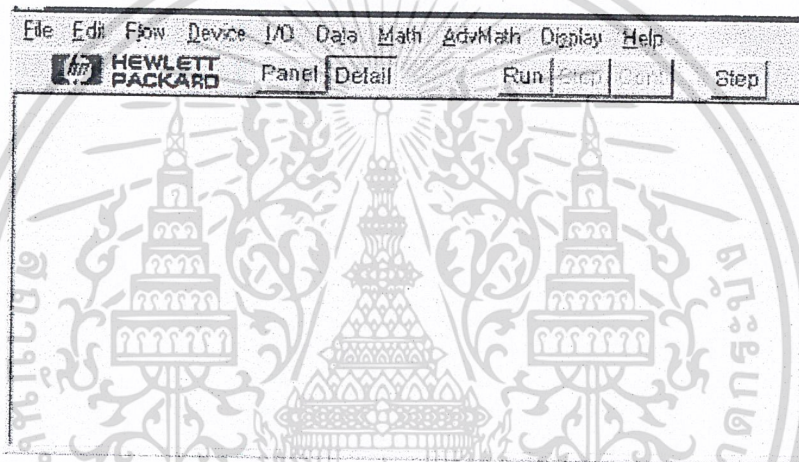
การเขียนโปรแกรม

4.1 โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0 ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 คือ

4.1.1 The Menu Bar เป็นแถบที่ใช้สร้างคำสั่งและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเขียน โปรแกรม

4.1.2 The Tool Bar เป็นแถบที่ใช้แสดงชื่อของโปรแกรมและใช้ควบคุมการทำงานของโปรแกรม

4.1.3 The Work Area เป็นส่วนที่ใช้ในการเขียน โปรแกรม



รูปที่ 4.1 แสดงส่วนของ โปรแกรม

การแสดงผลโปรแกรมสามารถทำได้ 2 แบบคือ

1. Panel ใช้แสดงส่วนที่ต้องการใส่ค่าและจอแสดงผลลัพธ์ที่ได้
2. Detail ใช้แสดงส่วนที่เขียน โปรแกรม

4.2 การเข้าโปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0 สามารถทำได้โดย

START => PROGRAMS => Agilent VEE Pro 6.0

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 และแรงดันที่ได้ จากตัวอุปกรณ์มาคำนวณหาค่าความต้านทาน โดยใช้อุปกรณ์ แหล่งจ่ายแรงดัน HP 3631 A และ Multimeter HP 34401A เมื่อต่อเชื่อมการ์ดแล้ว เข้าตัว โปรแกรมเลือกที่ 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

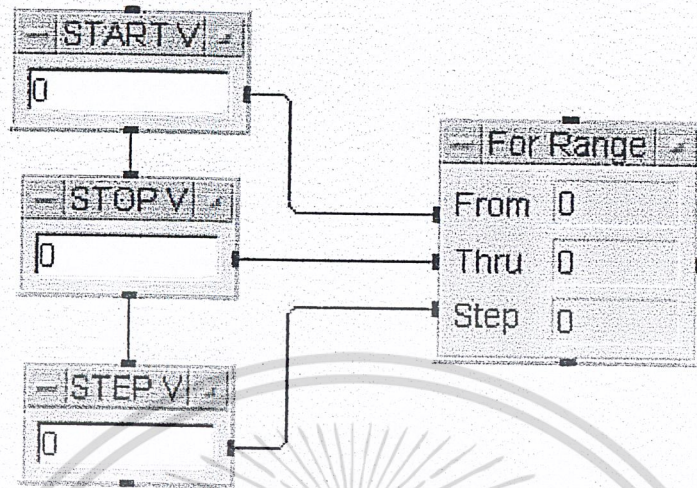
-เพิ่ม Data Output ของ Start, Stop, Step Voltage โดยกด click ขวาแล้วเลือก Add Terminal => Data Output

-เชื่อมต่อ Data Output ของ Start ไปที่ Data Input ของ From

-เชื่อมต่อ Data Output ของ Stop ไปที่ Data Input ของ Thru

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



รูปที่ 4.2 การต่อเชื่อม For Range

4.4.2 การส่งข้อมูล ไปที่แหล่งจ่ายแรงดัน

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

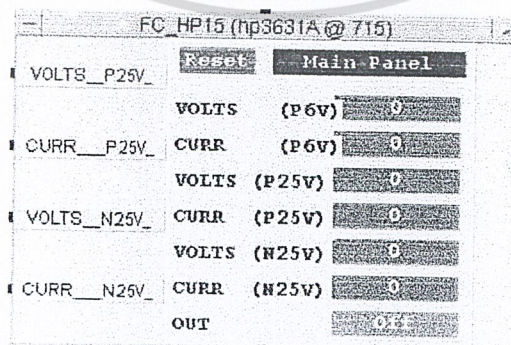
-เพิ่ม Data Input โดยกด click ขวาแล้วเลือก Add Terminal => Data Input

-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

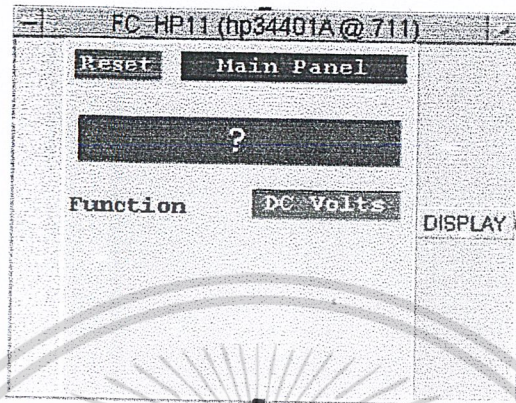


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 4.3 แหล่งจ่ายแรงดันนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

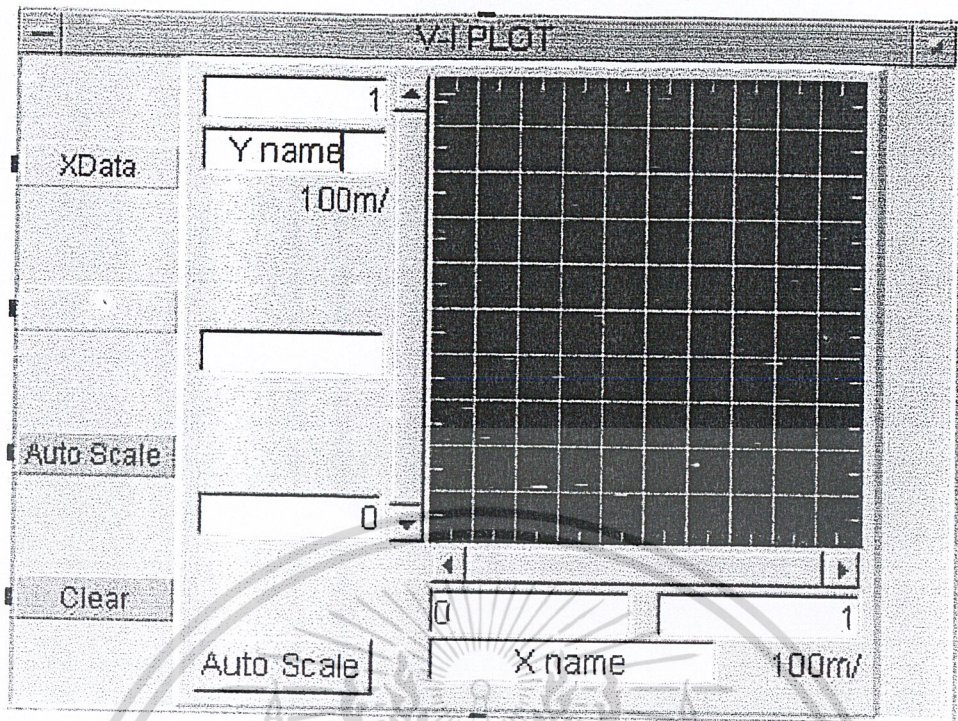
เพื่อให้การวัดมีความถูกต้อง จึงจำเป็นต้องมี Delay ไว้ใช้หน่วงเวลาของแหล่งจ่ายแรงดัน ที่ป้อนก่อนที่จะให้ Multimeter ทำการอ่านค่าซึ่งสามารถทำได้โดย click Flow => Delay

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

- 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

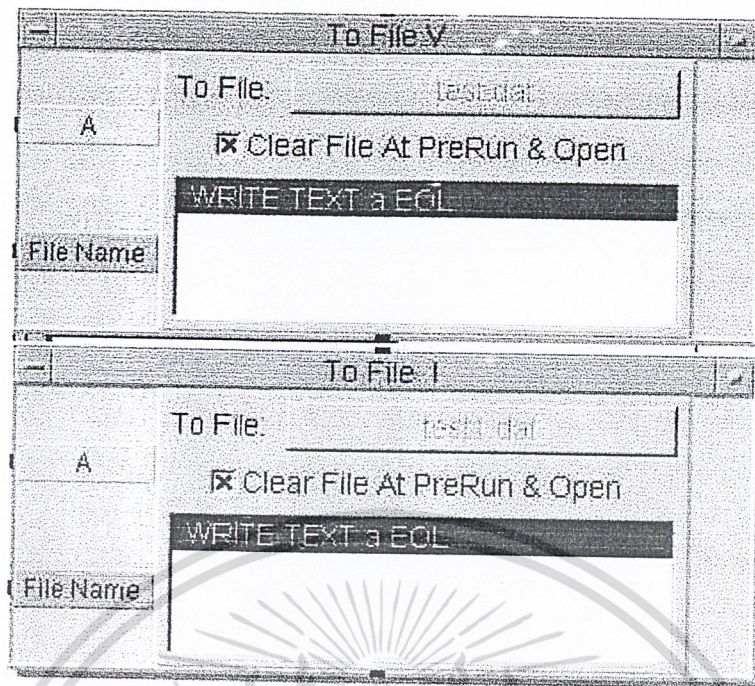
-เปลี่ยนชื่อเป็น To File I และ To File V

-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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การสร้างบล็อกการเก็บไฟล์

4.4.7 การสร้าง Input Boxes ไว้เก็บชื่อไฟล์

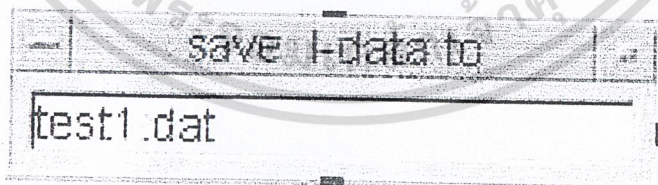
เป็นการกำหนดชื่อไฟล์ที่จะใช้ในการทำการวัด ทำได้โดย click Data => Constant => Text

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

-เพิ่มการแสดงไปใน Panel

-เชื่อมต่อ Data Output -V ไปที่ 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

4.4.8 การสร้างตารางแสดงค่าที่วัดได้

เป็นการนำค่าที่วัดได้มาเก็บไว้ในตารางเพื่อความสะดวกในการอ่านค่า ทำได้โดย click

Display => Logging Alpha Numeric

เอกสารนี้เป็นเอกสารส่วนบุคคลไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

-เปลี่ยนชื่อเป็น V, I และ R

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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

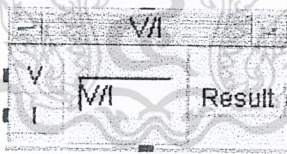
เป็นการสร้างบล็อกขึ้นมาคำนวณค่า ทำได้โดย click Math => A/B

-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 ของตารางสูตร ไปไว้ที่ Data Input ของตาราง R ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การสร้างบล็อกที่ใช้คำนวณ

4.4.10 การกำหนดการเริ่มต้นทำงานของอุปกรณ์

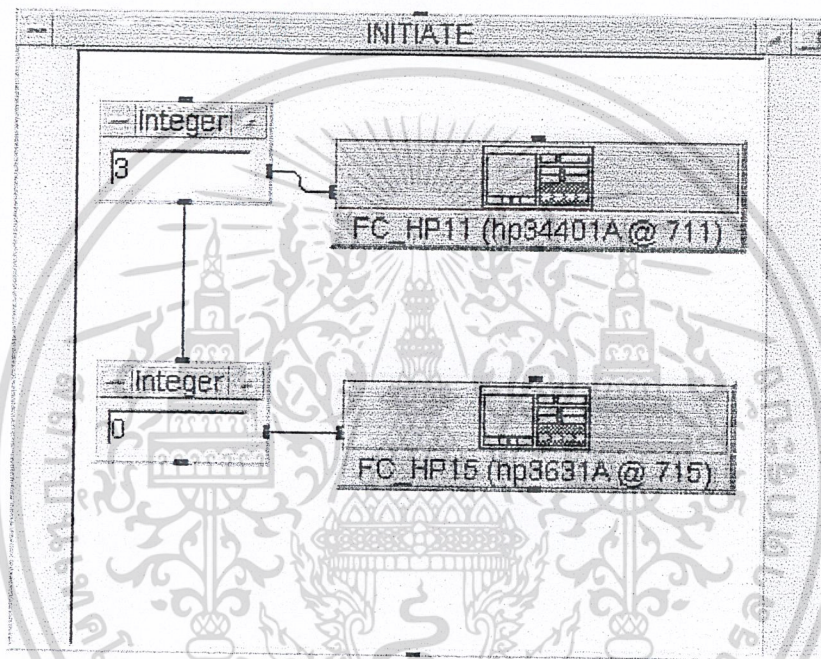
ก่อนที่การทำงานของอุปกรณ์จะเริ่มทำงาน ต้องกำหนดค่าที่ใช้ในการเลือกอุปกรณ์นั้นให้ทำงานแบบใด ทำได้โดย click Device => User Object นำอุปกรณ์ Multimeter และแหล่งจ่ายแรงดัน มาไว้ใน box โดย click I/O => Instrument และเลือกอุปกรณ์

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

-click Data => Constant => Integer

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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

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

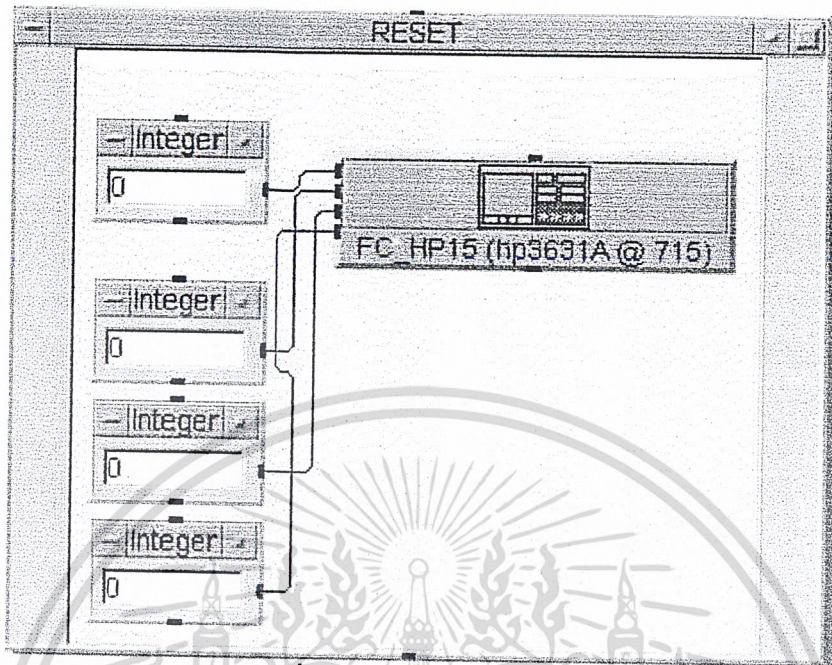
-เพิ่ม Data Input Volts_P25V, Curr_P25V, Volts_N25V, Curr_N25V

-click Data => Constant => Integer

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-เปลี่ยนชื่อเป็น Reset เชื่อมต่อที่ปุ่ม Reset (ทำเช่นเดียวกับปุ่ม Start) ดังแสดงในรูปที่ 4.11



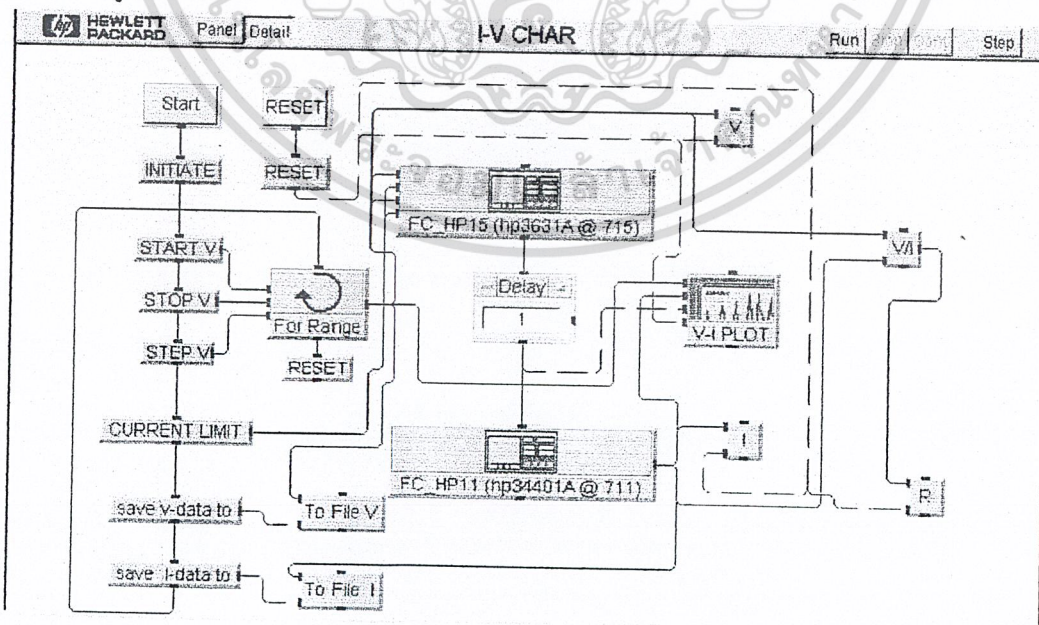
รูปที่ 4.11 การสร้างปุ่ม Reset

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'.

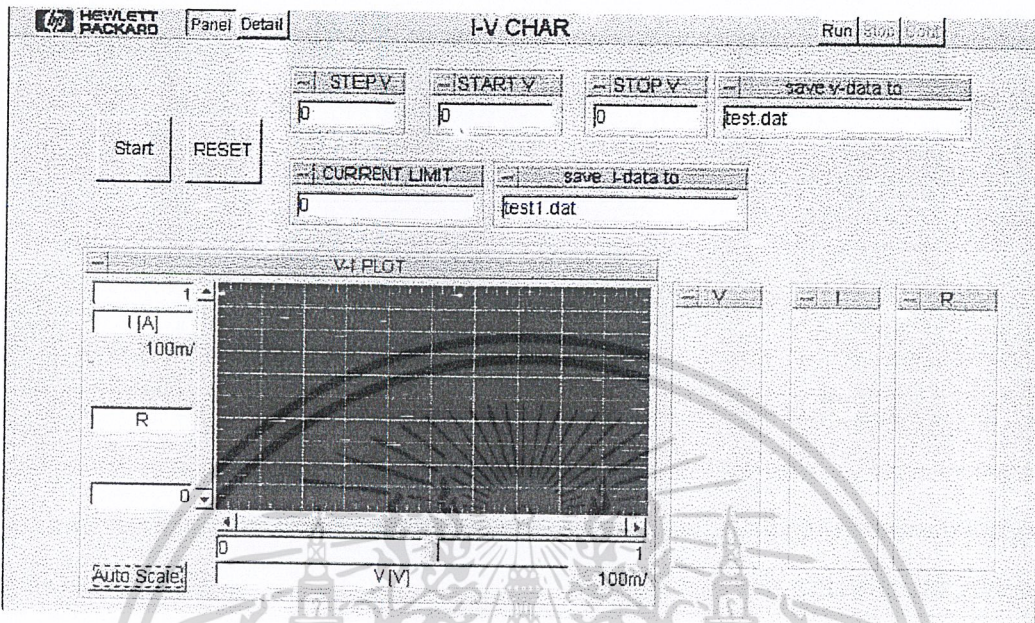
ดังแสดงในรูปที่ 4.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เอกสารนี้แก่บุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.14 การ Design Panel

การปรับแต่งหน้าจอทำได้โดย click ขวาที่ตัวอุปกรณ์ เลือก Edit Properties ซึ่งจะสามารถปรับแต่งสีและตัวอักษรได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 โปรแกรมสำหรับใช้งาน

4.4.15 การ save โปรแกรม

เมื่อทำการ save โปรแกรมจะกำหนดให้เป็น eval.vee เมื่อทำการเขียนโปรแกรมจนเสร็จสามารถเปลี่ยนชื่อ โปรแกรมได้ โดย Exploper เข้าไปใน file Veeval3=> Examples => Evaluate

4.5 การเขียนโปรแกรมวัดคุณสมบัติของไดโอด

การเขียนโปรแกรมวัดคุณสมบัติของไดโอด เป็น โปรแกรมที่ใช้วัดค่ากระแส และแรงดัน จากตัวอุปกรณ์มาพล็อตเป็นกราฟ 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

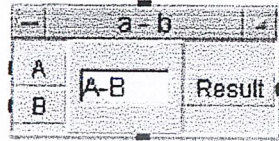
4.5.5 การสร้างบล็อกคำนวณค่า

เป็นการสร้างบล็อกขึ้นมาคำนวณค่า ทำได้โดย click Math => A-B
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การสงวนลิขสิทธิ์ที่เขียนขึ้นนี้ มีข้อบัญญัติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ พงษ์สันติพงษ์ห้ามมิให้ตีพิมพ์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-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 ของการแสดงผลกราฟ 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

-เชื่อมต่อ Data Output ของตารางสูตร ไปไว้ที่ Data Input ของการแสดงผลกราฟ 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

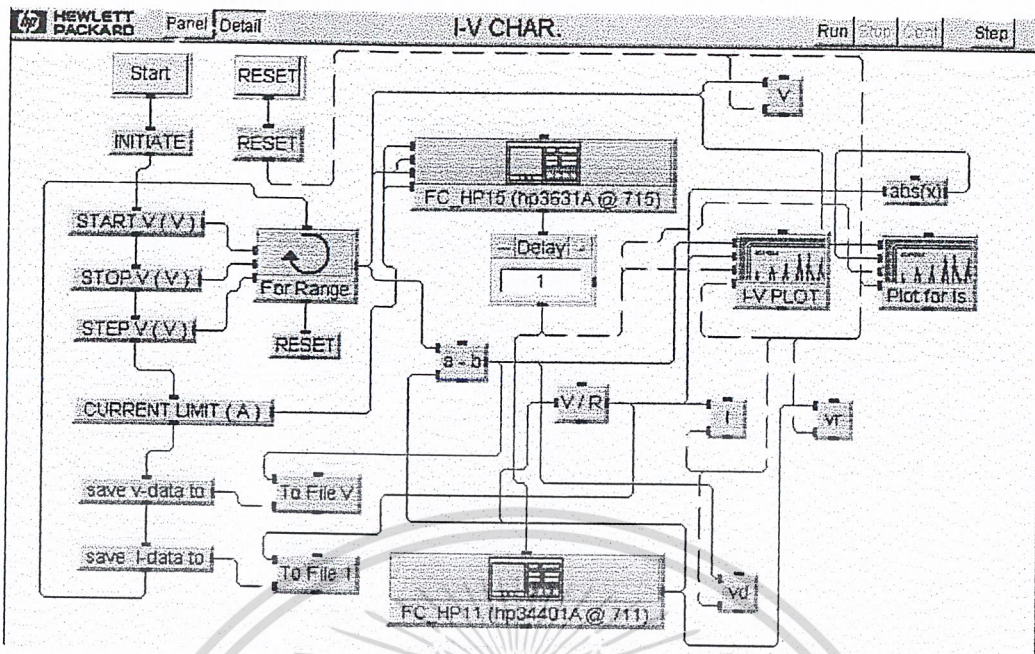
4.5.13 การสร้างปุ่ม Reset ทำเช่นเดียวกับ 4.4.12

4.5.14 การเชื่อมต่อ Sequence Pin ทำเช่นเดียวกับ 4.4.13 ดังแสดงในรูป 4.15

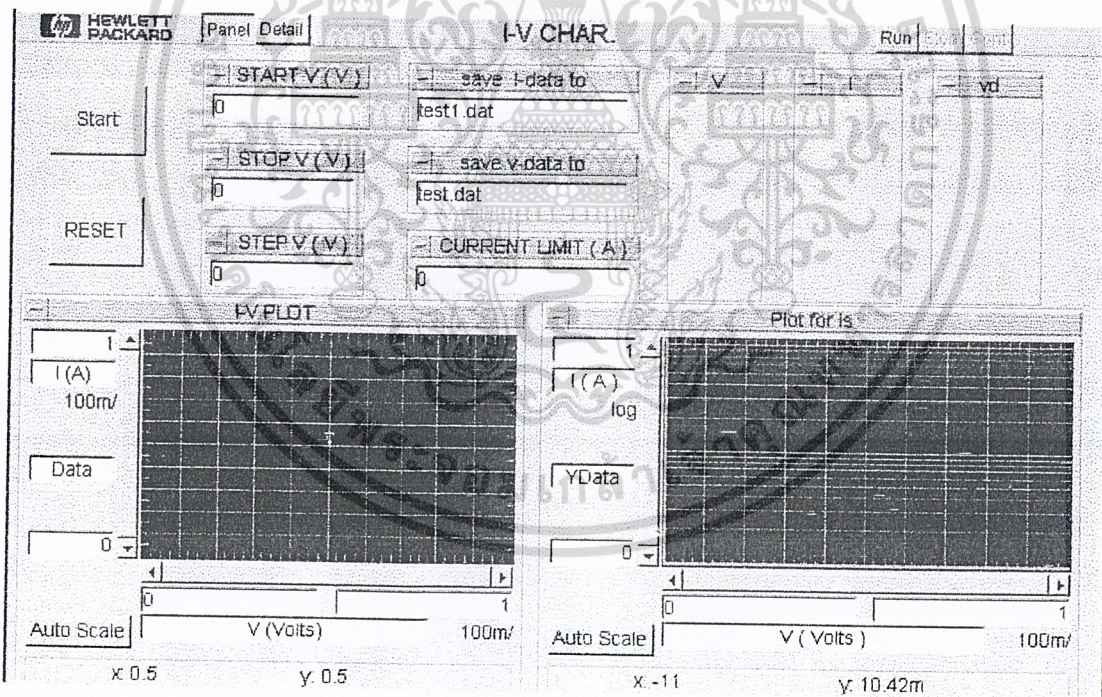
4.5.15 การ Design Panel ทำเช่นเดียวกับ 4.4.14 ดังแสดงในรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 โปรแกรมที่เชื่อมต่อกัน



รูปที่ 4.16 โปรแกรมสำหรับใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การเขียนโปรแกรมวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสทรานซิสเตอร์

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

4.6.1 The Voltage Sweep

เป็นการกำหนด Range ของแรงดัน เนื่องจากการวัดค่าแรงดันขีดเริ่มมีแหล่งจ่ายไฟ 2 ชุด คือ VDD และ VGS

VGS ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.1

VDD เป็นแหล่งจ่ายไฟที่มีค่าคงที่ โดยเลือกแหล่งจ่าย HP 716

4.6.2 การส่งข้อมูลไปที่แหล่งจ่ายแรงดัน ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.2

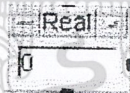
VDD ต่อเชื่อมกับ HP 716 โดยตรง

4.6.3 การอ่านข้อมูลจาก Multimeter ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.3

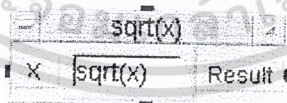
4.6.4 การใช้ Delay ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.4

4.6.5 การพล็อตกราฟ I-V Curve ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.5

และพล็อตกราฟหาค่า V_{th} เพิ่ม ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.5 โดยเพิ่ม Input pin ของกราฟ เพื่อให้สามารถอ่านค่า V_{th} ได้สะดวกโดย Click Data => constant ใส่ค่าเป็น 0 ดังแสดงในรูป 4.17 -นำค่ากระแสที่วัด ได้ยกกำลัง $\frac{1}{2}$ ก่อนที่จะต่อเข้ากราฟ ดังแสดงในรูป 4.18



รูปที่ 4.17 การสร้างค่าคงที่



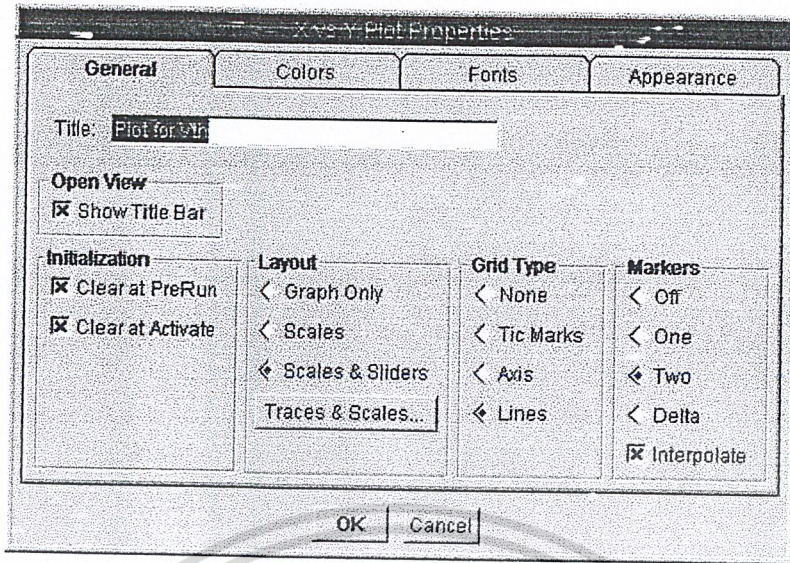
รูปที่ 4.18 การนำค่ากระแสยกกำลัง $\frac{1}{2}$

-เลือก Properties ของกราฟเพื่อให้อ่านค่าได้ตามที่ต้องการ โดยเลือก Markers ที่ Two ดังแสดงในรูป 4.19

4.6.6 การนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ไฟล์ ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.6

4.6.7 การสร้าง Input Boxes ไว้เก็บชื่อไฟล์ ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



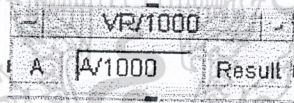
รูปที่ 4.19 การกำหนด Properties ของกราฟ

4.6.8 การแสดงค่าที่วัดได้ ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.8

เปลี่ยนชื่อเป็น VGS, VR, $IDS^{1/2}$, IDS

4.6.9 การสร้างบล็อกคำนวณค่า ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.9

เปลี่ยน การคำนวณค่าเป็น $A/1000$ ดังแสดงในรูป 4.20



รูปที่ 4.20 การสร้างบล็อกที่ใช้คำนวณ

4.6.10 การกำหนดการเริ่มต้นทำงานของอุปกรณ์ ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.10 โดยเพิ่ม HP 716 กำหนด Function การทำงานเป็น 0 ดังแสดงในรูป 4.21 และกำหนด Multimeter เป็น 1 วัด DC Volts

4.6.11 การสร้างปุ่ม Start ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.11

4.6.12 การสร้างปุ่ม Reset ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.12

4.6.13 การเชื่อมต่อ Sequence Pin

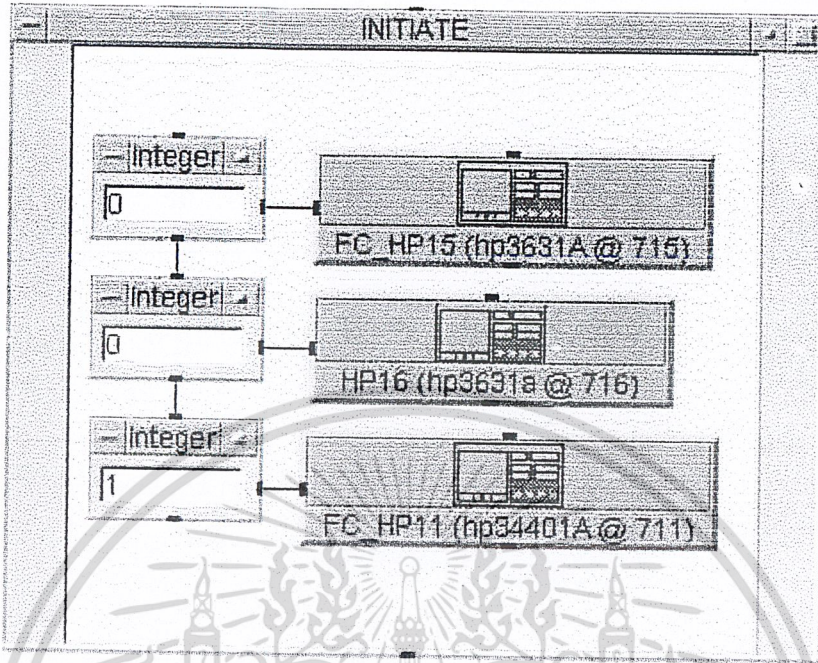
'Start' - button => 'Initiate' - box => 'Start V' - box => 'Stop V' - box => 'Step V' - box =>

'Current Limit' - box => 'Vdd' - box => 'Save Vdd -data to' => 'Save V -data to' => 'Save I -data

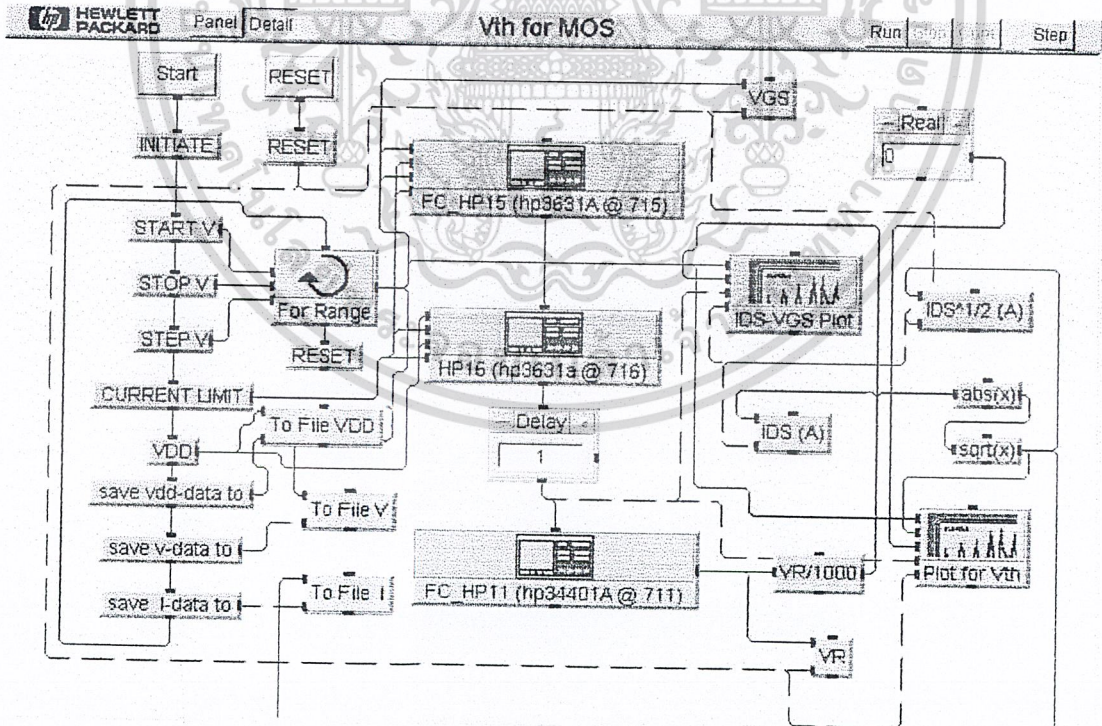
to' => 'For Range' - box => 'Reset' ดังแสดงในรูป 4.30

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

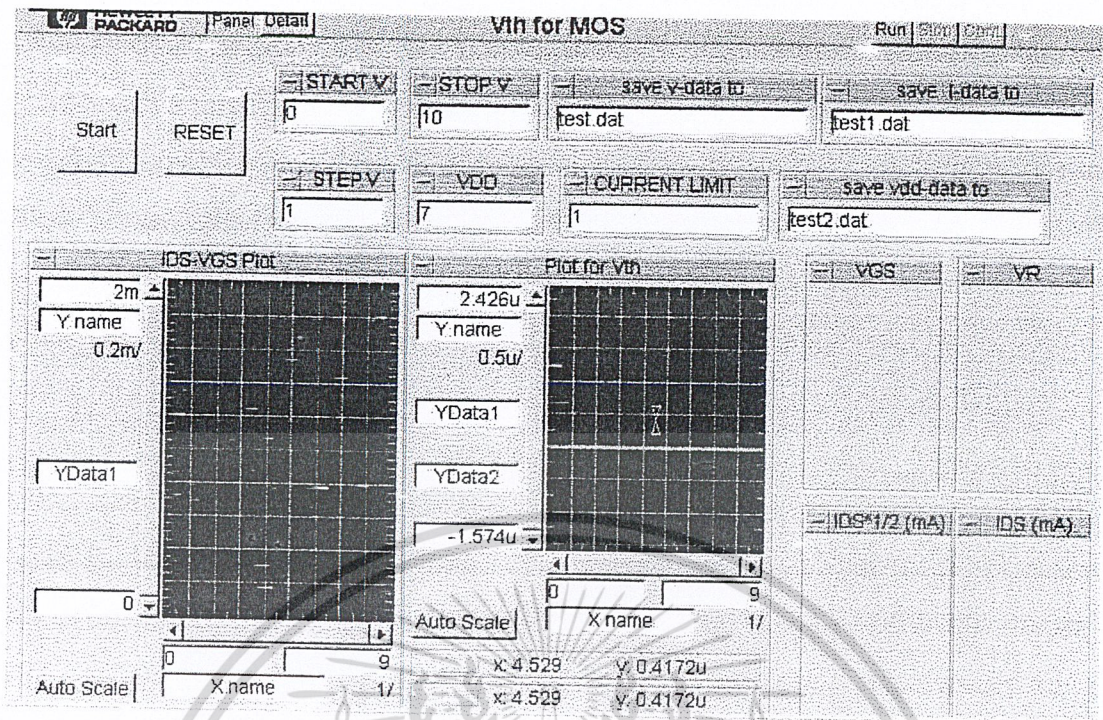
4.6.14 การ Design Panel ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.14 ดังแสดงในรูป 4.31



รูปที่ 4.21 การสร้างบล็อกกำหนดเงื่อนไขการทำงานของเครื่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับลูกค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.22 โปรแกรมที่เชื่อมต่อกัน
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 โปรแกรมสำหรับใช้งาน

4.7 การเขียนโปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของมอดทรานซิสเตอร์

การเขียนโปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันเป็นการเขียนโปรแกรมที่ใช้อุปกรณ์เหมือนกับการเขียนโปรแกรมวัดค่าแรงดันชนิดเริ่ม แต่เปลี่ยน HP 715 เป็น VDD ที่เปลี่ยนค่าเป็น Range และ HP 716 เป็น VGS ที่มีค่าคงที่

4.7.1 The Voltage Sweep

เป็นการกำหนด Range ของแรงดัน เนื่องจากการวัดค่าแรงดันชนิดเริ่มมีแหล่งจ่ายไฟ 2 ชุด คือ VDD และ VGS

VDD ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.1

VGS เป็นแหล่งจ่ายไฟที่มีค่าคงที่ โดยเลือกแหล่งจ่าย HP 716

4.7.2 การส่งข้อมูลไปที่แหล่งจ่ายแรงดัน ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.2

VGS 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

4.7.6 การนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ไฟล์ ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.6

4.7.7 การสร้าง Input Boxes ไว้เก็บชื่อไฟล์ ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.8 การแสดงค่าที่วัดได้ ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.8

เปลี่ยนชื่อเป็น VDD , VR , VDS , IDS

4.7.9 การสร้างบล็อกคำนวณค่า ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.9

เปลี่ยนการคำนวณค่าเป็น $A/100$, $A-B$ ดังแสดงในรูป 4.24



รูปที่ 4.24 การสร้างบล็อกคำนวณค่า

4.7.10 การกำหนดการเริ่มต้นทำงานของอุปกรณ์ ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.10

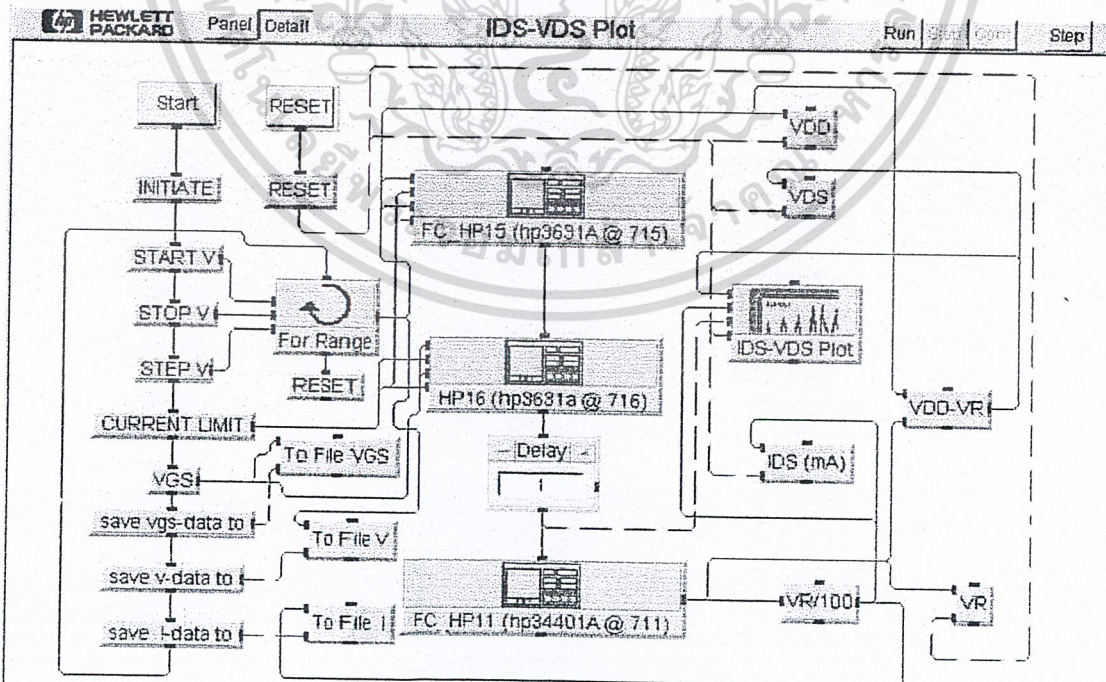
4.7.11 การสร้างปุ่ม Start ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.11

4.7.12 การสร้างปุ่ม Reset ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.12

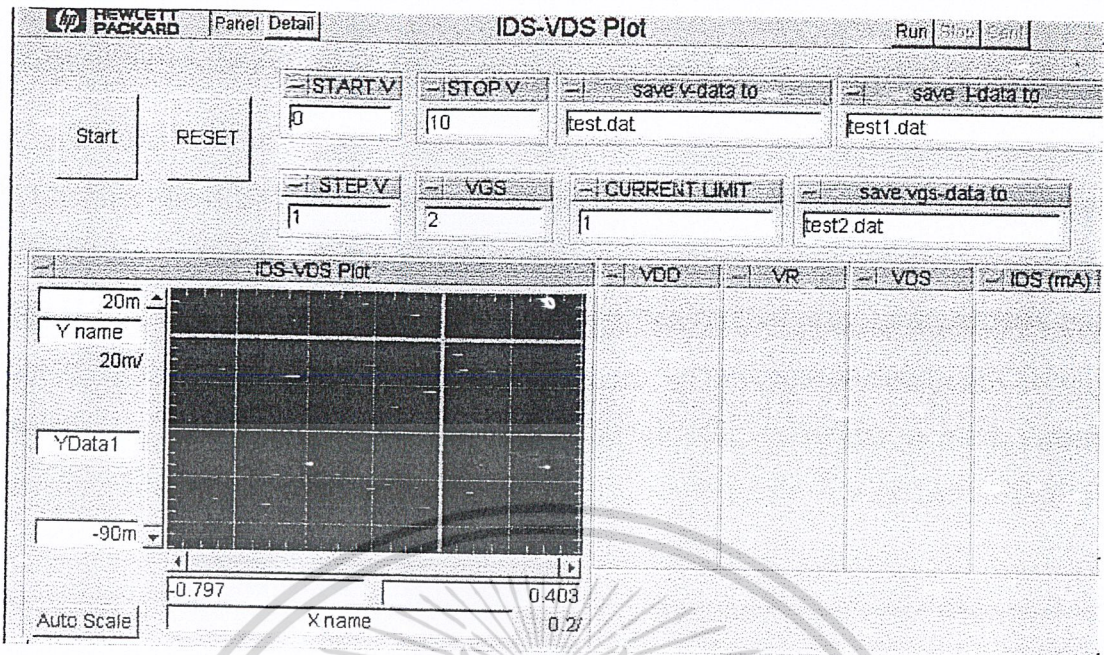
4.7.13 การเชื่อมต่อ Sequence Pin

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

4.7.14 การ Design Panel ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.14 ดังแสดงในรูป 4.25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 4.25 โปรแกรมที่เชื่อมต่อกันเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 โปรแกรมสำหรับใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

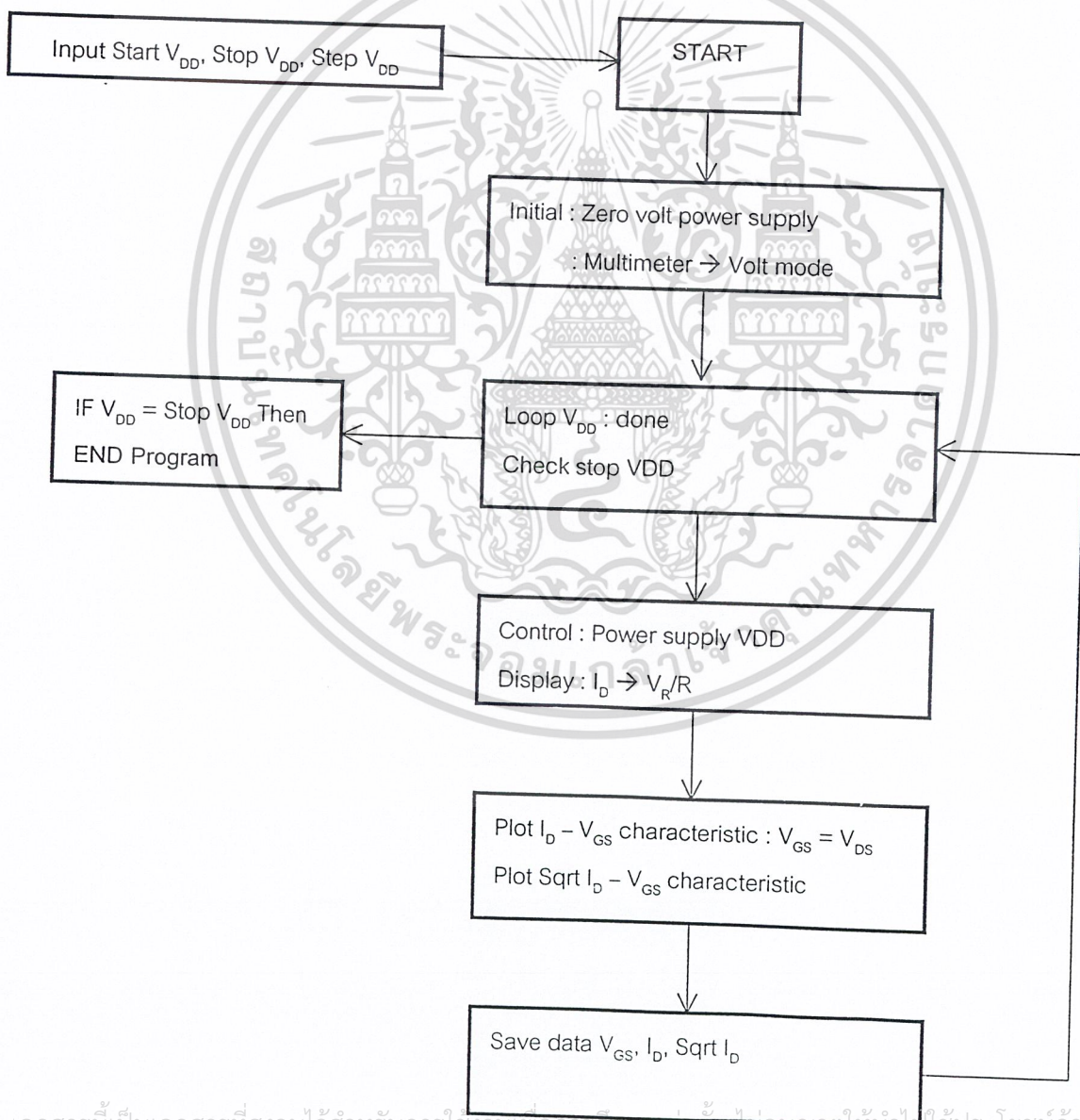
บทที่ 5

เทคนิคการวัดและการใช้งานของระบบเครื่องมือวัด HP E3631A

5.1 การใช้โปรแกรมวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสทรานซิสเตอร์

การออกแบบโปรแกรมควบคุมเครื่องมือวัด เพื่อทำการวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของพีมอสทรานซิสเตอร์ เพื่อหาค่าแรงดันขีดเริ่ม threshold voltage โดยที่โปรแกรมนี้จะมีลักษณะการทำงานเหมือนกับโปรแกรม V_{th} nMOS โดยมีส่วนแตกต่างกันคือส่วนของการให้ไบอัสแก่พีมอสทรานซิสเตอร์ จะป้อนแรงดันผ่านชุดไฟฟ้าลบบของ

1. โพลซาร์ทการทำงานของโปรแกรม



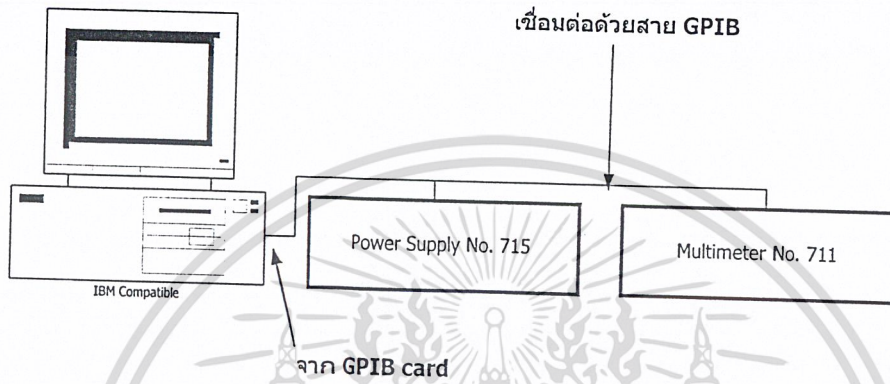
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1 โพลซาร์ทการทำงานของโปรแกรมการวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสทรานซิสเตอร์

2. การตรวจสอบระบบคอมพิวเตอร์การเชื่อมต่อเครื่องมือวัด

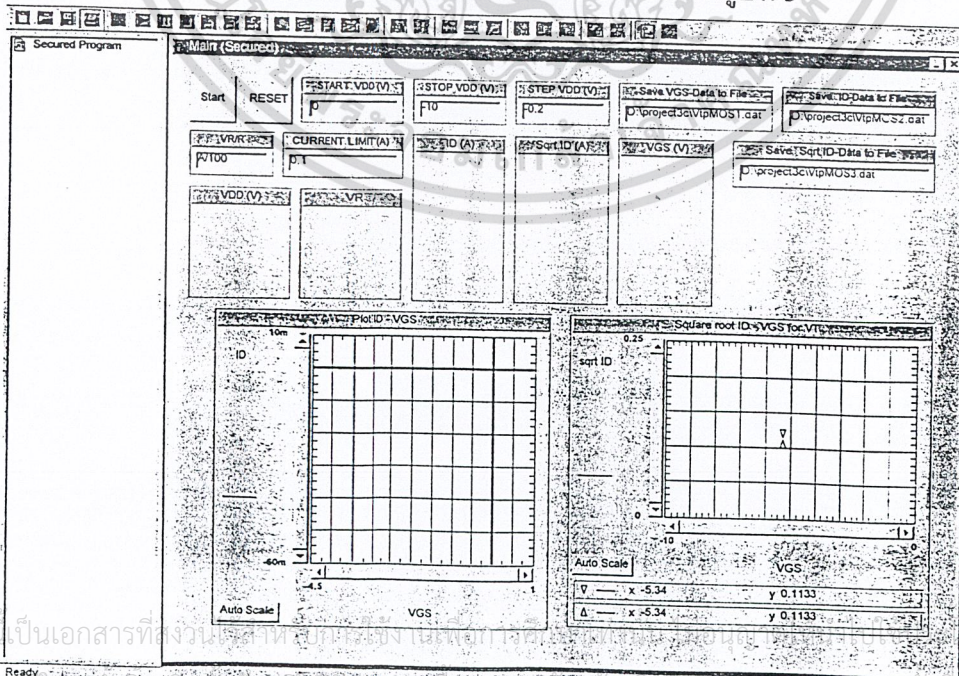
ตรวจสอบคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมเครื่องมือวัด computer name measurement 1 และการเชื่อมต่อของสาย GPIB ระหว่างเครื่องมือวัดกับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยที่สายของ GPIB ของระบบจะถูกต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องจ่ายแรงดัน 1 ชุด (หมายเลขเครื่อง 715 ซึ่งทำหน้าที่จ่ายแรงดัน V_{DD}) และเครื่องมือวัด 1 ชุด (หมายเลขเครื่อง 711) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 5.2 การเชื่อมต่อสาย GPIB ระหว่างเครื่องมือวัดเช่นมัลติมิเตอร์ และแหล่งจ่ายไฟฟ้า เป็นต้น (ซึ่งกำหนดหมายเลขของเครื่องมือวัดที่แน่นอน โดยดูได้จากเครื่องมือวัด) เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

3. ลักษณะของโปรแกรมบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

เมื่อใช้งานโปรแกรมนี้หน้าจอคอมพิวเตอร์จะแสดงลักษณะดังรูปที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การนำออกไปใช้

รูปที่ 5.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรมที่แสดง ภายหลังจากการทำงานของโปรแกรม

โดยมีส่วนรายละเอียดของส่วนต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. Main (Secured) หมายถึง โปรแกรมที่ถูกป้องกันไว้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรายละเอียดภายในตัวโปรแกรมได้ นอกจากเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่ต้องการในช่องกำหนดไว้
2. ปุ่ม START หมายถึงปุ่มที่กดเพื่อเริ่มต้น โปรแกรมสำหรับควบคุมอุปกรณ์การวัด (ต้องตรวจสอบความถูกต้องขอระบบเครื่องมือวัด และวงจรที่ใช้วัดให้ถูกต้อง ดังรูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.4)

ปุ่ม RESET หมายถึงปุ่มที่ต้องการ clear ข้อมูลออกจากส่วนแสดงผล ของ

$V_{DD}(V), V_R(V), V_{GS}(V), I_D(A)$ และ $\text{Sqrt } I_D (A)^{1/2}$

3. ช่องการกรอกข้อมูล (ต้องใส่ข้อมูลให้เรียบร้อยก่อนกดปุ่ม START โปรแกรม)
ประกอบด้วย

3.1 ส่วนของแรงดันไบอัสประกอบด้วยช่อง

START $V_{DD}(V)$ หมายถึง การกำหนดค่าเริ่มต้นของแรงดันไบอัส

START $V_{DD}(V)$ หมายถึงการกำหนดแรงดันสุดของแรงดันไบอัส

STEP $V_{DD}(V)$ หมายถึงการกำหนดช่วงของแรงดันไบอัสที่วัดแต่ละจุด

3.2 ส่วนของการบันทึกข้อมูล ประกอบด้วยช่อง

Save V_{GS} -data to file หมายถึง การบันทึกข้อมูลของแรงดันเกต- ซอส เช่น บันทึกเป็นไฟล์ vtpMOS1.dat ใน Path ของ C:\My documents

Save I_D -data to file หมายถึง การบันทึกข้อมูลของแรงดันเดรน- ซอส เช่น บันทึกเป็นไฟล์ vtpMOS2.dat ใน Path ของ C:\My documents

Save $\text{Sqrt } I_D$ -data to file หมายถึง การบันทึกข้อมูลของแรงดันเกต-ซอส เช่น บันทึกเป็นไฟล์ vtpMOS3.dat ใน Path ของ C:\My documents

ข้อควรระวัง ในกรณีที่ ไม่เปลี่ยนชื่อไฟล์ ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะทับไฟล์ข้อมูลเดียวกันตลอด เมื่อต้องการบันทึกข้อมูลของ pMOS ทราบซิสเตอร์ตัวต่อไปให้เปลี่ยนชื่อไฟล์ทุกครั้ง ไฟล์ที่บันทึกจะสามารถเรียกอ่านได้จาก โปรแกรม NOTE PAD

3.3 ส่วนของการกำจัดการไหลของกระแสเดรน

Current limit (A) เพื่อจำกัดการไหลของกระแสเดรน เมื่อใช้งาน โปรแกรมในครั้งแรก จำกัดกระแสจะอยู่ที่ 0.1 A

3.4 ส่วนการเปลี่ยนแปลงความต้านทานที่เหมาะสม

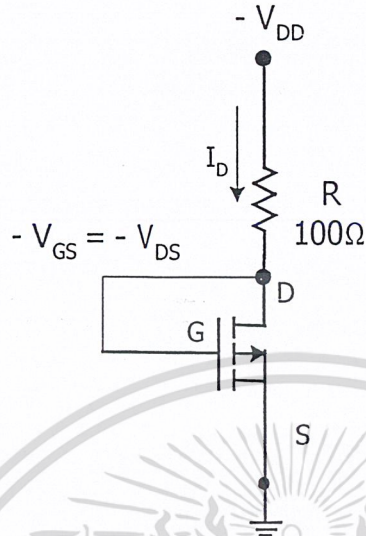
V_R/R เพื่อเปลี่ยนความต้านทานในวงจรวัดให้เหมาะสมกับตัวทรานซิสเตอร์ เมื่อใช้งาน โปรแกรมครั้งแรกในช่อง V_R/R จะแสดงค่าเป็น A/100 หมายความว่า ค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจรวัดมีค่าเท่ากับ 100 โอห์ม ถ้าใช้ค่าความต้านทานที่ไม่ถูกต้อง จะ

ทำให้กระแสเดรนที่ได้ไม่ถูกต้องด้วย (A หมายถึง V_R ดังนั้น V_R/R คือกระแสเดรนที่ได้จากการวัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ให้ข้อมูลเห็นข้อบกพร่องขอเสนอแนะด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วงจรที่ใช้วัดค่าแรงดันจีดเริ่มของพิมอสทรานซิสเตอร์

เมื่อต้องการวัดหาลักษณะเฉพาะของพิมอสทรานซิสเตอร์ให้ต่อวงจรดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 วงจรวัดค่าแรงดันจีดเริ่มของพิมอสทรานซิสเตอร์โดยให้เครื่องจ่ายแรงดันหมายเลข 715 และ 716 จ่ายแรงดันไฟฟ้าลบ

5. การใช้งานโปรแกรม

5.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องมือวัดอื่นๆ จากนั้นเปิด โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0

5.2 ค้นหาโปรแกรม VT pMOS เมื่อเจอโปรแกรมนี้อแล้วให้กดดับเบิ้ลคลิกทางซ้ายมือเพื่อเข้าสู่โปรแกรม VT pMOS

5.3 กรอกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (ดูหัวข้อ 3) ตัวอย่างเช่น ทดลองวัดลักษณะเฉพาะ $I_D - V_{GS}$ ของพิมอสทรานซิสเตอร์ เบอร์ IRF 9120 ของบริษัท MOTOROLA

START $V_{DD}(V) = 0 \text{ V}$

STOP $V_{DD}(V) = -10.0 \text{ V}$

STEP $V_{DD}(V) = -0.2 \text{ V}$

5.4 กดปุ่ม START เพื่อใช้งาน โปรแกรม ผลลัพธ์ของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 5.5

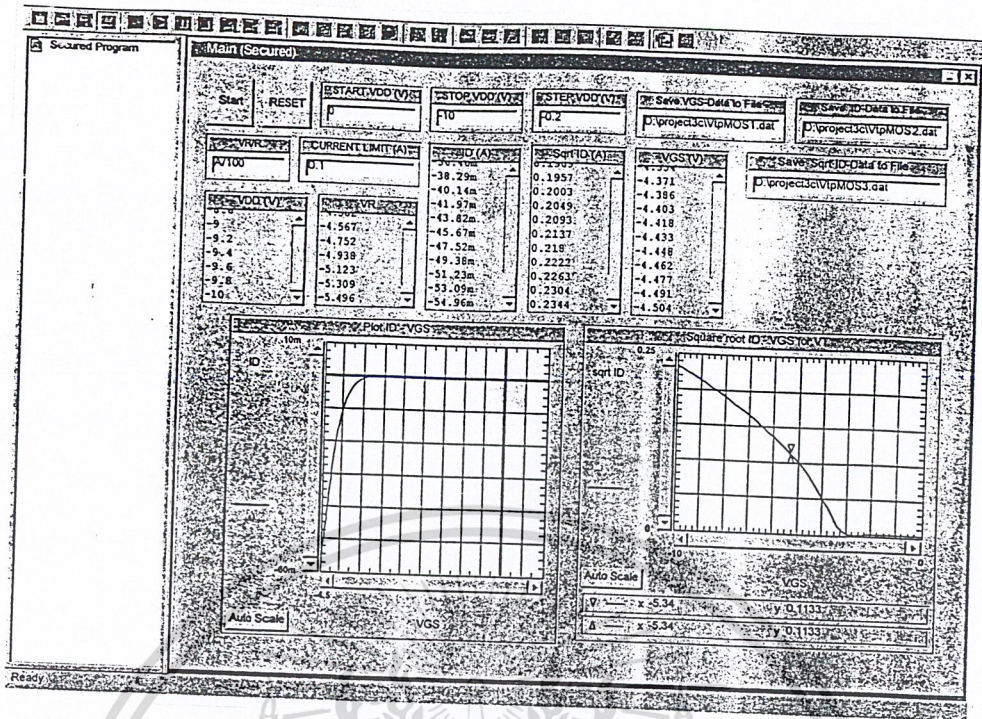
5.5 เมื่อสั่งให้กด Plot ข้อมูลจะได้กราฟแสดง ดังรูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7

6. การนำข้อมูลที่ได้ไฟล์ NOTEPAD ไปเขียนกราฟด้วยโปรแกรม Excel อีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่

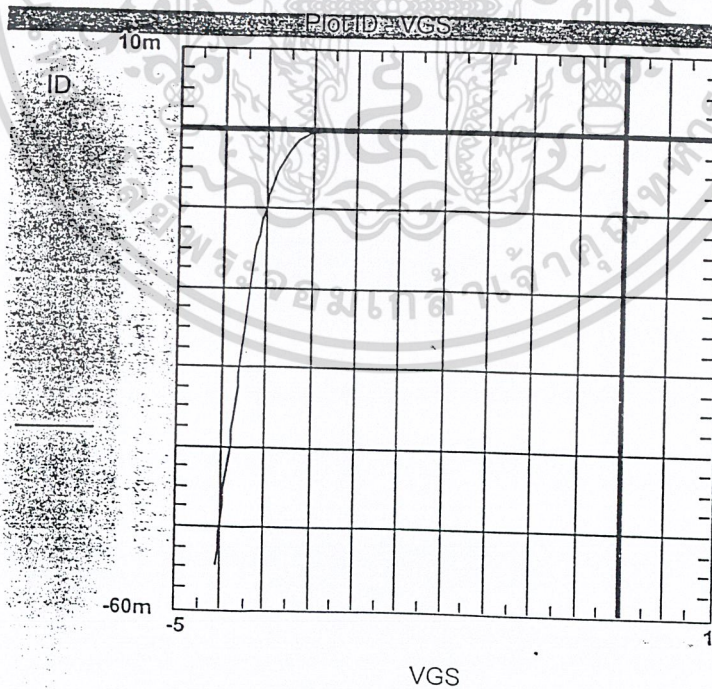
5.8

7. รายละเอียดของโปรแกรม แสดงในรูปที่ 5.9

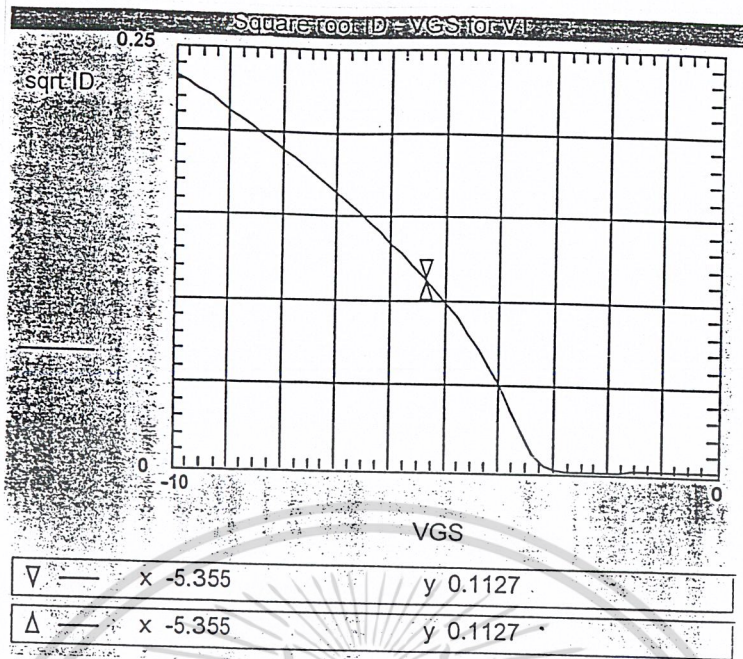
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



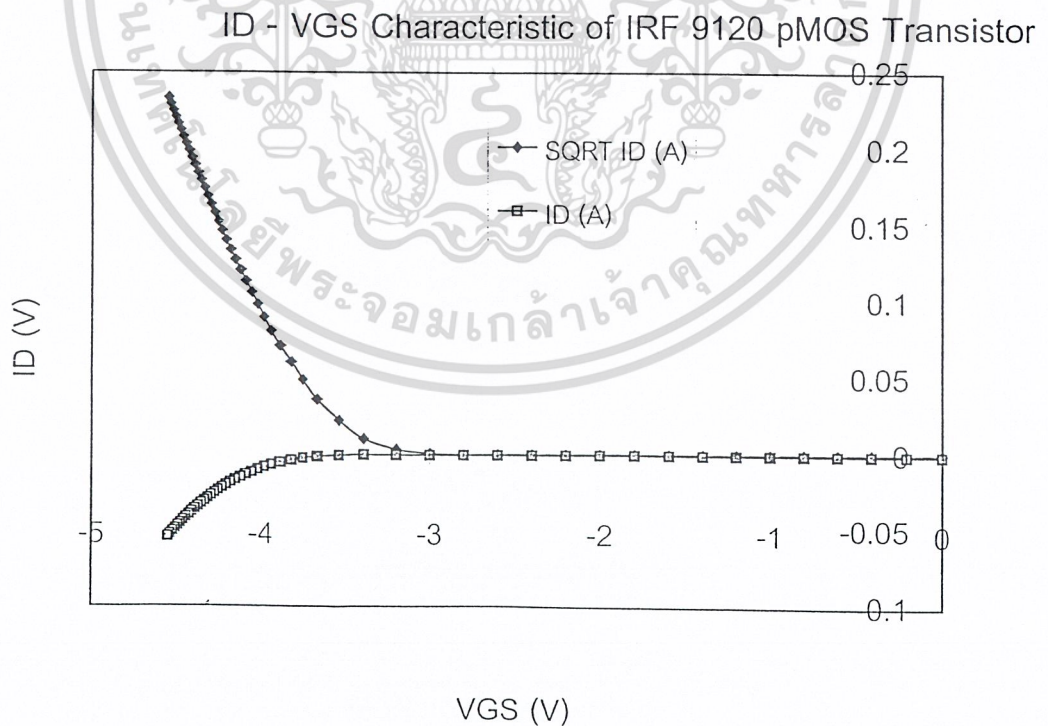
รูปที่ 5.5 หน้าจอคอมพิวเตอร์หลังจากการทำงาน โปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้ว



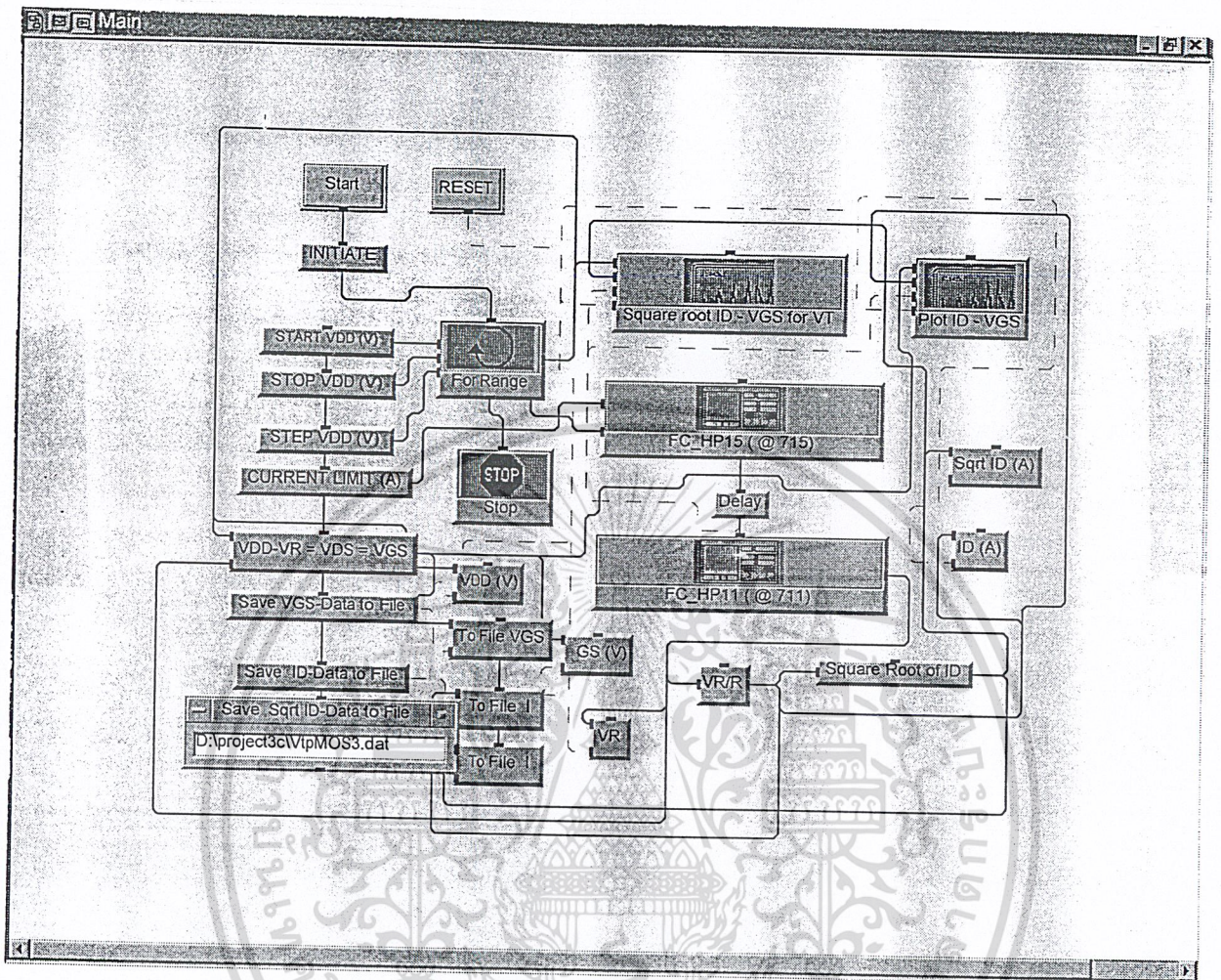
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 5.6 กราฟค่าแรงดันขั้วเริ่มของพินออสทรานซิสเตอร์ที่ได้จากตั้งค่าตั้ง Plot



รูปที่ 5.7 กราฟค่าแรงดันขั้วเริ่มของพินอสทรานซิสเตอร์ที่ได้จากการตั้งค่าตั้ง Plot



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.8 กราฟ ค่าแรงดันขั้วเริ่มของพินอสทรานซิสเตอร์ที่ได้จากการนำข้อมูลไปเขียนด้วย Excel นำมาใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีแบบลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตก่อน



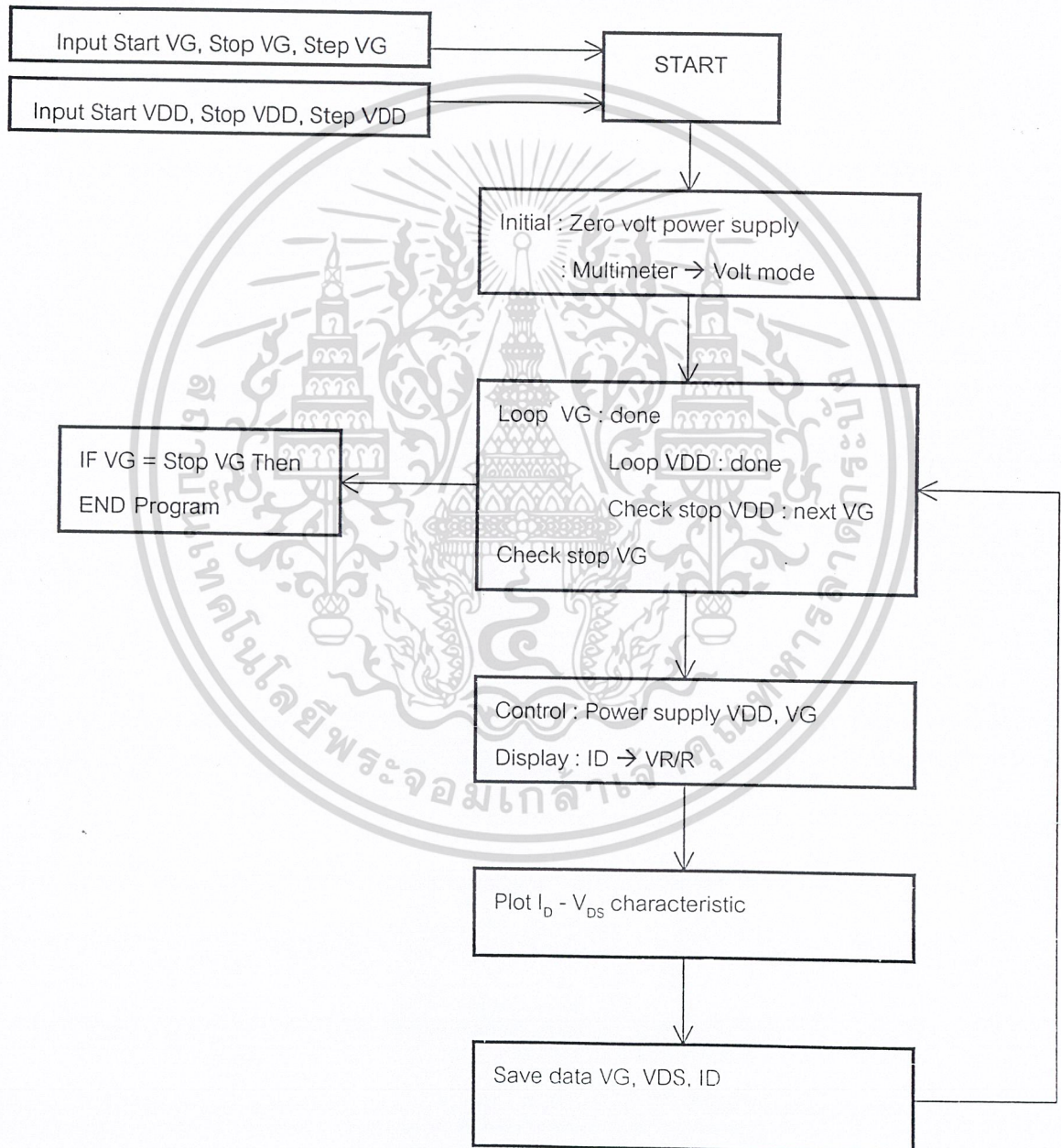
รูปที่ 5.9 รายละเอียดของ โปรแกรมวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของฟิโอสทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การใช้โปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสทรานซิสเตอร์

การออกแบบโปรแกรมควบคุมเครื่องมือวัด โปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสทรานซิสเตอร์ ($I_D - V_{GS}$ characteristic) ของพีมอสทรานซิสเตอร์ (pMOS transistor) มีลักษณะการทำงานเหมือนกับโปรแกรม I-V nMOS โดยมีส่วนที่แตกต่างกันคือ ส่วนของให้ไบอัสแก่พีมอสทรานซิสเตอร์ จะป้อนแรงดันผ่านชุดไฟฟ้าลบของ HP E3631A

โฟลชาร์ทการทำงานของ โปรแกรม

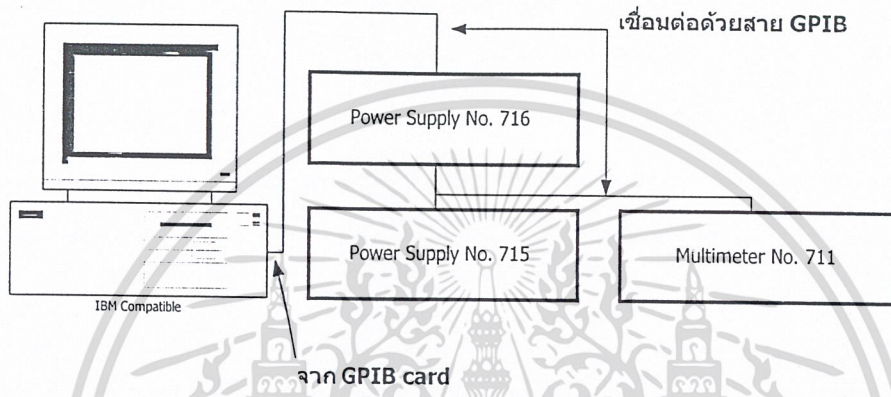


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.10 โฟลชาร์ทที่การทำงานของโปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสทรานซิสเตอร์

2. การตรวจสอบระบบคอมพิวเตอร์กับการเชื่อมต่อเครื่องมือวัด

ตรวจสอบคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมเครื่องมือวัด (COMPUTER NAME : MEASUREMENT

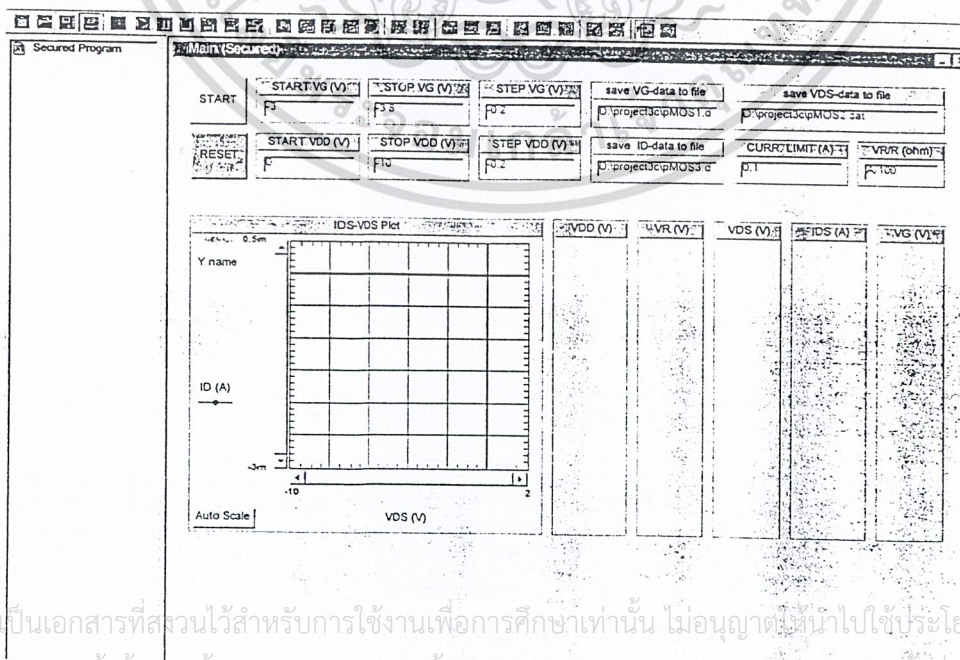
1) และการเชื่อมต่อสาย GPIB ระหว่างเครื่องมือวัดกับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยที่สายของ GPIB ของระบบจะถูกต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องจ่ายแรงดัน 2 ชุด (หมายเลขเครื่อง 715 ซึ่งทำหน้าที่จ่ายแรงดัน V_{DD} และหมายเลขเครื่อง 716 ซึ่งทำหน้าที่จ่ายแรงดัน V_G) และเครื่องมัลติมิเตอร์ 1 ชุด (หมายเลขเครื่อง 711) ดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 การเชื่อมต่อสาย GPIB ระหว่างเครื่องมือวัด เช่น มัลติมิเตอร์ และแหล่งจ่ายไฟฟ้า เป็นต้น (ซึ่งกำหนดหมายเลขที่แน่นอน โดยดูจากเครื่องมือวัด) เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

3. ลักษณะของ โปรแกรมบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

เมื่อใช้งาน โปรแกรมนี้ หน้าจอคอมพิวเตอร์จะแสดงดังรูปที่ 5.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงข้อถึงซึ่งของเอกสารนี้เพื่อการนำไปใช้

รูปที่ 5.12 ส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรมที่แสดง ภายหลังจากการทำงานของโปรแกรม

โดยมีรายละเอียดของส่วนต่างๆ ดังนี้คือ

- 3.1 Main (Secured) หมายถึง โปรแกรมที่ถูกป้องกันไว้ ไม่สามารถเปลี่ยนแปลง รายละเอียดภายในตัว โปรแกรมได้ นอกจากเปลี่ยนแปลงข้อมูลภายในช่องที่กำหนดไว้
- 3.2 ปุ่ม START หมายถึงปุ่มที่กดเพื่อเริ่มต้น โปรแกรมสำหรับควบคุมอุปกรณ์การวัด (ต้องการตรวจสอบความถูกต้องของระบบเครื่องมือวัด และวงจรที่ใช้วัดให้ถูกต้อง ดังรูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.13)
- 3.3 ปุ่ม RESET หมายถึงปุ่มที่ต้องการ clear ข้อมูลออกจากส่วนแสดงผล $V_{DD}(V), V_R(V), V_{GS}(V), I_D(A)$ และ $\text{Sqrt } I_D (A)^{1/2}$
- 3.4 ช่องกรอกข้อมูล (ต้องใส่ข้อมูลให้เรียบร้อยก่อนกดปุ่ม START โปรแกรม) ประกอบด้วย

3.4.1 ส่วนของแรงดันเกทประกอบด้วยช่อง

- START $V_G (V)$ หมายถึง การกำหนดค่าเริ่มต้นของแรงดันเกท
- STOP $V_G (V)$ หมายถึง การกำหนดค่าสุดท้ายของแรงดันเกท
- STEP $V_G (V)$ หมายถึง การกำหนดช่วงของแรงดันเกทแต่ละเส้น

3.4.1 ส่วนของแรงดันเดรน-ซอส ประกอบด้วยช่อง

- START $V_{DD} (V)$ หมายถึง การกำหนดค่าเริ่มต้นของแรงดันไบอัส
- STOP $V_{DD} (V)$ หมายถึง การกำหนดค่าสุดท้ายของแรงดันไบอัส
- STEP $V_{DD} (V)$ หมายถึง การกำหนดช่วงของแรงดันไบอัสที่วัดแต่ละจุด

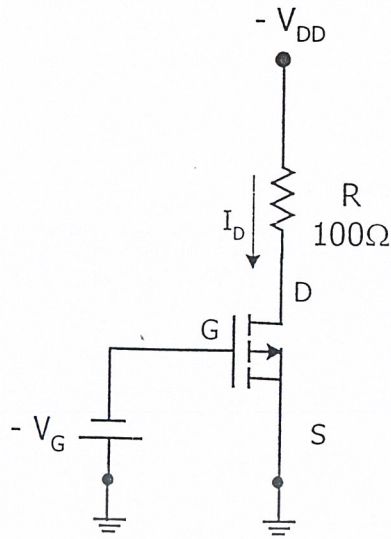
3.4.3 ส่วนของการบันทึกข้อมูลประกอบด้วยช่อง

- Save V_G -data to file หมายถึง การบันทึกข้อมูลของแรงดันเกท เช่น บันทึกเป็นไฟล์ pMOS1.dat ใน Part ของ C:\My documents
- Save V_{DS} -data to file หมายถึง การบันทึกข้อมูลของแรงดัน เดรน-ซอส เช่น บันทึกเป็นไฟล์ pMOS2.dat ใน Part ของ C:\My documents
- Save I_D -data to file หมายถึง การบันทึกข้อมูลของกระแสเดรน เช่น บันทึกเป็นไฟล์ pMOS3.dat ใน Part ของ C:\My documents
- ข้อควรระวัง ในกรณีที่ ไม่เปลี่ยนชื่อไฟล์ ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะทับไฟล์ข้อมูลเดียวกันตลอด เมื่อต้องการบันทึกข้อมูลของ pMOS ทรานซิสเตอร์ตัวต่อไปให้เปลี่ยนชื่อไฟล์ทุกครั้ง ไฟล์ที่บันทึกจะสามารถเรียกอ่านได้จากโปรแกรม NOTE PAD

4. วงจรที่ใช้วัดลักษณะเฉพาะของฟิมอสทรานซิสเตอร์

เมื่อต้องการวัดลักษณะเฉพาะของฟิมอสทรานซิสเตอร์ให้ต่อวงจรดังรูปที่ 5.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 วงจรวัดค่ากระแสและแรงดันของพีมอสทรานซิสเตอร์ โดยให้เครื่องจ่ายแรงดันหมายเลข 715 และ 716 จ่ายแรงดันไฟลบ

5. การใช้งานโปรแกรม

- 5.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องมือวัด จากนั้นเปิด โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0
- 5.2 ค้นหาโปรแกรม I-V pMOS เมื่อเจอ โปรแกรมนี้แล้วให้กดดับเบิ้ลคลิกเมาที่ด้านซ้ายมือ เพื่อเข้าสู่โปรแกรม I-V pMOS
- 5.3 กรอกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (ดูหัวข้อ 3) ตัวอย่างเช่น ทดลองวัดค่ากระแสและแรงดันของพีมอสทรานซิสเตอร์เบอร์ IRF 9120 ของบริษัท MOTOROLA

START V_G (V) = -3.0 V

STOP V_G (V) = -3.8 V

STEP V_G (V) = -0.2 V

START V_{DD} (V) = 0 V

STOP V_{DD} (V) = -10.0 V

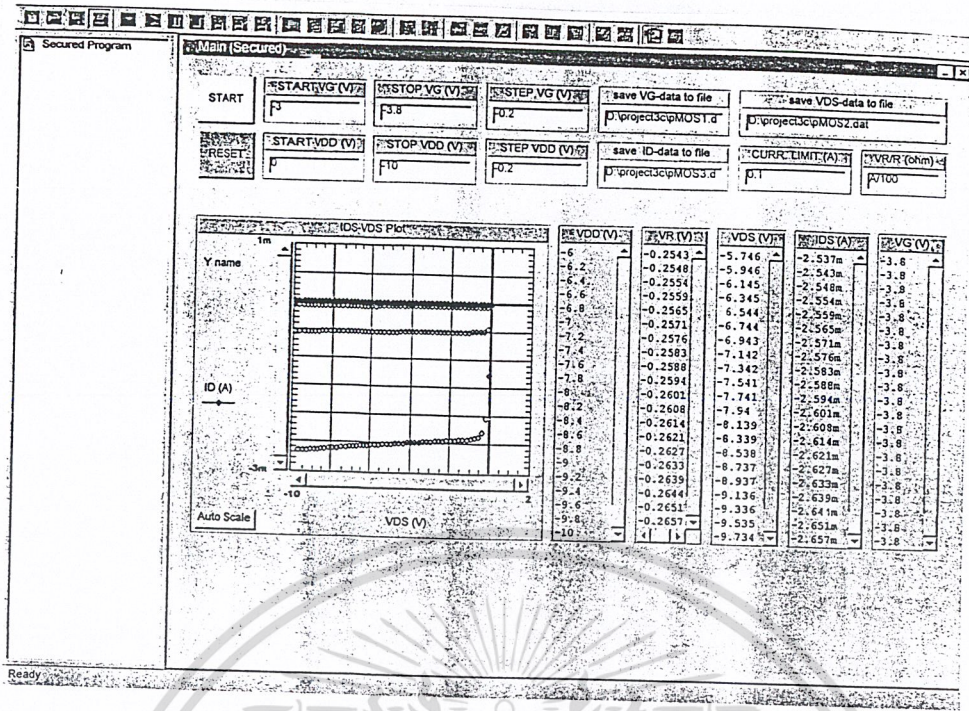
STEP V_{DD} (V) = -0.2 V

5.4 กดปุ่ม START เพื่อเข้าสู่การทำงานของโปรแกรม ผลของ โปรแกรมแสดงในรูปที่ 5.14

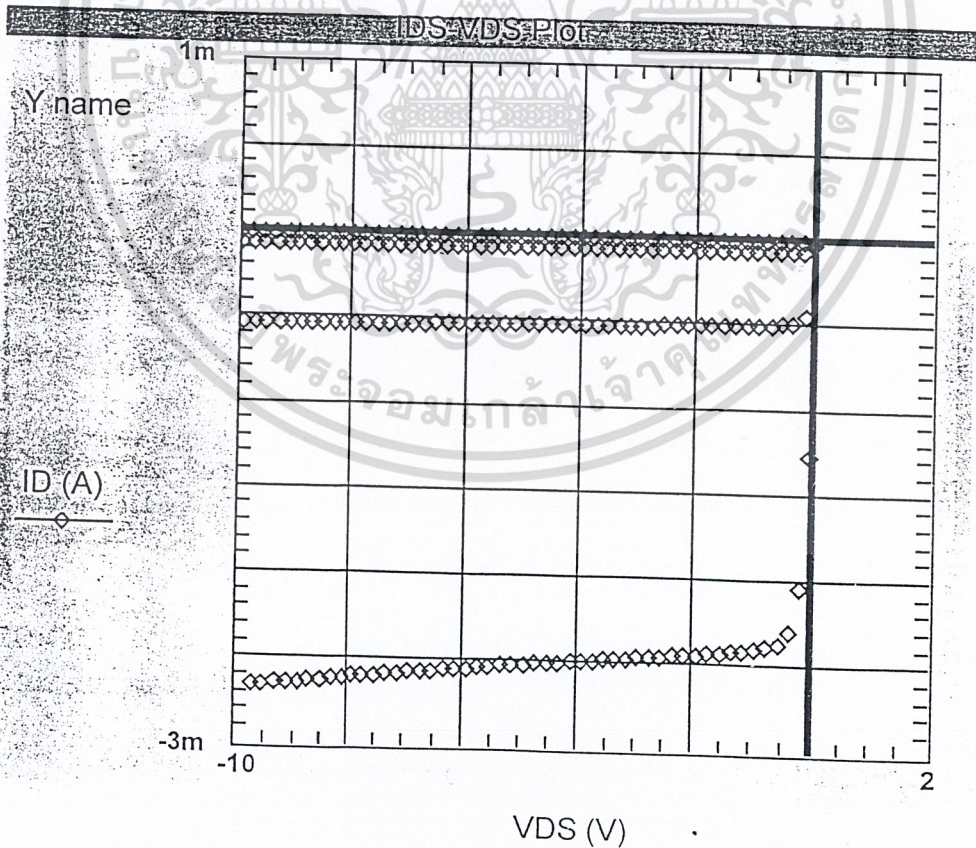
5.5 เมื่อสั่งให้ Plot ข้อมูล จะ ได้กราฟ ดังรูปที่ 5.15

6. การนำข้อมูลที่ได้ในไฟล์ NOTEPAD ไปเขียนกราฟด้วยโปรแกรม Excel อีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 5.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

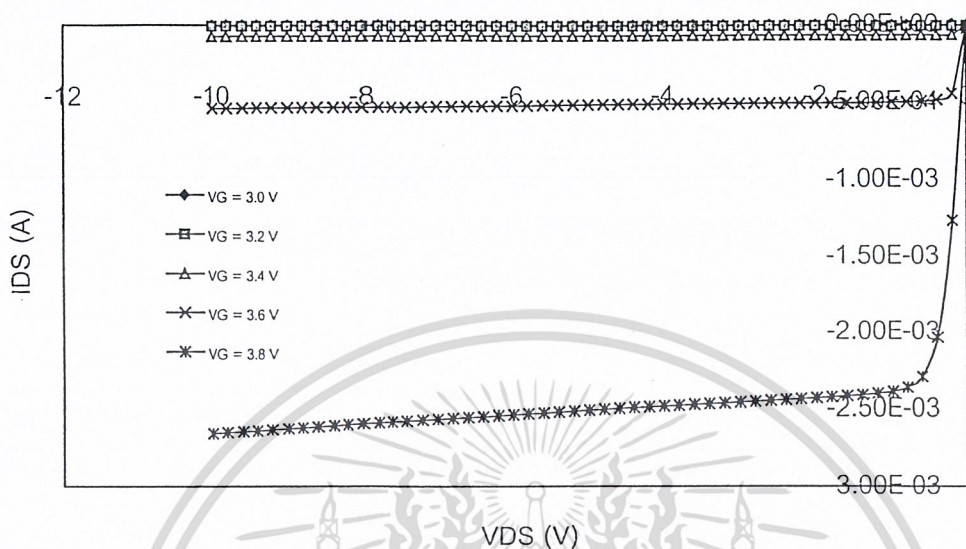


รูปที่ 5.14 หน้าจอคอมพิวเตอร์หลังจากโปรแกรมทำงานเสร็จ และสั่งพิมพ์ด้วยคำสั่ง Print

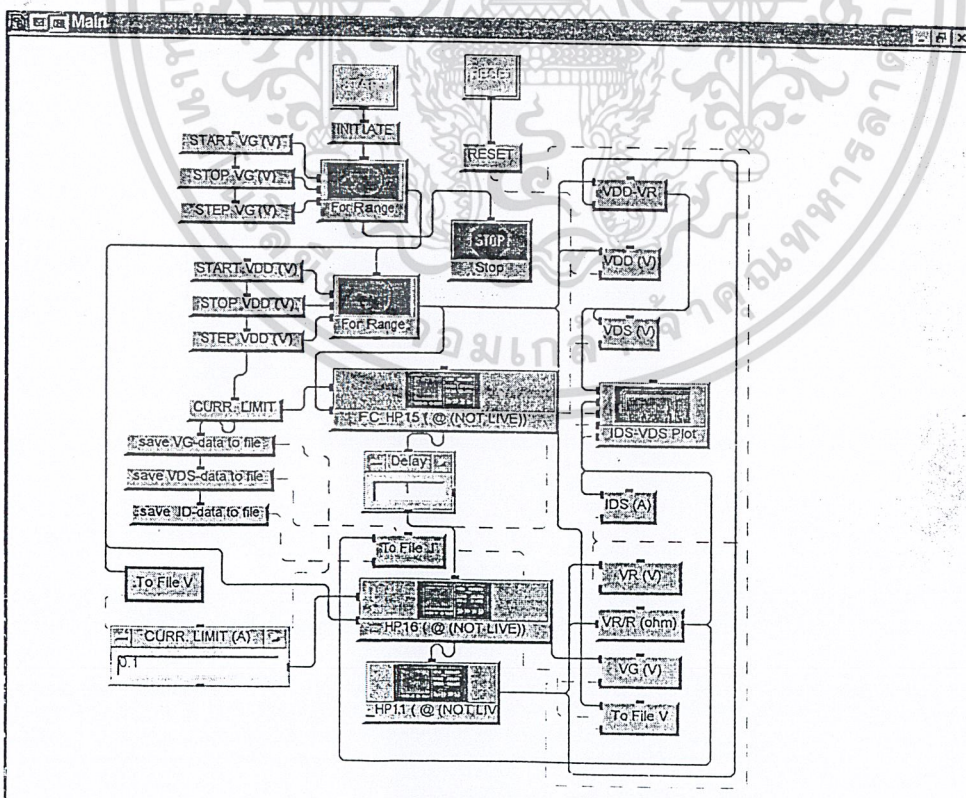


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 5.15 กราฟที่ได้จากการสั่งคำสั่ง Plot

ID - VDS Charateristic of IRF 9120 pMOS Transistor



รูปที่ 5.16 กราฟกระแสและแรงดันของพีมอสทรานซิสเตอร์ที่ได้จากการนำข้อมูลไปเขียนด้วยโปรแกรม Excel



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.17 รายละเอียดของโปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของพีมอสทรานซิสเตอร์ซึ่งถูกเขียน

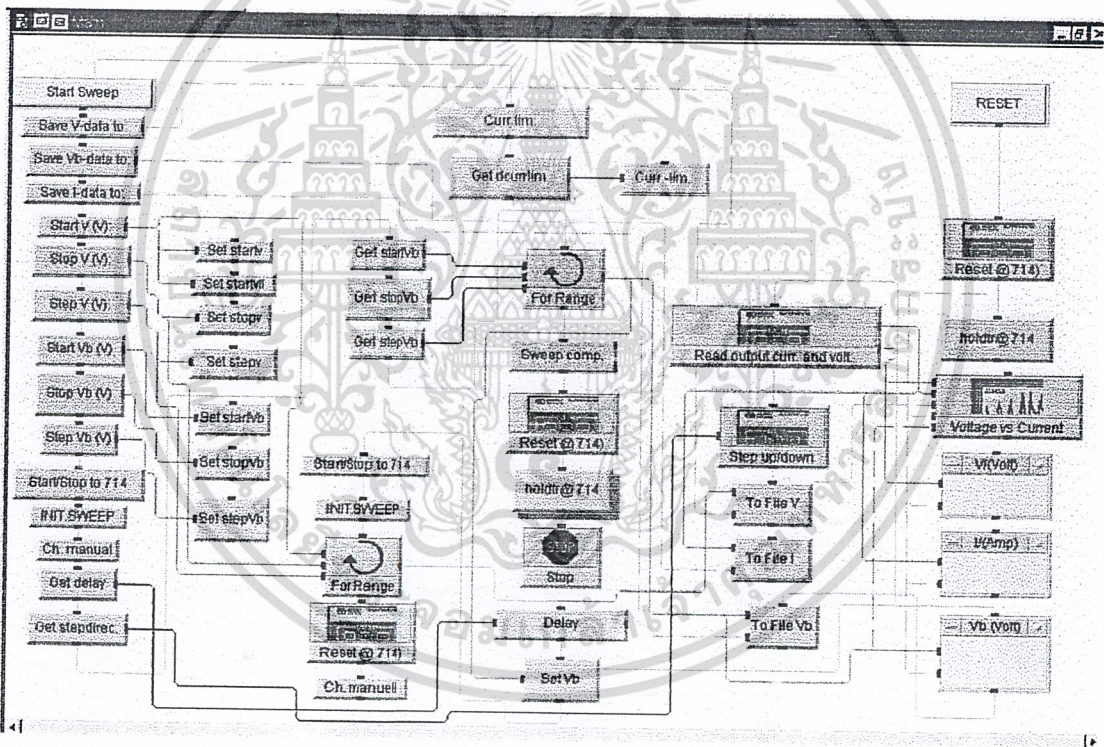
จาก Agilent VEE Pro 6.0

บทที่ 6

เทคนิคการวัดและการใช้งานของระบบเครื่องมือวัด HP 4061A

6.1 การใช้งานโปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสทรานซิสเตอร์

การออกแบบโปรแกรมควบคุมเครื่องมือ เพื่อวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสทรานซิสเตอร์ (MOS transistor) มีลักษณะการทำงานเหมือนกับ โปรแกรมในบทที่ 5 โดยมีส่วนที่แตกต่างกันคือ ส่วนของให้ไบอัสแกมมอสทรานซิสเตอร์ จะป้อนแรงดันผ่านชุดของ HP 4061A ซึ่งสามารถป้อนไฟได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบ โปรแกรมภายในแสดงดังรูป 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงส่วนของโปรแกรมภายในของวัดค่ากระแสและแรงดันของมอสทรานซิสเตอร์

ลักษณะของโปรแกรมบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

เมื่อใช้งาน โปรแกรมนี้ หน้าจอคอมพิวเตอร์จะแสดงดังรูปที่ 6.2

1 Main (Secured) หมายถึง โปรแกรมที่ถูกป้องกันไว้ ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรายละเอียด

เอกสารนี้ภายในตัวโปรแกรมได้ นอกจากเปลี่ยนแปลงข้อมูลภายในช่องที่กำหนดไว้ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ปุ่ม START หมายถึงปุ่มที่กดเพื่อเริ่มต้น โปรแกรมสำหรับควบคุมอุปกรณ์การวัด

(ต้องการตรวจสอบความถูกต้องของระบบเครื่องมือวัด)

3 ปุ่ม RESET หมายถึงปุ่มที่ต้องการ clear ข้อมูลออกจากส่วนแสดงผล V(V) , $V_A(V)$ และ $V_B(V)$

4 ช่องกรอกข้อมูล (ต้องใส่ข้อมูลให้เรียบร้อยก่อนกดปุ่ม START โปรแกรม)

ประกอบด้วย

4.1 ส่วนของแรงดันเกทประกอบด้วยช่อง

START V (V) หมายถึง การกำหนดค่าเริ่มต้นของแรงดันเดรน

STOP V (V) หมายถึง การกำหนดค่าสุดท้ายของแรงดันเดรน

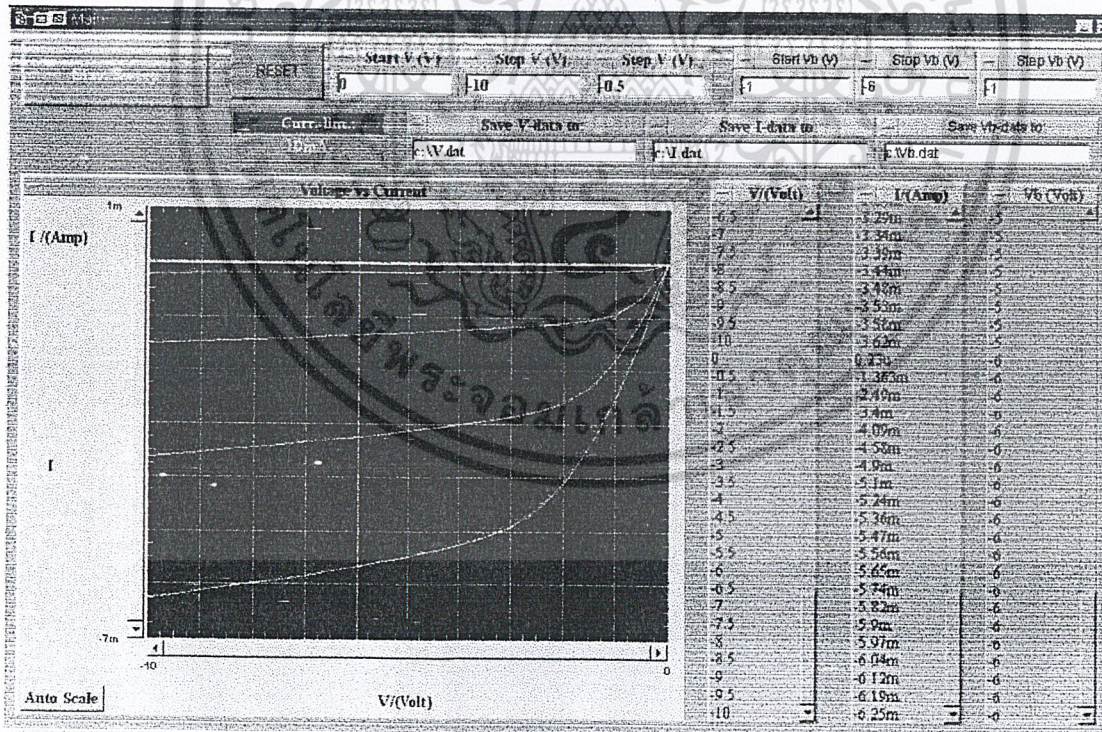
STEP V (V) หมายถึง การกำหนดช่วงของแรงดันเดรนแต่ละเส้น

4.2 ส่วนของแรงดันเดรน-ซอส ประกอบด้วยช่อง

START V_B (V) หมายถึง การกำหนดค่าเริ่มต้นของแรงดันไบอัส

STOP V_B (V) หมายถึง การกำหนดค่าสุดท้ายของแรงดันไบอัส

STEP V_B (V) หมายถึง การกำหนดช่วงของแรงดันไบอัสที่วัดแต่ละจุด



รูปที่ 6.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ภายหลังจากการทำงานของ โปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของพี

มอสทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดค่ากระแสและแรงดันของพีมอสทรานซิสเตอร์

1. วงจรที่ใช้วัดค่ากระแสและแรงดันของพีมอสทรานซิสเตอร์

เมื่อต้องการวัดค่ากระแสและแรงดันของพีมอสทรานซิสเตอร์ให้ต่อ pMOS

ให้ขาเดรนต่อกับ V_A , ขาเกตต่อกับ V_B และขาซอสต่อกับ GND

2. การใช้งานโปรแกรม

2.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องมือวัด จากนั้นเปิด โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0

2.2 ค้นหาโปรแกรม I-V MOS

2.3 กรอกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น ทดลองวัดวัดค่ากระแสและแรงดันของพีมอสทรานซิสเตอร์เบอร์ HEF 4007UB

START V(V) = 0 V

STOP V (V) = -10 V

STEP V (V) = -0.5 V

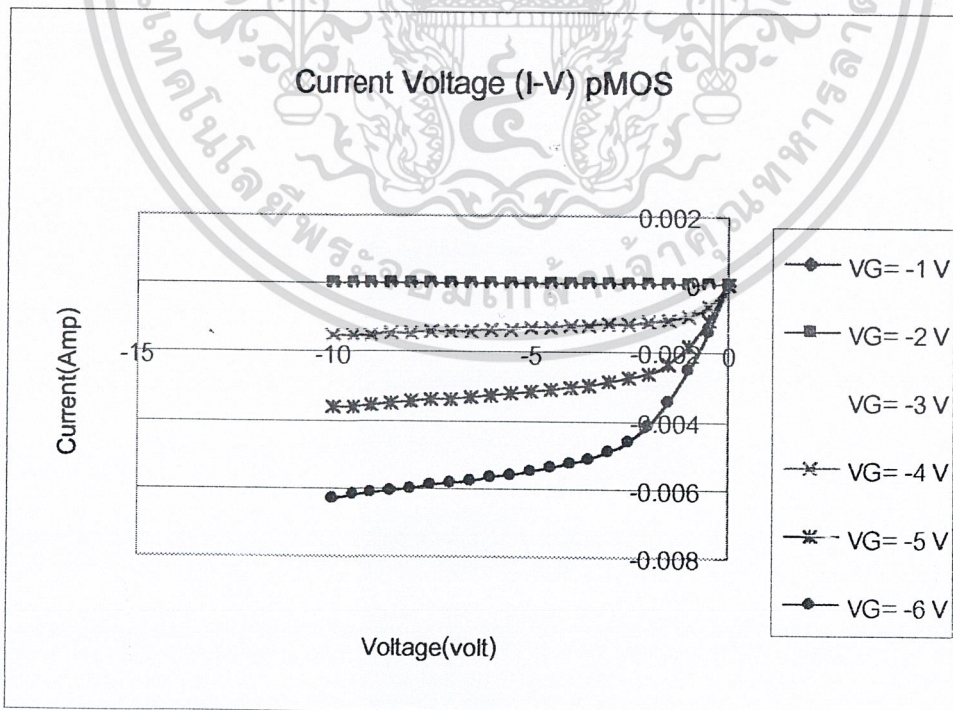
START VB (V) = -1 V

STOP VB (V) = -6 V

STEP VB (V) = -1 V

2.4 ทำการป้อนค่ากระแสจำกัดกระแสที่ 10 mA.

2.5 กดปุ่ม START เพื่อให้โปรแกรมทำงาน ผลของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 6.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 6.3 กราฟที่ได้จากการวัดค่ากระแสและแรงดันของพีมอสทรานซิสเตอร์จาก Excel

วัดค่ากระแสและแรงดันของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์

1. วงจรที่ใช้วัดค่ากระแสและแรงดันของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์

เมื่อต้องการวัดหลักขณะเฉพาะของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ให้ต่อ nMOS

ให้ขาเกรนต่อกับ V_A , ขาเกตต่อกับ V_B และขาซอสต่อกับ GND

2. การใช้งานโปรแกรม

2.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องมือวัด จากนั้นเปิดโปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0

2.2 ค้นหาโปรแกรม I-V MOS

2.3 กรอกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น ทดลองวัดค่ากระแสและแรงดันของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ เบอร์ HEF 4007UB

START V(V) = 0 V

STOP V (V) = 10 V

STEP V (V) = 0.5 V

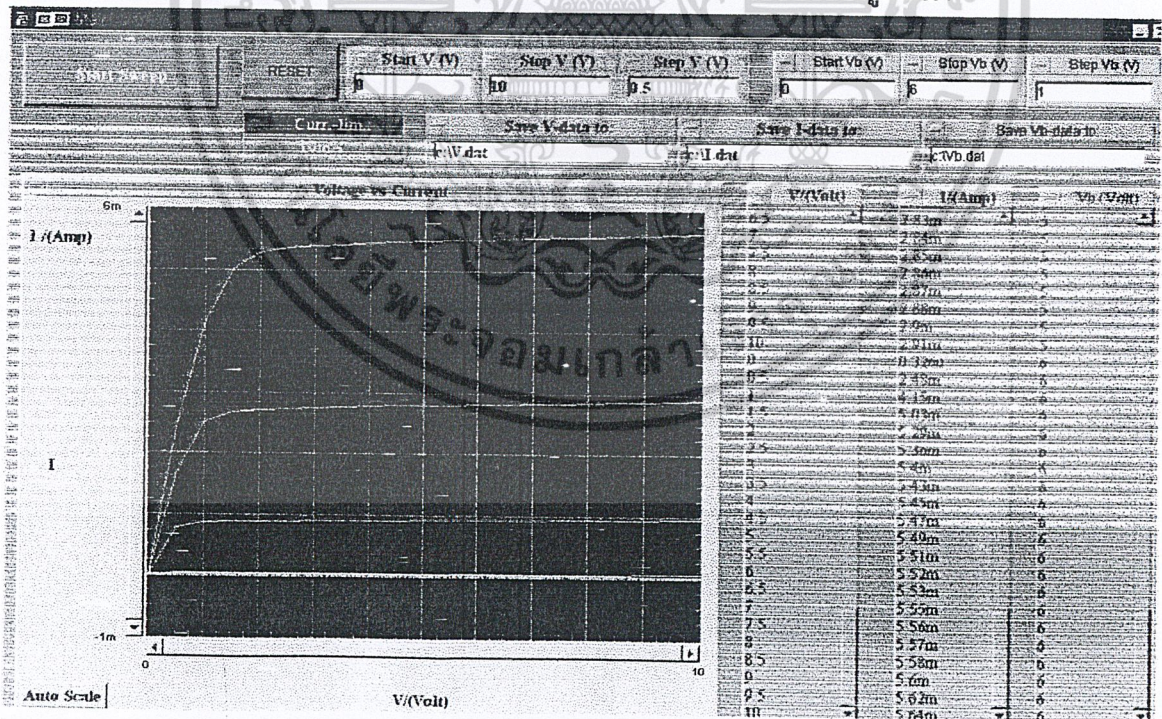
START V_B (V) = 0 V

STOP V_B (V) = 6 V

STEP V_B (V) = 1 V

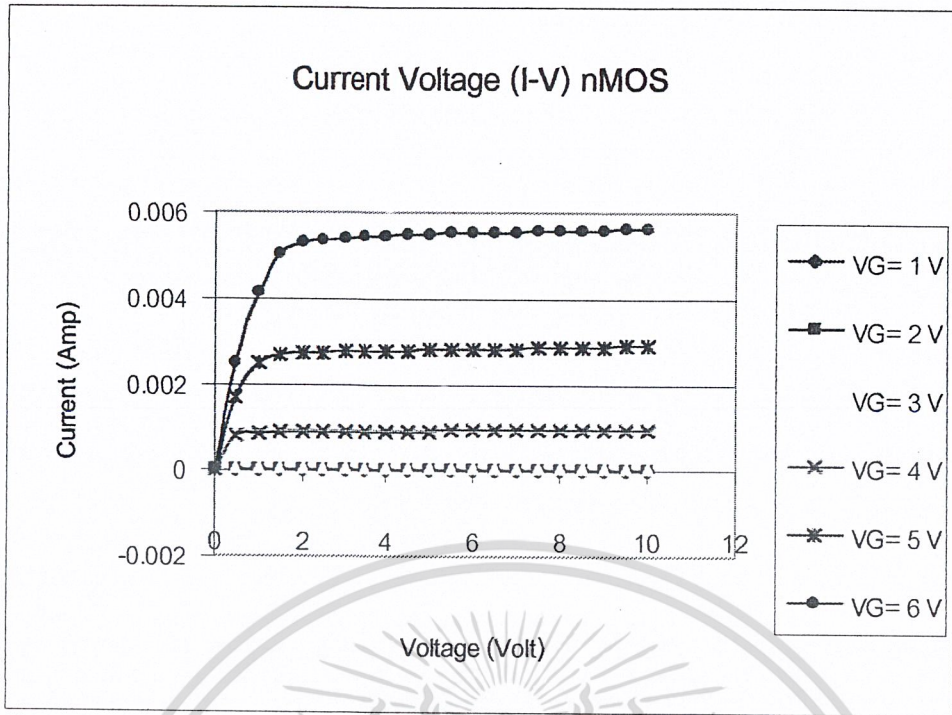
2.4 ทำการป้อนค่ากระแสจำกัดกระแสที่ 10 mA.

2.5 กดปุ่ม START เพื่อให้โปรแกรมทำงานผลของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของ โปรแกรม ภายหลังจากการทำงาน โปรแกรมวัดค่ากระแสและแรงดันของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์

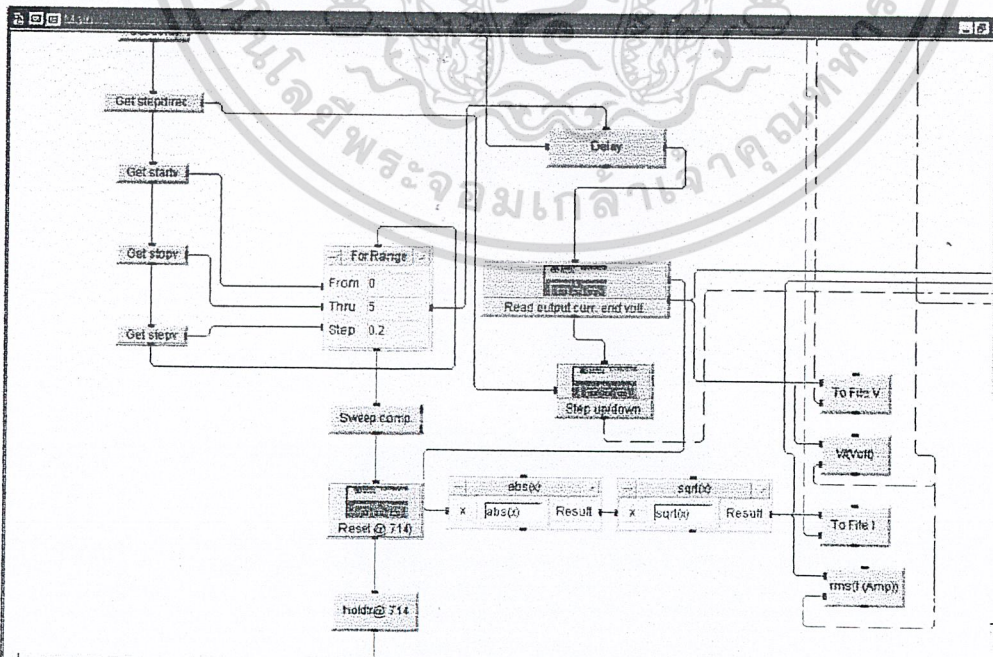
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 ค่ากระแสและแรงดันของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์จาก Excel

6.2 การใช้งานโปรแกรมวัดค่าแรงดันขั้วเริ่มของมอสทรานซิสเตอร์

การออกแบบ โปรแกรมควบคุมเครื่องมือวัด เพื่อวัดค่าแรงดันขั้วเริ่มของมอสทรานซิสเตอร์ (MOS transistor) มีลักษณะการทำงานเหมือนกับ โปรแกรมกระแสและแรงดัน โดยมีส่วนที่แตกต่างกันคือ ส่วนของให้ไบอัสแกมมอสทรานซิสเตอร์ จะแสดงโปรแกรมภายในของ โปรแกรมวัดค่าแรงดันขั้วเริ่มของมอสทรานซิสเตอร์



รูปที่ 6.6 แสดงส่วนของโปรแกรมภายในของ โปรแกรมวัดค่าแรงดันขั้วเริ่มของมอสทรานซิสเตอร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าแรงดันขั้วเริ่มของพีมอสทรานซิสเตอร์

1. วงจรที่ใช้การใช้งาน โปรแกรมวัดค่าแรงดันขั้วเริ่มของพีมอสทรานซิสเตอร์ ให้ต่อ pMOS ให้ขาเดรนต่อกับขาเกตต่อกับ V_A และขาซอสต่อกับ GND

2. การใช้งานโปรแกรม

2.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องมือวัด จากนั้นเปิดโปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0

2.2 ค้นหาโปรแกรม V_{th} MOS

2.3 กรอกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น ทดลองวัดค่าแรงดันขั้วเริ่มของพีมอสทรานซิสเตอร์เบอร์ HEF 4007UB

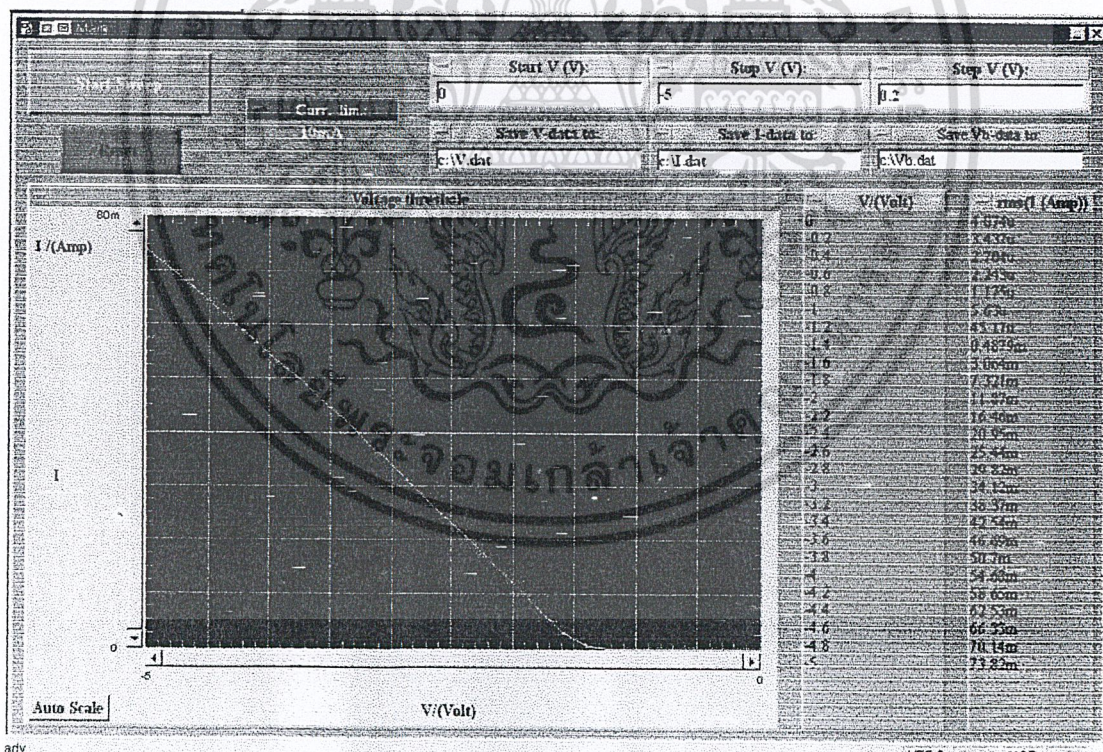
START V (V) = 0 V

STOP V (V) = -5 V

STEP V (V) = 0.2 V

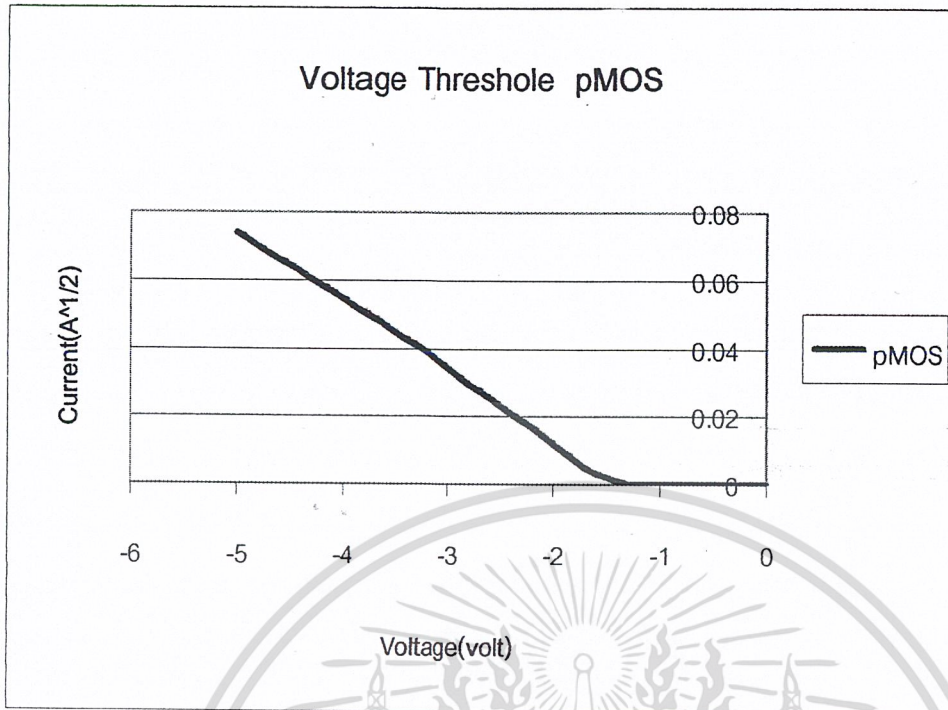
2.4 ทำการป้อนค่ากระแสจำกัดกระแสที่ 1 mA.

2.5 กดปุ่ม START เพื่อให้โปรแกรมทำงาน ผลของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของโปรแกรมภายหลังจากการทำงาน โปรแกรมการวัดค่าแรงดันขั้วเริ่มของพีมอสทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.8 กราฟวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของพีมอสทรานซิสเตอร์จาก Excel
การวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์

1. วงจรที่ใช้วัดค่าแรงดันขีดเริ่มของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ให้ต่อ nMOS ให้ขาเดรนต่อกับขาเกตต่อกับ V_A และขาซอสต่อกับ GND

2. การใช้งานโปรแกรม

- 2.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องมือวัด จากนั้นเปิด โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0
- 2.2 ค้นหาโปรแกรม V_{th} MOS
- 2.3 กรอกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น วัดค่าแรงดันขีดเริ่มของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ เบอร์ HEF 4007UB

$$\text{START V (V)} = 0 \quad \text{V}$$

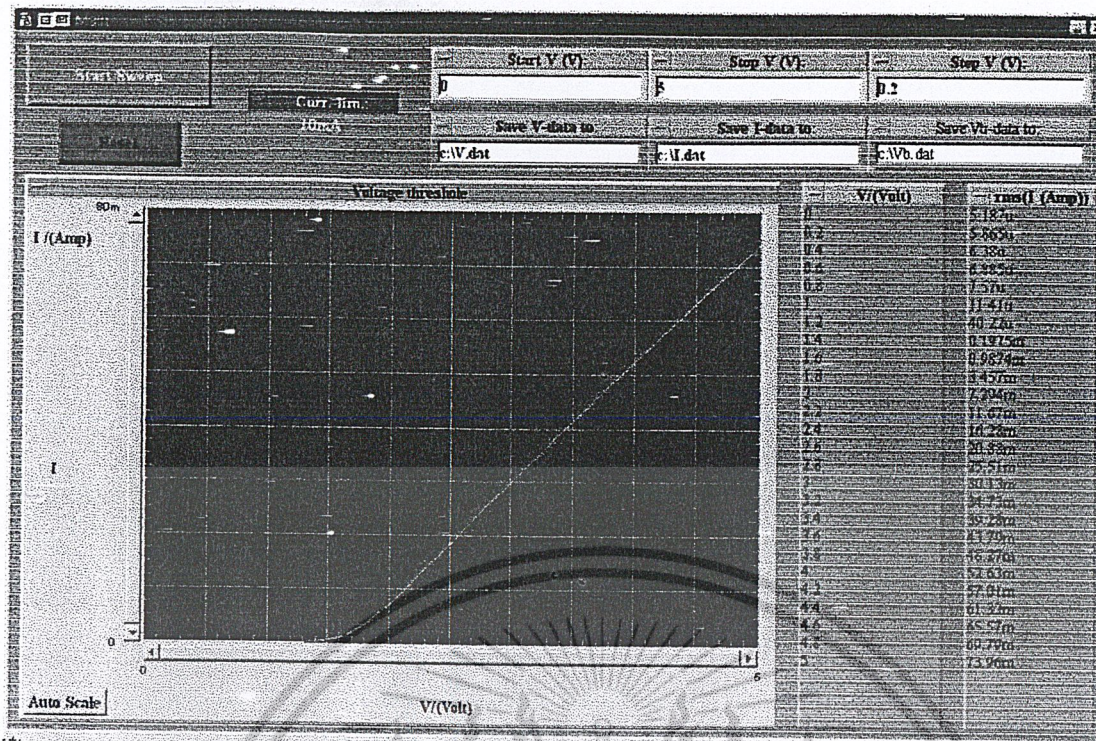
$$\text{STOP V (V)} = 5 \quad \text{V}$$

$$\text{STEP V (V)} = 0.2 \quad \text{V}$$

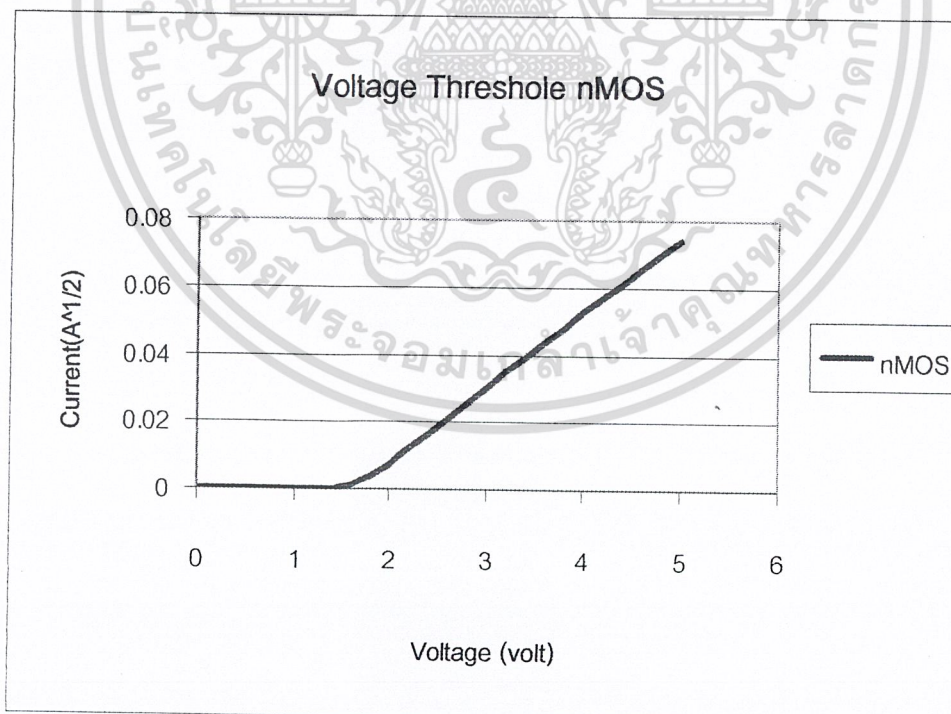
2.4 ทำการป้อนค่ากระแสจำกัดกระแสที่ 1 mA.

2.5 กดปุ่ม START เพื่อให้โปรแกรมทำงาน ผลของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 6.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



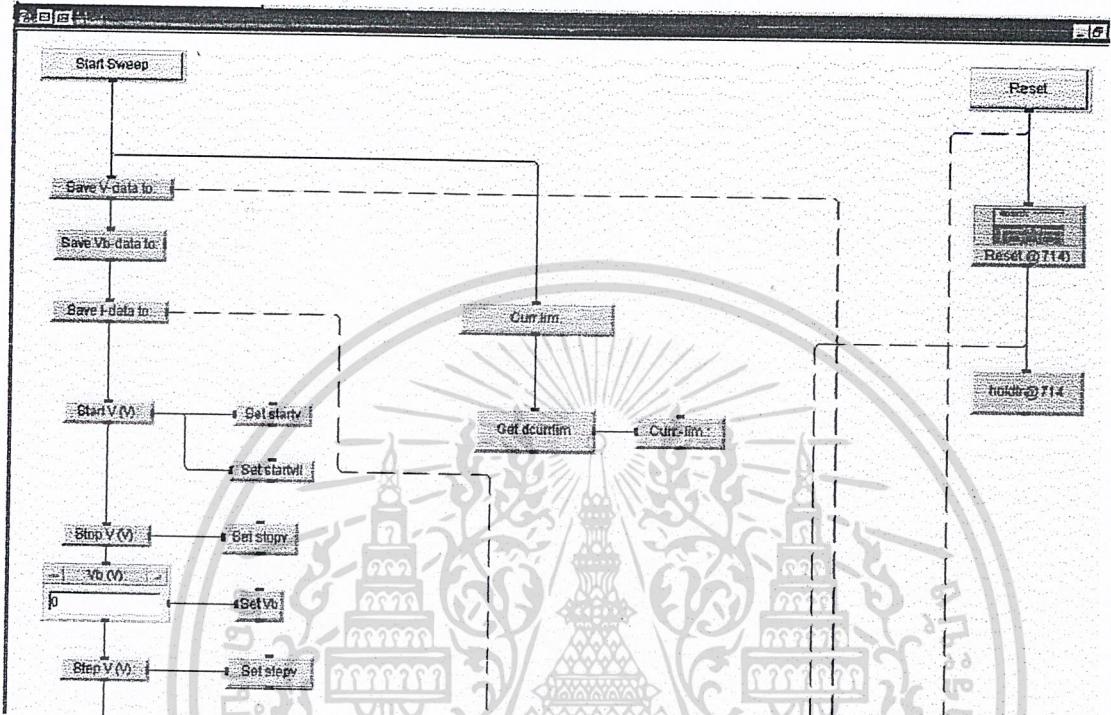
รูปที่ 6.9 ส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรมภายหลังจากการทำงานของโปรแกรมการวัดค่าแรงดันขีดเริ่มของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 6.10 กราฟค่าแรงดันขีดเริ่มของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์จาก Excel
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การใช้งานโปรแกรมวัดค่าแรงดันพังทลายของมอสทรานซิสเตอร์

การออกแบบโปรแกรมควบคุมเครื่องมือวัด เพื่อวัดค่าแรงดันพังทลายของมอสทรานซิสเตอร์ (MOS transistor) มีลักษณะการทำงานเหมือนกับ โปรแกรมกระแสและแรงดัน โดยมีส่วนที่แตกต่างกันคือ ส่วนของให้ไบอัสแก่มอสทรานซิสเตอร์ จะแสดงโปรแกรมภายในของ โปรแกรมการวัดค่าแรงดันพังทลายของมอสทรานซิสเตอร์



รูปที่ 6.11 แสดงส่วนของ โปรแกรมภายในของ โปรแกรมวัดค่าแรงดันพังทลายของมอสทรานซิสเตอร์

การวัดค่าแรงดันพังทลายของพีมอสทรานซิสเตอร์

1. วงจรที่ใช้วัดวัดค่าแรงดันพังทลายของพีมอสทรานซิสเตอร์ให้ต่อ pMOS

ให้ขาเกตต่อกับ V_A , ขาเกตต่อกับ V_B และขาซอสต่อกับ GND

เราจะทำการตั้ง $V_B = 0 V$.

2. การใช้งานโปรแกรม

2.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องมือวัด จากนั้นเปิด โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0

2.2 ค้นหาโปรแกรม Break Down MOS

2.3 กรอกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น ทดลองวัดค่าแรงดันพังทลายของพีมอสทรานซิสเตอร์ เบอร์ HEF 4007UB

$$\text{START V(V)} = 0 V$$

$$\text{STOP V(V)} = -32 V$$

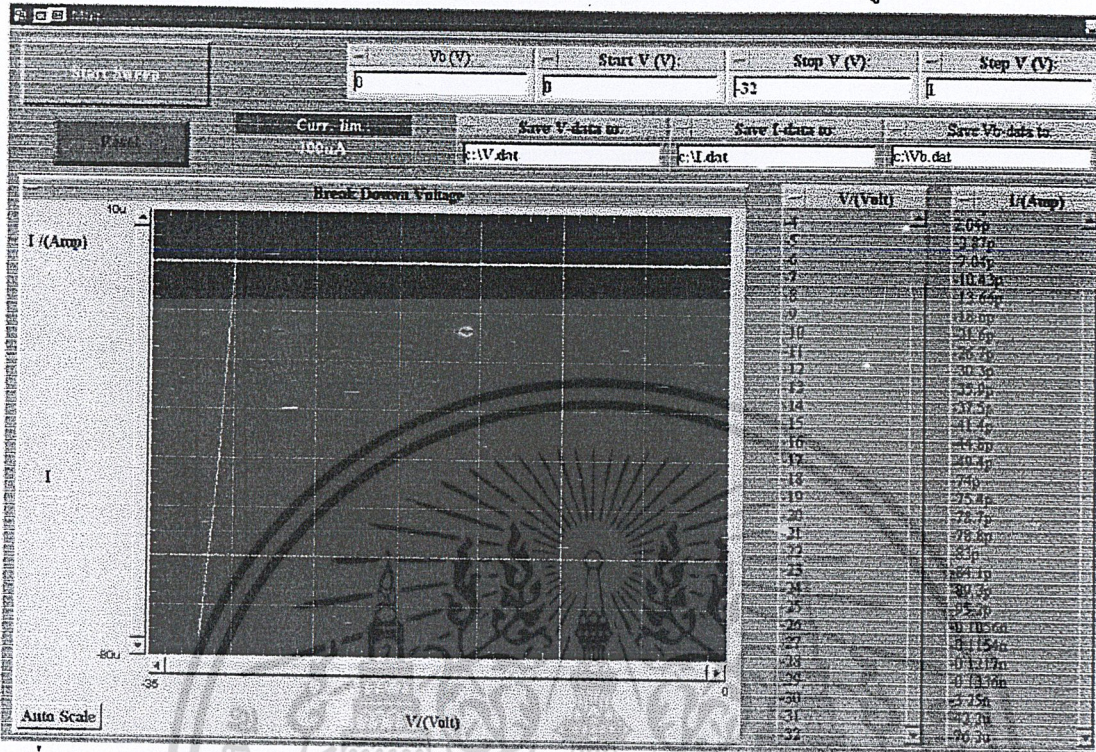
$$\text{STEP V(V)} = -1 V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

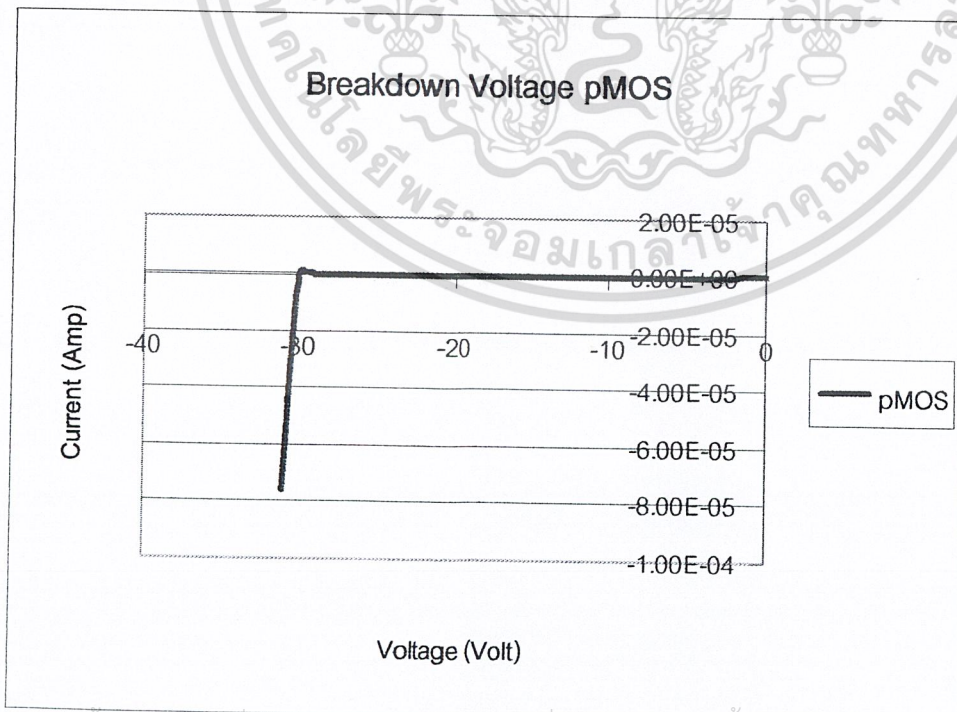
$$V_B (V) = 0 \text{ V}$$

2.4 ทำการป้อนค่ากระแสจำกัดกระแสที่ 100 uA.

2.5 กดปุ่ม START เพื่อให้โปรแกรมทำงาน ผลของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 6.12



รูปที่ 6.12 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของ โปรแกรม ภายหลังจากการทำงานของ โปรแกรม วัดค่าแรงดันพังทลายของพีมอสทรานซิสเตอร์



รูปที่ 6.13 กราฟค่าแรงดันพังทลายของพีมอสทรานซิสเตอร์จาก Excel

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าแรงดันพังทลายของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์

1. วงจรที่ใช้วัดค่าแรงดันพังทลายของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ให้ต่อ nMOS

ให้ขาเดรนต่อกับ V_A , ขาเกตต่อกับ V_B และขาซอสต่อกับ GND

เราจะทำการตั้ง $V_B = 0$ V.

2. การใช้งานโปรแกรม

2.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องมือวัด จากนั้นเปิด โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0

2.2 ค้นหาโปรแกรม Break Down MOS

2.3 กรอกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น วัดค่าแรงดันพังทลายของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์

เบอร์ HEF 4007UB

$$\text{START V (V)} = 0 \text{ V}$$

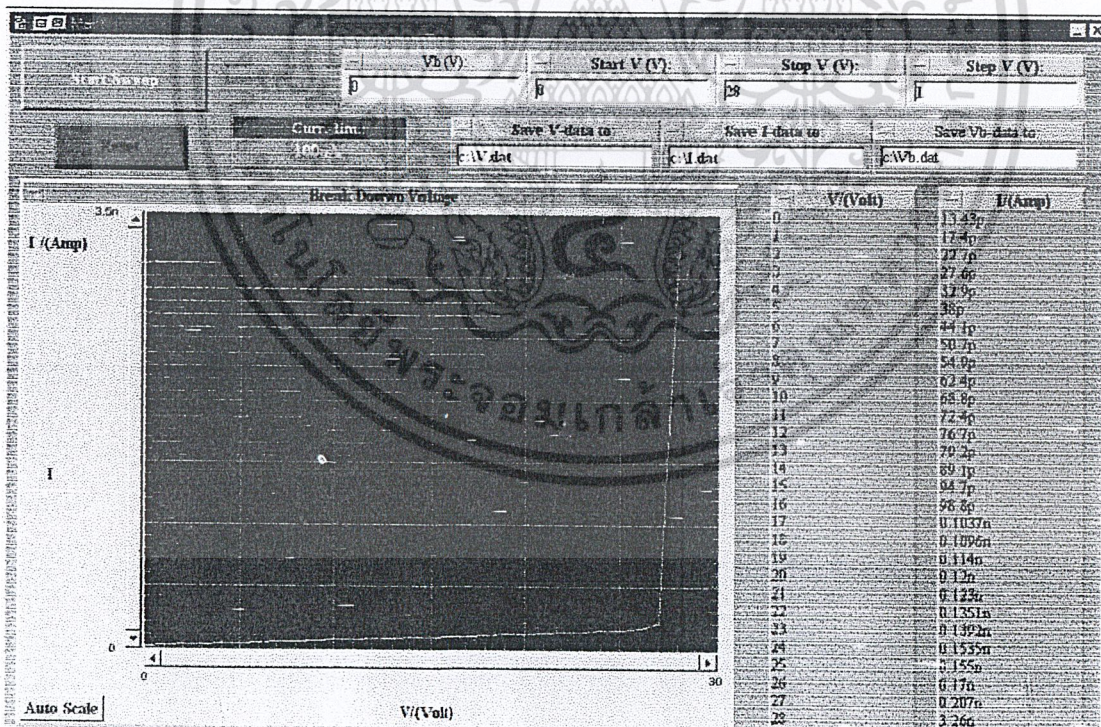
$$\text{STOP V (V)} = 28 \text{ V}$$

$$\text{STEP V (V)} = 1 \text{ V}$$

$$V_B \text{ (V)} = 0 \text{ V}$$

2.4 ทำการป้อนค่ากระแสจำกัดกระแสที่ 100 μ A.

2.5 กดปุ่ม START เพื่อให้โปรแกรมทำงาน ผลของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 6.14

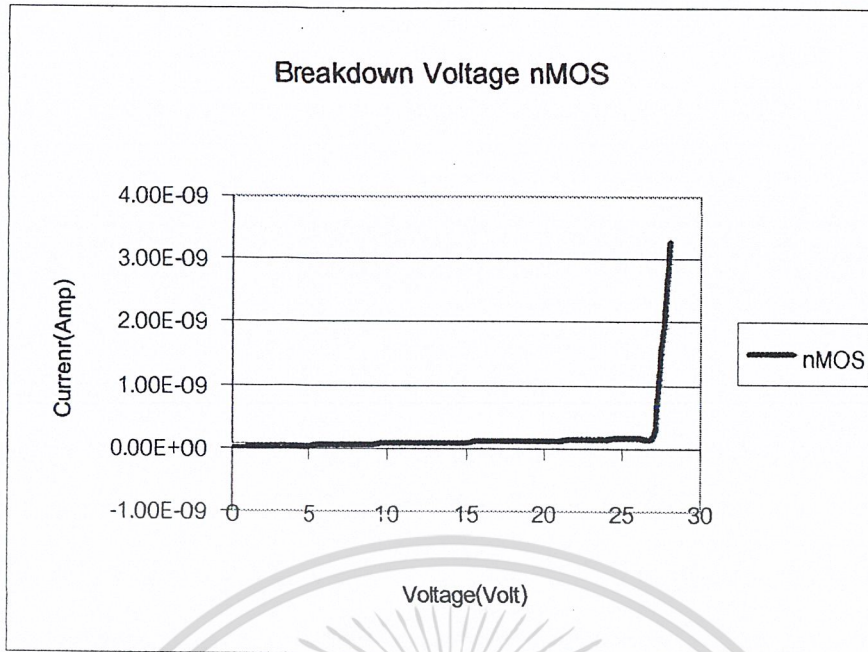


รูปที่ 6.14 ส่วนประกอบต่างๆ ของ โปรแกรมภายหลังจากการทำงานของโปรแกรมวัดค่าแรงดัน

พังทลายของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

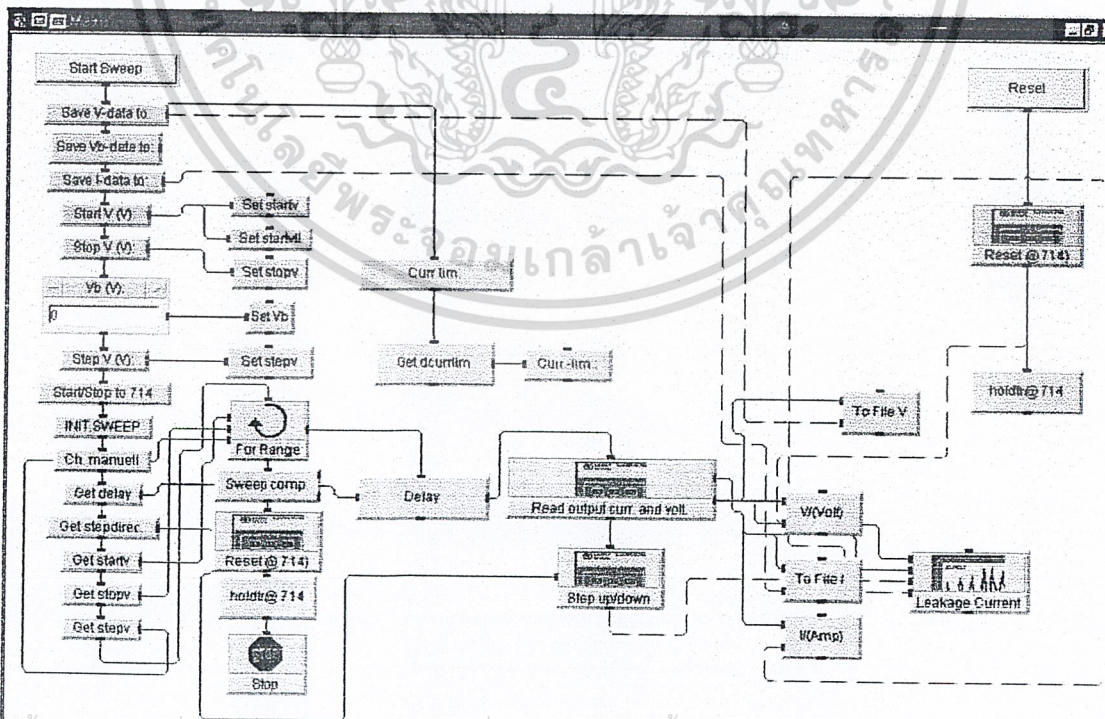
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.15 กราฟค่าแรงดันพังทลายของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์จาก Excel

6.4 การใช้งานโปรแกรมวัดค่ากระแสรั่วไหลของมอสทรานซิสเตอร์

การออกแบบโปรแกรมควบคุมเครื่องมือวัด เพื่อวัดค่ากระแสรั่วไหลของมอสทรานซิสเตอร์ (MOS transistor) มีลักษณะการทำงานเหมือนกับ โปรแกรมแรงดันพังทลาย โดยมีส่วนที่ต่างกัันคือ ส่วนของให้ไบอัสแกมมอสทรานซิสเตอร์ โปรแกรมภายในแสดงดังรูป 6.16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 6.16 แสดงส่วนของโปรแกรมภายในโปรแกรมวัดค่ากระแสรั่วไหลของมอสทรานซิสเตอร์

การวัดค่ากระแสรั่วไหลของพีมอสทรานซิสเตอร์

1. วงจรที่ใช้วัดค่ากระแสรั่วไหลของพีมอสทรานซิสเตอร์ให้ต่อ pMOS

ให้ขาเดรนต่อกับ V_A , ขาเกตต่อกับ V_B และขาซอสต่อกับ GND

เราจะทำการตั้ง $V_B = 0$ V.

2. การใช้งาน โปรแกรม

2.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องมือวัด จากนั้นเปิด โปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0

2.2 ค้นหาโปรแกรม Leakage Current MOS

2.3 กรอกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น ทดลองวัดค่ากระแสรั่วไหลของพีมอสทรานซิสเตอร์

เบอร์ HEF 4007UB

START V(V) = 0 V

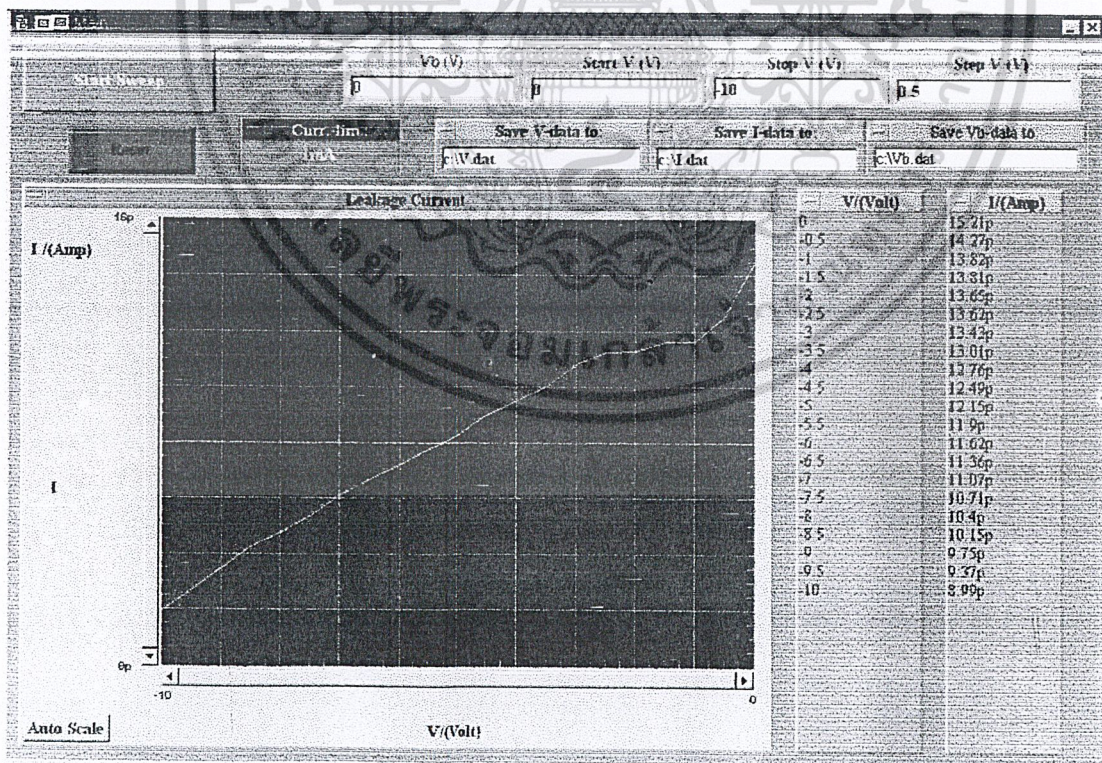
STOP V (V) = -10 V

STEP V (V) = 0.5 V

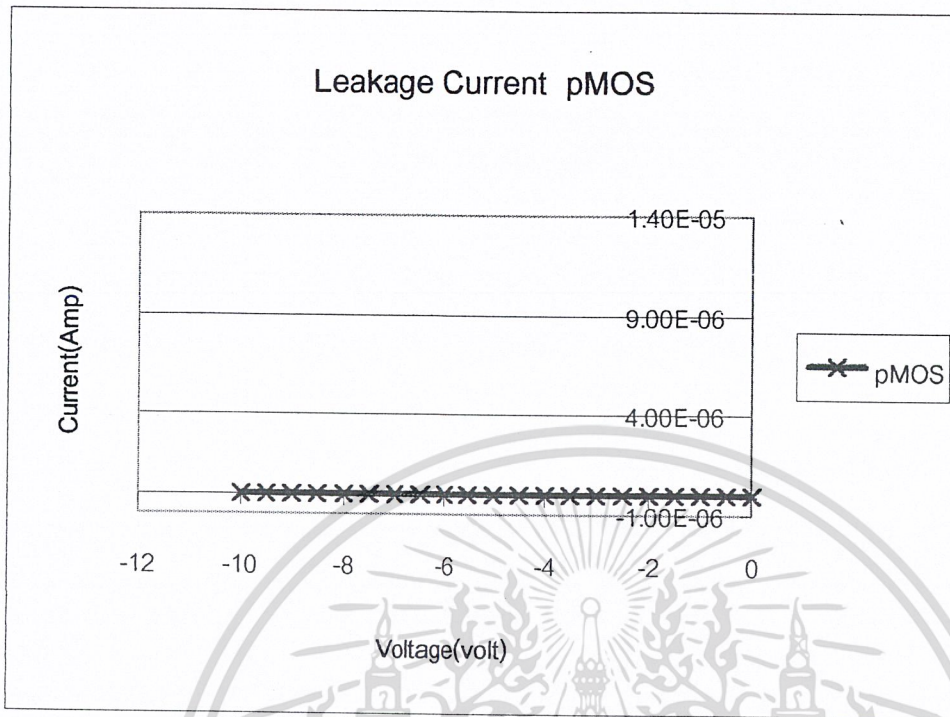
V_B (V) = 0 V

2.4 ทำการป้อนค่ากระแสจำกัดกระแสที่ 1 mA.

2.5 กดปุ่ม START เพื่อให้ โปรแกรมทำงาน ผลของ โปรแกรมแสดงในรูปที่ 6.17



รูปที่ 6.17 ส่วนประกอบต่าง ๆ ภายหลังจากการทำงานของโปรแกรมวัดค่ากระแสรั่วไหล
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.18 กราฟค่ากระแสรั่วไหลของพินอสทรานซิสเตอร์จาก Excel

การวัดค่ากระแสรั่วไหลของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์

1. วงจรที่ใช้วัดค่ากระแสรั่วไหลของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ให้คือ nMOS

ให้ขาเดรนต่อกับ V_A , ขาเกตต่อกับ V_B และขาซอสต่อกับ GND

เราจะทำการตั้ง $V_B = 0$ V.

2. การใช้งานโปรแกรม

2.1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องมือวัด จากนั้นเปิดโปรแกรม Agilent VEE Pro 6.0

2.2 ค้นหาโปรแกรม Leakage Current MOS

2.3 กรอกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น ทดลองวัดค่ากระแสรั่วไหลของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์เบอร์ HEF 4007UB

START V(V) = 0 V

STOP V (V) = 10 V

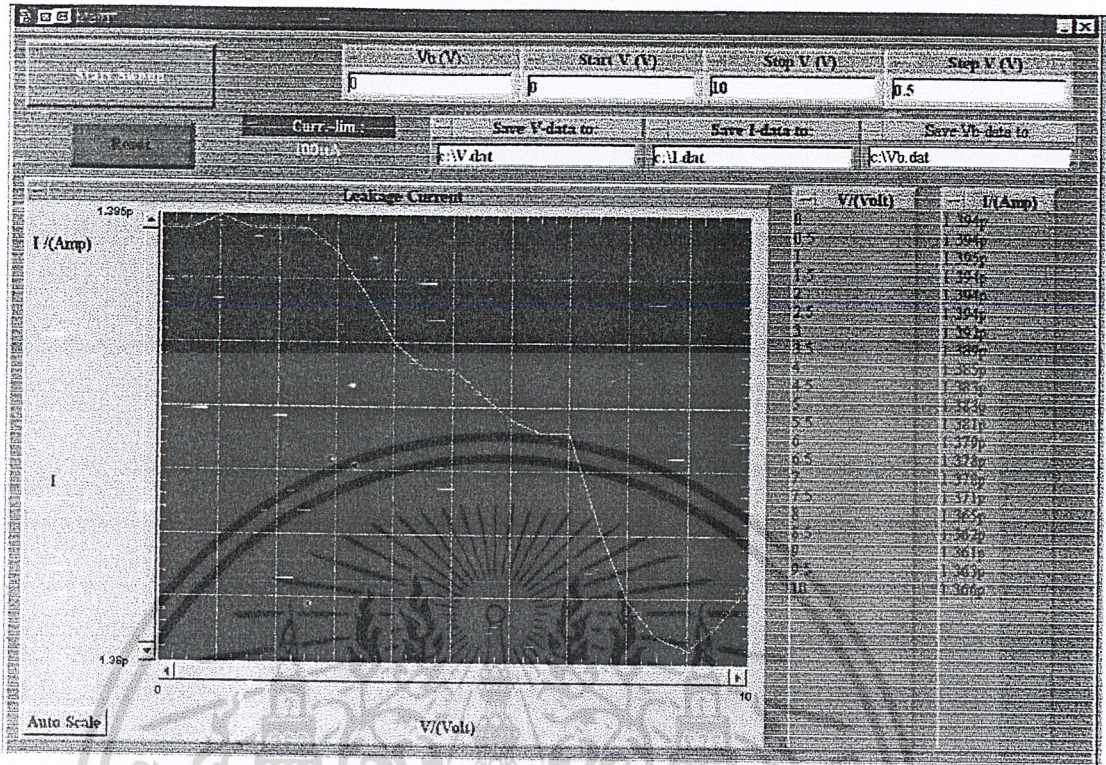
STEP V (V) = 0.5 V

V_B (V) = 0 V

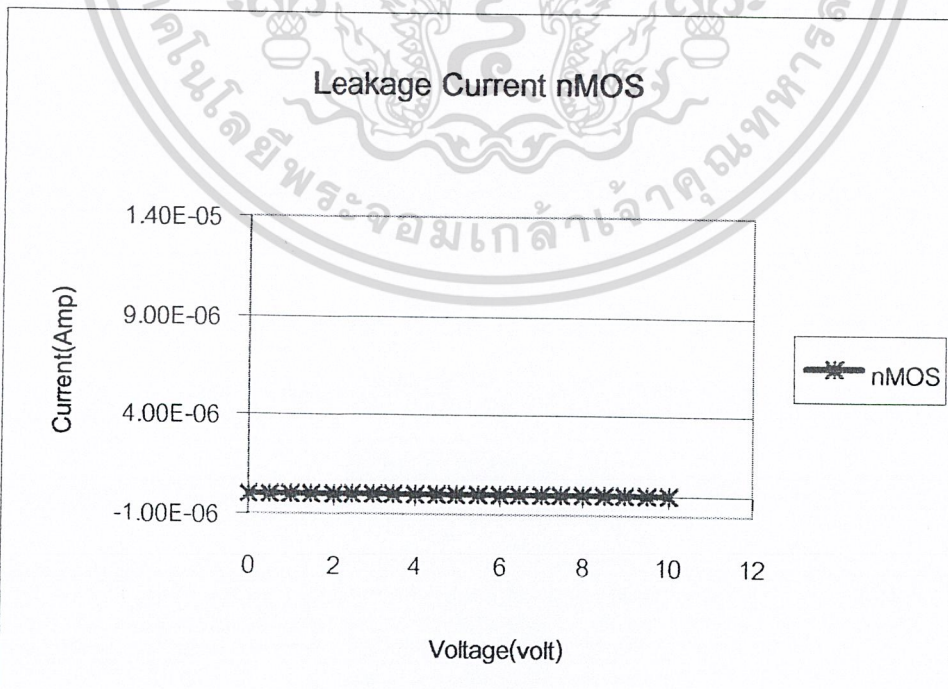
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.4 ทำการป้อนค่ากระแสจำกัดกระแสที่ 1 mA. ไม่ว่าจะรุ่นใดๆ ฟังก์ชัน อีกฟังก์ชันมีเหตุผลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กดปุ่ม START เพื่อให้โปรแกรมทำงาน ผลของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 6.19



รูปที่ 6.19 ส่วนประกอบต่างๆ ภายหลังจากการทำงานของโปรแกรม การวัดค่ากระแสรั่วไหลของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 6.20 กราฟค่ากระแสรั่วไหลของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ จาก Excel
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์

7.1 สรุป

ในปีการศึกษาที่ผ่านมาได้เรียนรู้เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมและประยุกต์ใช้งานของ Agilent VEE Pro 6.0 โดยจะนำมาใช้งานในห้อง Measurement ของ ERC (Electronics Research Center) ซึ่งในการใช้เครื่อง 4061 เพื่อวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของอุปกรณ์ เพราะว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานกับตัวเครื่องช้าและไม่สามารถทำงานได้ดีในตอนนี้ โดยได้ทำการนำมาประยุกต์ให้สามารถใช้งานได้กับเครื่อง PC (Personal Computer) ทั่วไปผ่านทาง GPIB BUS และขีดความสามารถของเครื่อง 4061 มีความสามารถใช้งานได้ดี วัดได้ละเอียดมากในหน่วย Pico จากการทำให้และการทดลองในการวัดของ Device IC HEF4007UB เพื่อนำผลไปอ้างอิงในการวัดและการทดสอบโปรแกรมที่ทำการเขียนในแต่ละครั้ง และการปรับปรุงในแต่ละขั้นตอน โดยจะนำ Data ไปเปรียบเทียบผลจากการวัดอุปกรณ์ด้วยเครื่อง Tracer และนำกราฟที่วัดได้ไปวิเคราะห์กับโปรแกรม Excel อีกทีหนึ่ง ซึ่งพอจะสรุปได้ว่าการนำโปรแกรมที่เขียนได้ไปใช้งานได้จริง

7.2 วิจารณ์

ในการเขียนโปรแกรมกระแสและแรงดัน นั้นตอนแรกเราจะทำการเขียนให้ผลจากการวัดออกมา 1 เส้นก่อนเพื่อดูว่าแนวโน้มของกราฟถูกต้องหรือไม่ ต่อมาจึงพัฒนาให้เพิ่มขึ้นเป็นหลาย ๆ เส้น ซึ่งอุปสรรคในตอนแรกในการวัดหลายเส้นคือเมื่อจะเกิดเส้นใหม่จะเกิดเส้นสะบัดกลับ ของเส้นเดิม จึงได้ทำการปรับปรุงจนสมบูรณ์ และในการแสดงผลของค่าแรงดันขีดเริ่ม จะแสดงใน Quadrant ที่ 2 เพราะในการป้อนแรงดันไฟลบ (-) ของกระแสซึ่งปกติจะแสดงใน Q3 แต่ในการป้อนไฟลบของแกนกระแส ในแนวแกน Y จะไม่สามารถแสดงได้เพราะการนำค่าลบ มาถอด Square Root จึงต้องผ่านการ Absolute ก่อนจึงทำให้เกิดใน Q2 แต่พอนำข้อมูลมาพล็อตใน Excel ก็จะได้ถูกต้องตามต้องการที่สำคัญ ในการวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์ แต่ละอย่างของมอสมิทธาน ซีสเตอร์ จะต้องทำการต่อวงจรให้ถูกต้องด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dual complementary pair and inverter

HEF4007UB gates

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.

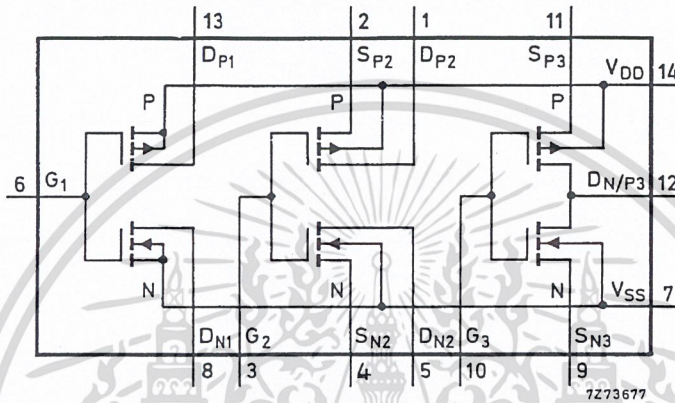


Fig.1 Schematic diagram.

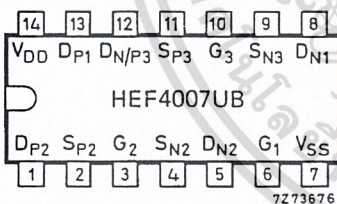


Fig.2 Pinning diagram.

PINNING

- SP₂, SP₃ source connections to 2nd and 3rd p-channel transistors
- DP₁, DP₂ drain connections from the 1st and 2nd p-channel transistors
- DN₁, DN₂ drain connections from the 1st and 2nd n-channel transistors
- SN₂, SN₃ source connections to the 2nd and 3rd n-channel transistors
- DN/P₃ common connection to the 3rd p-channel and n-channel transistor drains
- G₁ to G₃ 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

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

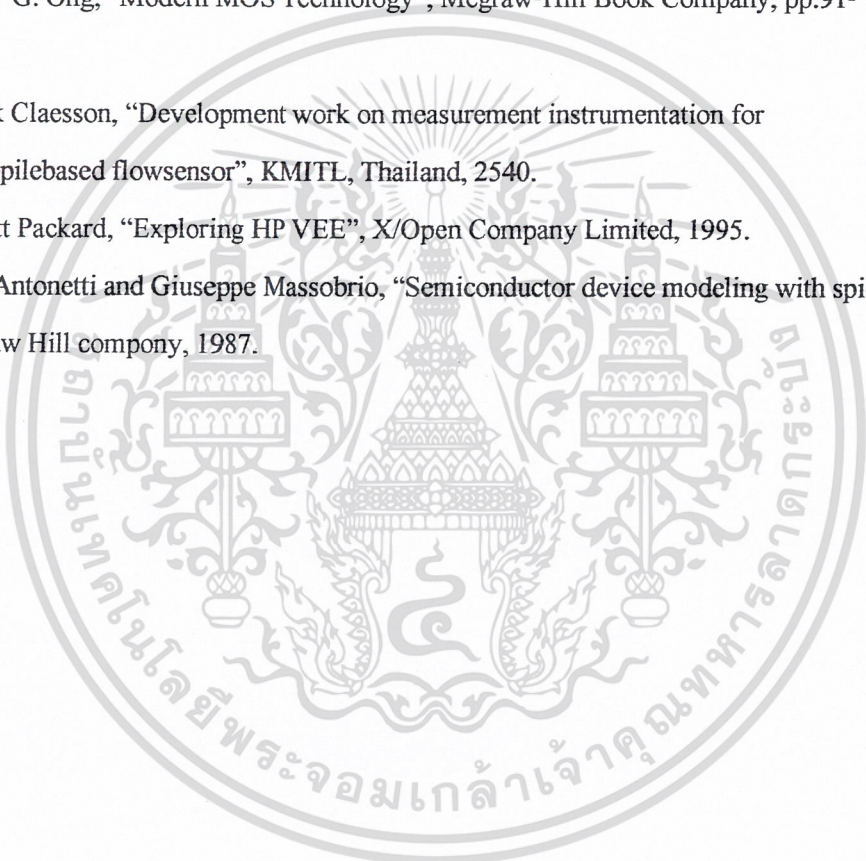
- ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ทำการเดี่ยวเชิงบูรณาการ ได้ผลงานที่ตีออกมาและรูปเล่มที่สวยงามและท่านคณาจารย์ภาคอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้คำปรึกษาต่าง ๆ
- คุณ สราวุธ วิสวแสงสุข ที่เป็นคนสอนแนะนำในการทำงานในเทอมที่ผ่านมา
- คุณ อภินัย ฤกษ์รัตน์ ที่เป็นคนสอนรวมถึงการให้คำแนะนำพร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการทำงานตลอดเวลา
- ห้องปฏิบัติการทางอิเล็กทรอนิกส์ (ERC) สำหรับการทำงาน 1 ปีที่ผ่านมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- 1) รศ.ดร. สมเกียรติ สุภเดช, “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 company, 1987.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้