สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

LOW COST DIODE AND TRANSISTOR CURVE TRACER

ธวัชชัย ผู้เลื่องลือ

THAWATCHAI PHULUEANGLUE

วพ.
ส395ท
2006
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.128748
วัน. เดือน. ปี.13 พ.ย. 2556

ซ้ำ id
.b.12549969
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2555

KMITL-2012-ED-M-232-076

LOW COST DIODE AND TRANSISTOR CURVE TRACER

THAWATCHAI PHULUEANGLUE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION

FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2012

KMITL-2012-ED-M-232-076

COPYRIGHT 2012
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ
นักศึกษา	นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ
รหัสประจำตัว	50064302
ปริญญา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	อิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.กิติพงค์ มะโน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ดร.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ เพื่อลดต้นทุนในการจัดซื้อเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ มาใช้ในห้องปฏิบัติการของสถานศึกษาระดับวิทยาลัยเทคนิค และวิทยาลัยการอาชีพ โดยการพัฒนาได้นำทฤษฎีการวัดคุณลักษณะของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมาใช้เป็นกรอบแนวความคิดในการพัฒนาเครื่องวัดคุณลักษณะของของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่สามารถแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นสามารถกำหนดค่ากระแสและแรงดันต่างๆ เพื่อควบคุมการไบอัสอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทไดโอดและทรานซิสเตอร์ และนำผลความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันมาบันทึกและแสดงผลเป็นกราฟคุณลักษณะของอุปกรณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ จากผลการวิจัยพบว่าเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้น มีคุณภาพในระดับดี (ค่า $\bar{X}$ =4.07 และค่า S.D=0.50) ตามเกณฑ์ที่กำหนด และมีประสิทธิภาพ (ค่าร้อยละความถูกต้องเท่ากับ 96.44) เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดคือมีความถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95

Thesis	Low Cost Diode and Transistor Curve Tracer
Student	Mr.Thawatchai Phulueanglue
Student ID.	50064302
Degree	Master of Science in Industrial Education
Program	Electronics
Year	2012
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Kitipong Mano
Thesis Co-Advisor	Assoc. Prof. Dr. Wisuit Sunthonkanokpong

ABSTRACT

The purposes of this research was to develop the Low Cost Diode and Transistor Curve Tracer to reduce the cost of purchasing equipment for technical college and industrial and community education college laboratory. The research theory for measuring the characteristics of semiconductor devices is used as the conceptual framework to develop the characteristics of diodes and transistors that can be displayed by the computer. This feature can be configured to measure current and voltage of the devices. The bias of electronic devices and the relationship between current and voltage are recorded and displayed as a graph of the device with the computer. The results showed that the performance of the device characteristics of diodes and transistors. The research results were found that the quality of the Low Cost Diode and Transistor Curve Tracer was at the good level (ค่า $\bar{X}$ =4.07, S.D=0.50) the efficiency of the Low Cost Diode and transistor Curve Tracer (Accuracy = 96.44%) was based on the accuracy of not less than 95 percent.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก รศ.กิติพงค์ มะโน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำให้ความช่วยเหลือและช่วยตรวจสอบแก้ไขเครื่องมือ ตลอดจนปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ จนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิดังรายนามดังต่อไปนี้ ผศ.สุชิน อาจหาญ ผศ.พิชญ์สินี มะโน อาจารย์นรินทร์ ธรรมารักษ์วัฒนะ อาจารย์ภาสกร หนูสนั่นและอาจารย์เกศินี งามยิ่ง ที่ได้กรุณาสละเวลาในการประเมินคุณภาพของเครื่องมือ ตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการปรับปรุงข้อบกพร่องจนงานวิจัยในครั้งนี้สมบูรณ์

สุดท้ายต้องขอขอบคุณเพื่อนๆและบุคคลที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้สนับสนุน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ครูอาจารย์ที่ได้ประสิทประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการที่ดี ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้า หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ธวัชชัย ผู้เลื่องลือ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....2

1.3 สมมุติฐานการวิจัย.....2

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....2

1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....2

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย.....3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 ความรู้เกี่ยวกับไดโอดและทรานซิสเตอร์.....4

2.2 เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์.....16

2.3 การออกแบบและสร้างเครื่องมือ.....20

2.4 คอมพิวเตอร์และไมโครคอลโทรลเลอร์.....21

2.5 ความถูกต้องและความเที่ยงตรงในการวัด.....27

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....28

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....30

3.1 กลุ่มตัวอย่าง.....30

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....30

3.3 วิธีดำเนินการและเก็บรวบรวมข้อมูล.....37

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....38

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิจัย.....39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล....41
4.1 ผลการประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ....41
4.2 ผลการหาประสิทธิภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ....43

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....47
5.1 สรุปผลการวิจัย....47
5.1 อภิปรายผลการวิจัย....49
5.2 ข้อเสนอแนะ....50

บรรณานุกรม....51

ภาคผนวก....53
ภาคผนวก ก หนังสือราชการประกอบการดำเนินการวิจัย....54
ภาคผนวก ข แบบประเมินคุณภาพและรายนามผู้ทรงคุณวุฒิ....63
ภาคผนวก ค เครื่องต้นแบบและคู่มือการใช้งาน....69
ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์และงบประมาณ....79

ประวัติผู้เขียน....82

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 โหมดการทำงานของทรานซิสเตอร์....12
4.1 ผลการประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ....41
4.2 ผลการหาประสิทธิภาพการทดสอบด้วยอุปกรณ์ประเภทไดโอด....44
4.3 ผลการหาประสิทธิภาพการทดสอบด้วยอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น....45
4.4 ผลการหาประสิทธิภาพการทดสอบด้วยอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี....46
ข.1 แบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอด และทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ
โดยผู้ทรงคุณวุฒิ....65
ข.2 ผลการประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอด และทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ
โดยผู้ทรงคุณวุฒิ....77
ค.1 รายการอุปกรณ์เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ....80

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ตัวอย่างไดโอด....5
2.2 สัญลักษณ์ของไดโอด....6
2.3 กราฟคุณลักษณะของไดโอดในอุดมคติ....6
2.4 กราฟแสดงคุณลักษณะวงจรสมมูลของไดโอดอย่างง่าย....6
2.5 กราฟแสดงคุณลักษณะวงจรสมมูลของไดโอดแบบเส้นตรงย่อย....7
2.6 การทำงานของไดโอดขณะไบอัสตรง....7
2.7 การทำงานของไดโอดขณะไบอัสกลับ....8
2.8 กราฟแสดงคุณลักษณะของไดโอด....9
2.9 ตัวอย่างทรานซิสเตอร์....10
2.10 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น (NPN)....11
2.11 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี (PNP)....11
2.12 ลักษณะโครงสร้างของทรานซิสเตอร์เมื่อเทียบกับไดโอด....12
2.13 การไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีและเอ็นพีเอ็น....12
2.14 สภาวะการทำงานของทรานซิสเตอร์....13
2.15 การไหลของกระแสต่างๆ ในทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น....14
2.16 การไหลของกระแสต่างๆ ในทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี....15
2.17 ตัวอย่างการต่อวงจรเพื่อทำการทดสอบหาคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์....16
2.18 ตัวอย่างกราฟแสดงคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์....16
2.19 ตัวอย่างเครื่องวัดคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์และโดโอด....17
2.20 คุณลักษณะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขาเชื่อมต่อ 2 ขา....17
2.21 คุณลักษณะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขาเชื่อมต่อ 3 ขา....17
2.22 ตัวอย่างการต่อวงจรเพื่อวัดหาคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์....18
2.23 ตัวอย่างวงจรของเครื่องวัดคุณลักษณะทรานซิสเตอร์และไดโอด....19
2.24 แสดงตัวอย่างคอมพิวเตอร์....22
2.25 ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์....23
2.26 ตัวอย่างไมโครคอลโทรลเลอร์....23
2.27 ตัวอย่างโครงสร้างของไมโครคอลโทรลเลอร์....24
3.1 ไดอะแกรมเครื่องวัดคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์และไดโอด....31
3.2 ผังดำเนินการพัฒนาเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ....32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.3 ผังการสร้างแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ.....35
3.4 ผังดำเนินการหาประสิทธิภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ.....37
ค.1 เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ.....70
ค.2 ไดอะแกรมเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ.....70
ค.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ.....71
ค.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ.....71
ค.5 วงจรวัดแรงดันเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ.....72
ค.6 วงจรควบคุมรีเรย์ของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ.....72
ค.7 แผ่นวงจรพิมพ์เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ.....73
ค.8 ไมโครคอลโทรลเลอร์ควบคุมเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ.....73
ค.9 โมดูลภายในเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ.....74
ค.10 แผ่นวงจรพิมพ์เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ.....74

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีหลายประเภท เช่น แอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ โอห์มมิเตอร์ วัตต์มิเตอร์ ออสซิลโลสโคป และมีเครื่องมืออีกชนิดหนึ่งซึ่งมีความจำเป็นในการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คือ เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ซึ่งเครื่องวัดดังกล่าวนี้เป็นเครื่องมือวัดพื้นฐานในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดที่ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจถึงคุณลักษณะของอุปกรณ์และสามารถนำคุณลักษณะดังกล่าวไปใช้ในการออกแบบวงจรและผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงทางด้านการศึกษาค้นคว้าวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ เครื่องวัดคุณลักษณะของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมีหลายประเภทด้วยกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น การทดสอบคุณลักษะของสารกึ่งตัวนำ การวิเคราะห์ความเสียหาย เป็นต้น

เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ มีบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายหลายบริษัท เช่น Agilent, Tektronix และ Anritsu เป็นต้น โดยราคาจำหน่ายอยู่ระหว่าง 50,000 บาท ถึง 300,000 บาทหรือสูงกว่า ดังนั้นการจัดหาเครื่องวัดคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์และไดโอดมาใช้ในห้องปฏิบัติการของสถานศึกษาระดับวิทยาลัยเทคนิคและวิทยาลัยการอาชีพ จำเป็นต้องใช้งบประมาณสูงมาก จึงเป็นอุปสรรคในการจัดหาเครื่องมือดังกล่าวและอาจส่งผลกระทบต่อการสอนในสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งอาจทำให้นักศึกษาขาดความรู้และทักษะที่จะศึกษาคุณลักษณะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้เข้าใจอย่างแท้จริงได้

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ร่วมกับอุปกรณ์สนับสนุนภายนอกเพื่อสร้างเป็นเครื่องมือวัดต่างๆ มากมาย เช่น ออสซิลโลสโคป ลอจิกอนาไรเซอร์ เป็นต้น เนื่องจากแนวทางดังกล่าวมีความสะดวกและประหยัดค่าใช้จ่าย โดยเฉพาะในปัจจุบันมีการใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือพื้นฐานโดยทั่วไป ประ-กอบกับการพัฒนาส่วนที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพดีขึ้นและราคาต่ำลง จากเหตุผลและความสำคัญข้างต้น ผู้วิจัยจึงเสนอการพัฒนาเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยผู้วิจัยได้นำทฤษฎีการวัดคุณลักษณะของสารกึ่งตัวนำซึ่งเป็นการวัดค่าคุณลักษณะของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมาใช้เพื่อทำการวิจัย เพื่อเป็นการลดต้นทุนการจัดซื้อเครื่องมือวัดคุณลักษณะของไดโอดและทราน-ซิสเตอร์ ในห้องปฏิบัติการของสถานศึกษาในระดับวิทยาลัยเทคนิค และการอาชีพ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำสำหรับห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานที่มีคุณภาพ

2. เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องวัดคุณลักษะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้น

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1. เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพในระดับดีขึ้นไป

2. เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพไม่น้อยกว่าร้อยละ 95

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การพัฒนาเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ผู้วิจัยกำหนดขั้นตอนการทำวิจัยโดยประยุกต์แนวทางการวิจัยของ วัลลภ จันทร์ตระกูล. (2543 : 110-128) มาใช้เพื่อช่วยในกระบวนการวิจัย ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดจุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์
2. วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์
3. สร้างต้นแบบและตรวจสอบ
4. ทดลอง
5. ปรับปรุงข้อมูล
6. หาประสิทธิภาพ

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย เป็นไดโอดและไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ ดังนี้

ไดโอด เบอร์ 1N4001, 1N4002, 1N4006, 1N4007, 1N4148, 1N4150, 1N4151, 1N4152, 1N4446 และ 1N4448

ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น เบอร์ 2N2222, 2N3904, C9012, C9014, BD135, BD137, BD139, BC546, BC547 และ BC548

ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี เบอร์ 2N2223, 2N3905, C9013, C9015, BD136, BD138, BD140, BC556, BC557 และ BC558

1.5.2 ขอบเขตของเครื่องมือ

1. ฮาร์ดแวร์เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ประกอบ ด้วยชุดควบคุมการกระแส แรงดันและส่วนการวัดค่ากระแสและแรงดัน ของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทราน-ซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยใช้ไมโครคอลโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุม

2. ซอฟต์แวร์เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ประกอบ ด้วยส่วนแสดงผลของค่าที่ได้จากการวัด โดยจะแสดงผลในรูปแบบของกราฟและบันทึกผลในรูปแบบของไฟล์เอกสาร

3. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผลตั้งแต่ Intel core I3 และใช้ระบบปฏิบัติการตั้งแต่ Windows XP ขึ้นไป

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ หมายถึง เครื่องมือวัดคุณลักษ-ณะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภท ไดโอดและทรานซิสเตอร์ ที่ประกอบด้วยส่วนการวัดคุณลักษณะของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งควบคุมแรงดันไบแอสด้วยไมโครคอลโทรลเลอร์และมีส่วนซอฟต์แวร์แสดงผลในรูปแบบกราฟด้วยคอมพิวเตอร์

2. คุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ หมายถึง คุณลักษณะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทไดโอดและทรานซิสเตอร์

3. ต้นทุนต่ำ หมายถึง เครื่องมือวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ที่พัฒนาขึ้นใช้งบประมาณในการพัฒนาไม่เกินกว่า 5,000 บาท (โดยไม่รวมราคาเครื่องคอมพิวเตอร์)

4. คุณภาพ หมายถึง ผลการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นในด้านฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์และภาพรวม

5. ประสิทธิภาพ หมายถึง ร้อยละความถูกต้องของการวัดคุณลักษณะของไดโอด (V_D และ I_D) และทรานซิสเตอร์ (I_C, I_B และ V_{CE}) ที่ได้จากการเปรียบเทียบการวัดด้วยเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำกับค่าคุณลักษณะที่ได้จากการคำนวณของกลุ่มตัวอย่าง

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือเพื่อช่วยในการเรียนรู้พื้นฐานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คือ ไดโอดและทรานซิสเตอร์ เพื่อช่วยให้ผู้ศึกษาในระดับอาชีวศึกษาได้เข้าใจถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานอย่างแท้จริง ดังนั้น จึงขอกล่าวถึงเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ความรู้เกี่ยวกับไดโอดและทรานซิสเตอร์

2.2 เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์

2.3 การออกแบบและสร้างเครื่องมือ

2.4 คอมพิวเตอร์และไมโครคอลโทรลเลอร์

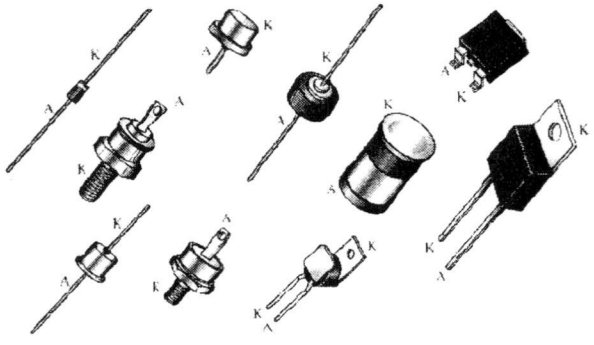
2.5 ความถูกต้องและความเที่ยงตรงในการวัด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับไดโอดและทรานซิสเตอร์

2.1.1 ความรู้เกี่ยวกับไดโอด

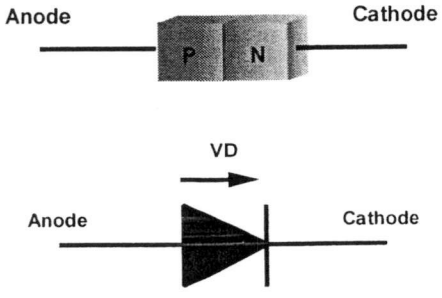
ไดโอดเกิดจากการนำเอาสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P) และเอ็น (N) มาเชื่อมต่อกัน ทำให้เกิดรอยต่อพีและเอ็นขึ้น เรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า ไดโอดสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Diode) เป็นอุปกรณ์ที่มี 2 ขั้ว คือ ขั้วแอโนด (A) และขั้วแคโทด (K) ตัวอย่างดังรูปที่ 2.1 ไดโอดยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทางเดียว สัญลักษณ์ของไดโอดประกอบด้วยหัวลูกศรเป็นขาแอโนดและอีกด้านหนึ่งเป็นขา แคโทด การนำไดโอดไปใช้งานจะต้องจ่ายแรงดันไบแอสเพื่อให้ไดโอดนำกระแสและหยุดนำกระแส ซึ่งสามารถจ่ายไบแอสได้ทั้งสองวิธีคือ ไบแอสตรงและไบแอสกลับ



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างไดโอด

ไดโอดที่สร้างขึ้นโดยใช้การเชื่อมต่อแบบโกรน (Grown Junction) หรือการเชื่อมต่อโดยวิธีเลี้ยง (Grown) โดยเอาสารกึ่งตัวนำที่บริสุทธิ์ คือเจอร์มาเนียมหรือซิลิคอนใส่เตาหลอม จากนั้นเติมสารเจือปนที่เรียกว่าสารอิมเพียวริตีลงไป เพื่อทำให้สารกึ่งตัวนำนั้นกลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (สารกึ่งตัวนำชนิดบวก) โดยการเติมสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 3 ตัว ลงไปจากนั้นจะดึงสารกึ่งตัวนำที่กำลังหลอมเหลวอยู่นั้นขึ้นมาโดยตัวที่ดึงจะถูกทำให้หมุนรอบตัวตลอดเวลาได้เป็นแท่งสารกึ่งตัวนำชนิด P จากนั้นก็เติมสารเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 5 ตัว เช่น อาร์เซนิก (As) หรือฟอสฟอรัส (P) ลงไปเพื่อทำให้สารกึ่งตัวนำที่กำลังหลอมละลายอยู่นั้นกลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (สารกึ่งตัวนำชนิดลบ) จากการกระทำดังกล่าวทำให้ได้สารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็น ที่เชื่อมต่อกันแบบโกรน โดยรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำทั้งสองขณะที่กำลังโกรนอยู่นั้น อิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะเคลื่อนที่ไปรวมตัวกับโฮลตรงรอยต่อทำให้เกิดสภาพเป็นสนามไฟฟ้าขึ้นตรงรอยต่อเรียกว่าดีพลีชันรีเจี้ยน (Depletion Region) หรือโพเทนเชียลบาร์เรียร์ (Potential Barrier) โดยรอบต่อทางด้านสารกึ่งตัวนำชนิดพี มีศักย์เป็นลบและทางด้านสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น มีศักย์เป็นบวก ค่าแรงดันของสนามไฟฟ้าตรงรอยต่อของไดโอดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำเป็นตัวไดโอด ซึ่งมีอยู่2 ชนิดคือซิลิคอนและเจอร์มาเนียม โดยถ้าเป็นซิลิคอนไดโอดสนามไฟฟ้าตรงรอยต่อจะมีค่าเป็น 0.6 V และถ้าเป็นเจอร์มาเนียมไดโอดจะมีค่า 0.2 V

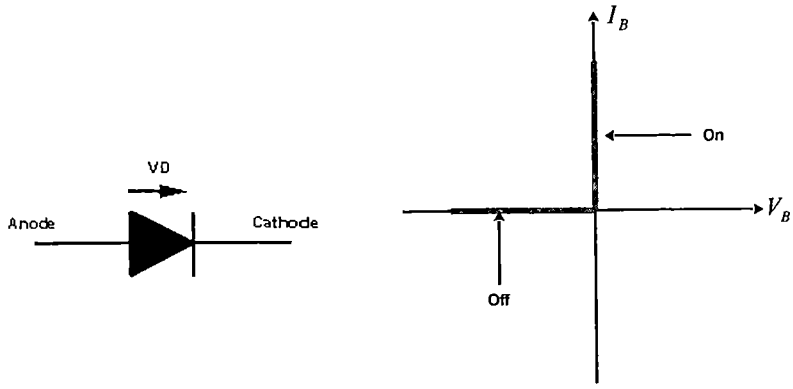
ตัวไดโอดด้านที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี เรียกว่าแอโนด (Anode) ใช้ตัวย่อ A และด้านที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น เรียกว่า (Cathode) ใช้ตัวย่อ K ทั้งสองด้านจะเชื่อมต่ออยู่กับขาตัวนำที่ยื่นออกมาเพื่อต่อรับแรงดันไบแอส ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สัญลักษณ์ของไดโอด

2.1.1.1 วงจรสมมูลของไดโอดในอุดมคติ (Ideal Equivalent Circuit)

ไดโอดในอุดมคติจะมีลักษณะเป็นสวิตช์ที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านทางเดียว ซึ่งหมายความว่าถ้ามีการไบแอสย้อนกลับไดโอดจะไม่นำกระแสและถ้ามีการไบแอสตรงจะทำให้ไดโอดนำกระแสได้ โดยไดโอดในทางอุดมคติจะมีค่าแรงดันเทรดโฮลด์ (V_T) เป็น 0 มีค่าความต้านทานไม่สิ้นสุด (∞) เมื่อมีการไบแอสย้อนกลับและมีความต้านทานเป็น 0 เมื่อไบแอสตรง ดังรูปที่ 2.3

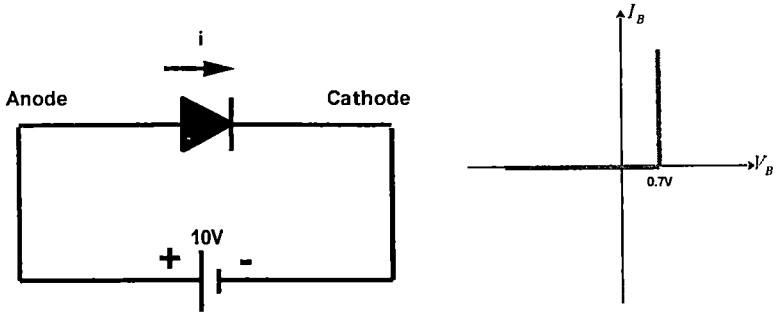


รูปที่ 2.3 กราฟคุณลักษณะของไดโอดในอุดมคติ

อย่างไรก็ตามวงจรสมมูลแบบนี้จะมีคุณลักษณะที่แตกต่างจากไดโอดจริงค่อนข้างมาก ซึ่งการคำนวณวงจรสมมูลแบบนี้ได้ก็ต่อเมื่อ ความต้านทานในวงจรส่วนอื่นที่เกี่ยวข้องมีค่ามากกว่าความต้านทานของไดโอดมากๆและแรงดันไฟฟ้าในวงจรส่วนอื่นมีค่าสูงกว่าแรงดัน V_T ของไดโอดมากๆ

2.1.1.2 วงจรสมมูลอย่างง่าย (Simplified Equivalent Circuit)

เป็นวงจรที่มีความใกล้เคียงกับวงจรไดโอดขึ้นมาอีกขั้นหนึ่งทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าในไดโอดจริงๆ นั้น ค่าความต้านทานของส่วนประกอบส่วนอื่นและมีค่าแรงดันเทรดโฮลด์ของไดโอด ซึ่งจะมีค่าประมาณ 0.7 โวลต์ สำหรับไดโอดแบบซิลิกอนจะยังคงมีผลกระทบต่อวงจรอยู่ ดังนั้นวงจรสมมูลอย่างง่ายจึงจะคงค่าแรงดันเทรดโฮลด์เอาไว้ คือเป็นเสมือนไดโอดในอุดมคติต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับ V_T หรือ 0.7 โวลต์และมีคุณลักษณะทางแรงดันและกระแส ดังรูปที่ 2.4

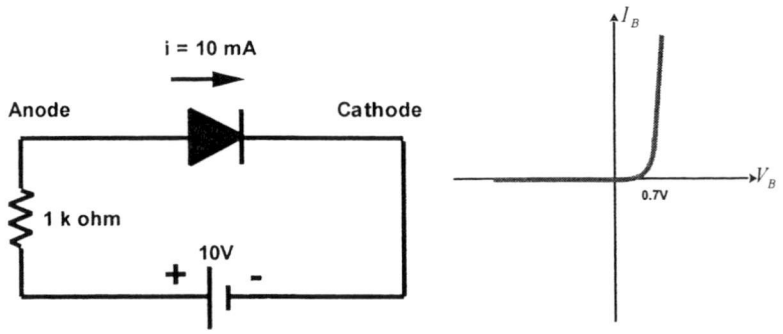


รูปที่ 2.4 กราฟแสดงคุณลักษณะวงจรสมมูลของไดโอดอย่างง่าย

2.1.1.3 วงจรสมมูลแบบเส้นตรงย่อย (Piecewise-Linear Equivalent Circuit)

วงจรสมมูลแบบนี้จะมีคุณลักษณะที่ใกล้เคียงคุณลักษณะจริงของไดโอดมากที่สุดใน 3 แบบ ซึ่งคุณสมบัติของไดโอดจะถูกแบ่งออกเป็นเส้นตรงย่อยๆ 3 ส่วน คือ ส่วนลาดเอียง (Sloping Section) จะแทนค่าเฉลี่ยของ AC Resistance ส่วนไบแอสย้อนกลับ (Reverse-Bias) จะแทนการเปิดวงจร

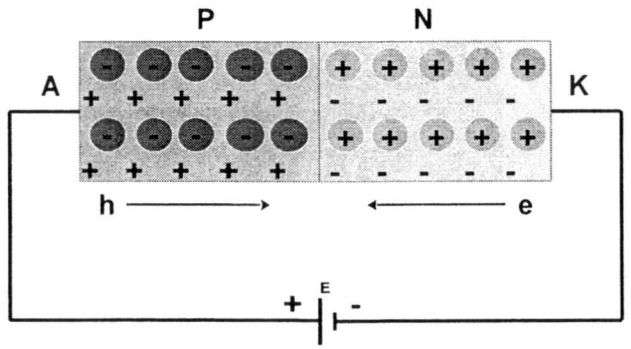
(Open-Circuit) ของไดโอดและส่วนไบแอสเดินหน้า (Forward-Bias) ที่แรงดันเทรดโฮลด์ V_T = 0.7 โวลต์ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงคุณลักษณะวงจรสมมูลของไดโอดแบบเส้นตรงย่อย

2.1.1.4 การไบแอสตรง (Forward Bias)

การจ่ายไบแอสตรงคือการจ่ายแรงดันถูกขั้วให้ไดโอด โดยจ่ายศักย์บวก (+) ให้ขาแอดโนด (A) สารชนิดพีและจ่ายศักย์ลบ (-) ให้ขาแคโถด (K) สารชนิดเอ็น จะทำให้ไดโอดนำกระแส ดังตัวอย่างดังรูปที่ 2.6 ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้



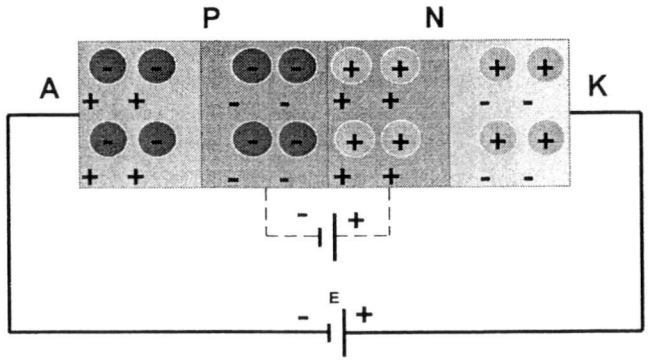
รูปที่ 2.6 การทำงานของไดโอดขณะไบแอสตรง

เมื่อจ่ายไบแอสตรงให้ไดโอด โดยจ่ายศักย์บวก (+) ให้ขาแอโนด สารชนิดเอ็นและจ่ายศักย์ลบ (-) ให้ขาแคโทด (K) สารชนิดเอ็น ศักย์ลบ (-) จากแบตเตอรี่จะผลักให้อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิดเอ็นมีพลังงานมากขึ้น สามารถวิ่งเคลื่อนที่ได้ในเวลาเดียวกันศักย์บวก (+) จากแบตเตอรี่ที่จ่ายให้สารชนิดพีจะมีอำนาจดึงดูดอิเล็กตรอนอิสระให้เคลื่อนที่เข้ามาหาและผลักให้โฮลเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ผลคือ อิเล็กตรอนอิสระและโฮลมีพลังงานมากพอสามารถวิ่งเคลื่อนที่ได้ อิเล็กตรอนอิสระจะถูกศักย์ลบ (-) จากแบตเตอรี่ผลักเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเรื่อย ๆ ไปเข้ารวมตัวกับโฮลในสารชนิดพีและเคลื่อนที่จนหลุดออกจากสารชนิดพี คือ ขา A ไปหาศักย์บวก (+) ที่แบตเตอรี่และเคลื่อนที่เลยไปขา K วิ่งเข้าแทนที่อิเล็กตรอนอิสระที่หลุดออกไป เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในตัว ไดโอด กระแสที่ไหลในตัวไดโอด จะไหล

มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงดันไบแอสที่จ่ายให้ถ้าจ่ายไบแอสให้น้อย ไดโอดก็จะมีกระแสไหลน้อย ถ้าจ่ายไบแอสให้มากไดโอดก็จะมีกระแสไหลมาก แรงดันไบแอสที่จ่ายให้ไดโอด จะต้องจ่ายศักย์ให้สูงกว่าค่าแบตเตอรี่สมมติของไดโอด คือไดโอดชนิดเจอรมันเนียมจะต้องจ่ายศักย์ให้สูงกว่า 0.3V และไดโอดชนิดซิลิคอนจะต้องจ่ายศักย์ให้สูงกว่า 0.7V

2.1.1.5 การไบแอสกลับ (Reverse Bias)

การจ่ายไบแอสกลับ คือ การจ่ายแรงดันกลับขั้วให้ไดโอด โดยจ่ายศักย์บวก (+) ให้ขาแคโทด (K) ดังรูปที่ 2.7 สารชนิดเอ็นและจ่ายศักย์ลบ (-) ให้ยาแอโนด (A) สารชนิดพีจะทำให้ไดโอดไม่นำกระแส สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้



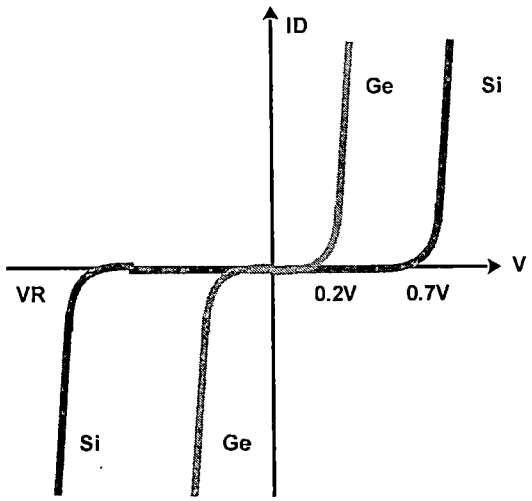
รูปที่ 2.7 การทำงานของไดโอดขณะไบแอสกลับ

เมื่อจ่ายไบแอสกลับให้ไดโอด คือจ่ายศักย์บวก (+) ให้ขา K สารชนิดเอ็นจ่ายศักย์ลบ (-) ให้ขา A สารชนิพีศักย์บวก (+) ที่จ่ายให้ขา K สารชนิดเอ็นจะไปดึงดูดอิเล็กตรอนอิสระในสารชนิดเอ็น เคลื่อนตัวออกห่างจากรอยต่อพีอและเอ็นมารวมกันอยู่ที่สารชนิดเอ็นด้านขา K และผลักโฮลให้เคลื่อนตัวไปอยู่แถวรอยต่อพีและเอ็นแทน ส่วนศักย์ลบ (-) ที่จ่ายให้ขา A สารชนิดพีจะไปผลักให้อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิดพีไปรวมกันอยู่ตรงรอยต่อพีและเอ็น ดึงให้โฮลเข้ามารวมกันอยู่ที่สารชนิดพี ด้านขา A ทำให้บริเวณรอยต่อพีและเอ็น ด้านสารชนิดพี มีอิเล็กตรอนอิสระมากขึ้น บริเวณรอยต่อพีและเอ็น ด้านสารชนิดเอ็นมีโฮลมากขึ้น คือเกิดแบตเตอรี่สมมติหรือดีพลีชั่นริเจียนตรงรอยต่อมากขึ้นไดโอดมีค่าความต้านทานตรงรอยต่อสูง ไม่มีกระแสไหลผ่านในตัวไดโอด

ถึงแม้ขณะจ่ายไบแอสกลับจะไม่มีกระแสไหลผ่านไดโอด แต่จะมีกระแสรั่วไหลหรือลีคเกจเคอร์เรนท์ (Leakage Current) ไหลบ้างเล็กน้อย กระแสรั่วไหลนี้จะไม่ถือว่าเป็นกระแสไหลที่เกิดจากการทำงานของไดโอด ค่ากระแสรั่วไหลนี้จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุที่นำมาผลิตไดโอด ธาตุซิลิคอนจะมีกระแสรั่วไหลน้อย ธาตุเจอรมันเนียมจะมีค่ากระแสรั่วไหลมาก นอกจากนี้กระแสรั่วไหลยังขึ้นอยู่กับแรงดันไบแอสกลับที่จ่ายให้ตัวไดโอดด้วย ถ้าจ่ายไบแอสกลับมากระแสรั่วไหลจะมาก ถ้าจ่ายไบแอสกลับน้อยกระแสรั่วไหลจะน้อย

2.1.1.6 กราฟแสดงคุณสมบัติของไดโอด

จากกราฟ แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดเมื่อให้ไบแอสตรงและไบแอสกลับ โดยจุดกึ่งกลางของกราฟเป็นจุดที่แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ สำหรับแกนนอนจะแทนด้วยแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับไดโอด ซึ่งถ้าให้ไบแอสตรง (V_F) แรงดันไฟฟ้าจะมีความเป็นบวกมากขึ้น โดยเริ่มจากจุดกึ่งกลางไปทางขวาและถ้าให้ไบแอสกลับ (V_R) แรงดันไฟฟ้าจะมีความเป็นลบมากขึ้น โดยเริ่มจากจุดกึ่งกลางไปทางซ้าย สำหรับแกนตั้งจะแทนด้วยกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด โดยกระแสทางตรง (I_F) จะมีความเป็นบวกมากขึ้น โดยเริ่มจากจุดกึ่งกลางขึ้น ไปด้านบนของกราฟและถ้าเป็นกระแสย้อนกลับ (I_R) จะมีความเป็นลบมากขึ้น โดยเริ่มจากจุดกึ่งกลางไปทางด้านล่างของกราฟ ซึ่งบริษัทผู้ผลิตจะทดสอบคุณลักษณะของไดโอดโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าค่าต่างๆ ทั้งแบบทางตรงและแบบย้อนกลับให้แก่ไดโอดและจะทำให้ได้เส้นกราฟที่มีความต่อเนื่องที่เรียกว่า เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน-กระแส ดังรูปที่ 2.8

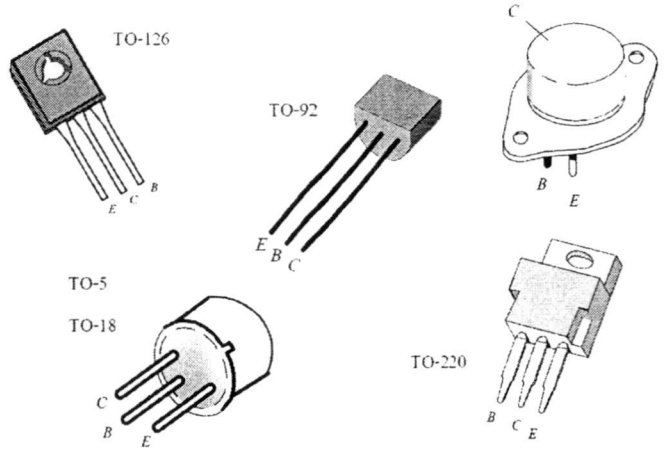


รูปที่ 2.8 กราฟแสดงคุณลักษณะของไดโอด

2.1.2 ความรู้เกี่ยวกับทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์มีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท คือ ทรานซิสเตอร์ชิดไบโพลาร์และทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า ทรานซิสเตอร์จะมีขาเชื่อมต่อสามจุด คือ เบส คอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ ดังรูปที่ 2.9 เมื่อทำการปรับแรงดันไฟฟ้าที่ขาเบส จะส่งผลให้ความนำไฟฟ้าที่เหลือสูงขึ้นอันทำให้สามารถควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตามหลักการทางฟิสิกส์ในการทำงานของทรานซิสเตอร์ทั้งสองแบบมีความแตกต่างกันอยู่มาก ในวงจรอนาลอกนั้น ทรานซิสเตอร์จะถูกใช้ขยายสัญญาณต่างๆ เช่น สัญญาณเสียง สัญญาณความถี่วิทยุ หรือควบคุมระดับแรงดัน รวมทั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิชชิ่งใน

คอมพิวเตอร์ด้วย ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงทรานซิสเตอร์ชิดไบโพลาร์เท่านั้น ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดที่นำมาใช้ร่วมทำการวิจัยครั้งนี้

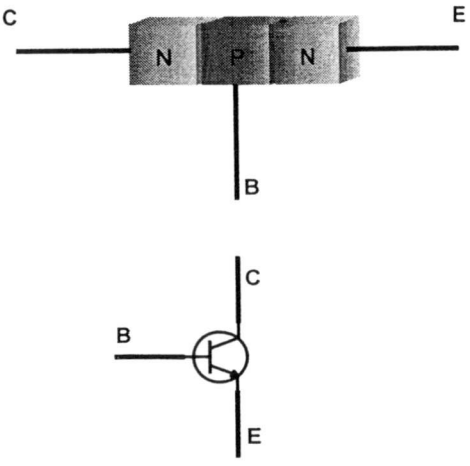


รูปที่ 2.9 ตัวอย่างทรานซิสเตอร์

2.1.2.1 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์

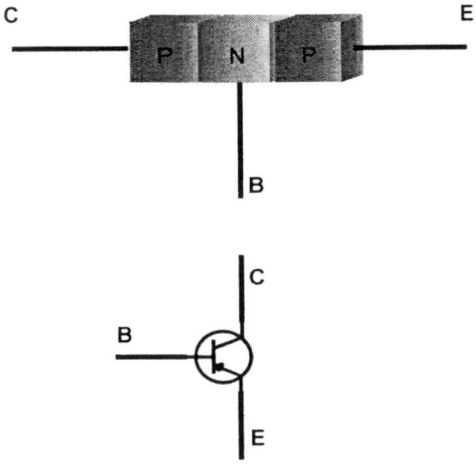
ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ คือสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P) และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N) ซึ่งนำมาต่อกัน 3 ชั้นสาร ทำให้เกิดรอยต่อขึ้น หรือที่เรียกว่า จังชั่น (Junction) โดยที่สารที่อยู่ตรงกลางจะเป็นคนละชิดกับสารที่อยู่หัวและท้าย มีขาต่อออกมาสำหรับนำไปใช้งาน 3 ขา ดังนั้นทรานซิสเตอร์ชิดไบโพลาร์จึงแบ่งออกเป็นสองชนิดตามโครงสร้างของสารที่นำมาใช้ คือ ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น (NPN) และทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี (PNP) ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น (NPN) เป็นการสลับการเจือสารให้เป็น เอ็น, พีและเอ็น ตามลำดับ สารกึ่งตัวนำชนิดพีจะเป็นขาเบสและถูกประกบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ซึ่งเป็นขาอิมิตเตอร์ ผลของการเจือสารในลักษณะนี้ทำให้เกิดรอยต่อพี-เอ็นขึ้นสองรอยต่อ คือ รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส และเบส-คอลเลคเตอร์ ดังรูปที่ 2.10 การทำงานของรอยต่อนี้จะมีลักษณะการทำงานเหมือนกับรอยต่อพีเอ็นของไดโอด



รูปที่ 2.10 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น (NPN)

ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี (PNP) จะแตกต่างกับทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น (NPN) โดยเป็นการสลับการเจือสารให้เป็น พี, เอ็นและพี ตามลำดับ โดยสารกึ่งตัวนำที่เป็นขาเบส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและถูกประกบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพี ซึ่งเป็นขาอิมิตเตอร์และคอลเลคเตอร์ ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งลักษณะการทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีจะมีลักษณะหมือนกับทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น

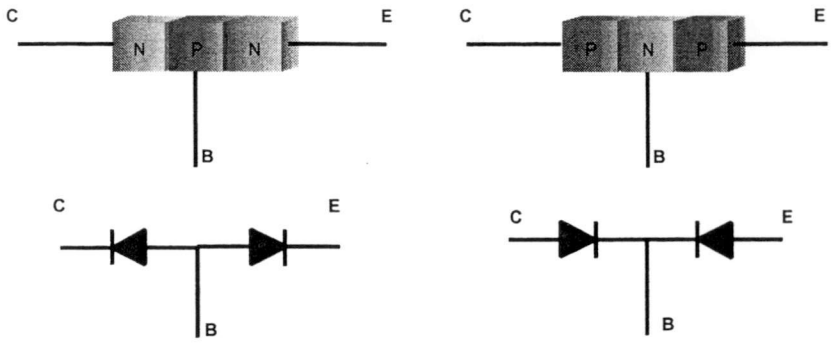


รูปที่ 2.11 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี (PNP)

2.1.2.2 การทำงานของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ทั้งสองชนิดสามารถทำงานหลักๆ ได้ 3 แบบด้วยกัน ขึ้นอยู่กับการป้อนไฟตรงรอยต่อของทรานซิสเตอร์ว่าจะเป็นลักษณะใด การป้อนไฟตรงให้กับทรานซิสเตอร์ดังกล่าว เพื่อกำหนดโหมดการทำงานนั้นเรียกว่าการไบแอส (Bias) เนื่องจากทรานซิสเตอร์ทั้งสองแบบเปรียบเสมือนไดโอดที่ต่อชนกัน ดังรูปที่ 2.12 โดยมีขาเบสเป็นขาร่วมของขาแอโนดในชนิดเอ็นพีเอ็น

และขาแคโทดเป็นขาร่วมในชนิดพีเอ็นพี ดังนั้นการไบแอสไฟตรงเพื่อให้ได้โหมดการทำงานที่ต้องการจึงขึ้นอยู่กับว่าจะป้อนไบแอสตรง (Forward Bias) หรือไบแอสแบบย้อนกลับ (Reverse Bias) ให้กับรอยต่อของทรานซิสเตอร์ระหว่างขาเบส-คอลเลคเตอร์และเบส-อิมิตเตอร์ในลักษณะใด

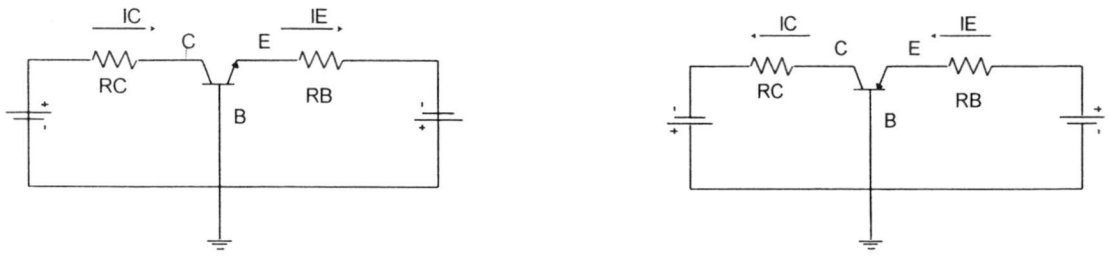


รูปที่ 2.12 ลักษณะโครงสร้างของทรานซิสเตอร์เมื่อเทียบกับไดโอด

ตารางที่ 2.1 โหมดการทำงานของทรานซิสเตอร์

การไบแอสทรานซิสเตอร์	รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์	รอยต่อเบส-คอลเลคเตอร์
โหมดการขยายสัญญาณ (Active Mode)	ไบแอสตรง	ไบแอสย้อนกลับ
โหมดอิ่มตัว (Saturation Mode)	ไบแอสตรง	ไบแอสตรง
โหมดคัตออฟ (Cut-Off Mode)	ไบแอสย้อนกลับ	ไบแอสย้อนกลับ

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าการทำงานของทรานซิสเตอร์นั้นจะขึ้นอยู่กับการไบแอสไฟให้เหมาะสมกับรอยต่อระหว่างขาเบส-อิมิตเตอร์และเบส-คอลเลคเตอร์ จะเห็นได้ว่าการต่อแหล่งจ่ายไฟตรงให้กับขาของทรานซิสเตอร์ในลักษณะต่างๆ จะเป็นตัวกำหนดโหมดการทำงานของทรานซิสเตอร์ได้จากปริมาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านตัวทรานซิสเตอร์นั้น



(ก) เอ็นพีเอ็น (ข) พีเอ็นพี

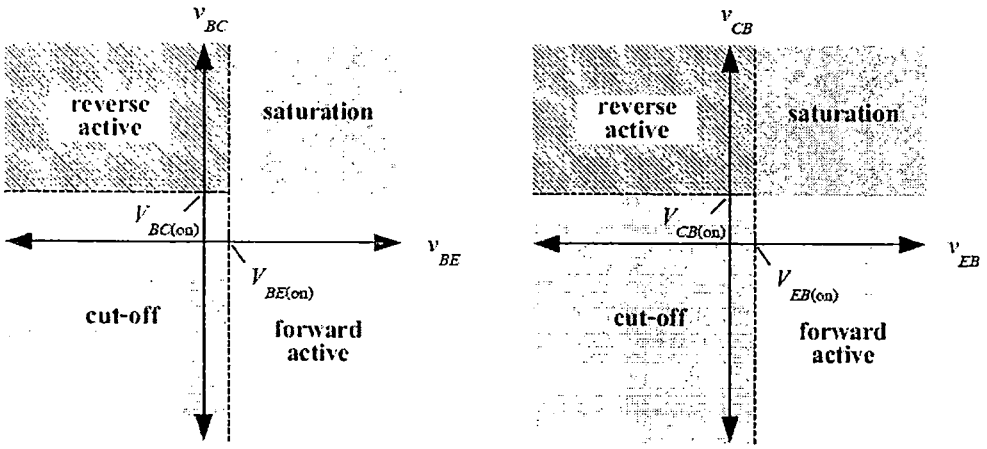
รูปที่ 2.13 การไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นและพีเอ็นพี

การทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น โดยการจ่ายไบแอสแก่ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น เพื่อให้นำกระแส ดังรูปที่ 2.13 (ก) โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ขาคอลเลคเตอร์ให้มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกเมื่อเทียบกับขาอิมิตเตอร์และทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ขาเบสมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกเมื่อเทียบกับขาอิมิตเตอร์จะทำให้ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นสามารถนำกระแสได้ ซึ่งการนำกระแสของทรานซิสเตอร์นั้น ถ้าจ่ายกระแสเบสมีค่ามากจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านขาคอลเลคเตอร์ หรือกระแสที่โหลดมีค่าสูง เนื่องจากทรานซิสเตอร์มีอัตราการขยายจึงทำให้ทรานซิสเตอร์สามารถนำกระแสได้มากขึ้น

เมื่อจ่ายไบแอสแก่ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี เพื่อให้นำกระแสซึ่งจะตรงข้ามกับทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น ดังรูปที่ 2.13 (ข) ดังนั้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ขาคอลเลคเตอร์มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบเมื่อเทียบกับขาอิมิตเตอร์และจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ขาเบสมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ เมื่อเทียบกับขาอิมิตเตอร์จะทำให้ทรานซิสเตอร์ชนิดนี้นำกระแสได้ หรือจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ขาอิมิตเตอร์มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกเมื่อเทียบกับขาคอลเลคเตอร์และจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ขาเบสให้ศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกเมื่อเทียบกับขาคอล เล ค เตอร์ ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีจะนำกระแส

2.1.2.3 คุณลักษณะของทรานซิสเตอร์

ในการศึกษาคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์เราสามารถจัดรูปแบบวงจรทรานซิสเตอร์ (Transistor Configuration) ได้ 3 แบบ คือ แบบวงจรเบสร่วม (Common Base) วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (Common Emitter) และวงจรคอลเลคเตอร์ร่วม (Common Collector) โดยมีสภาวะการทำงานอยู่สามย่าน (ดังรูปที่ 2.14) ดังต่อไปนี้



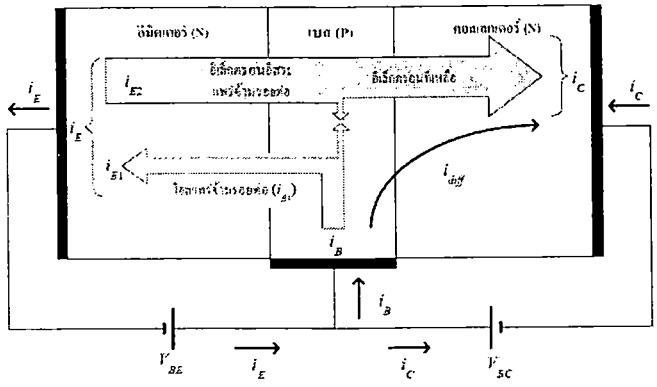
(ก) เอ็นพีเอ็น (ข) พีเอ็นพี

รูปที่ 2.14 สภาวะการทำงานของทรานซิสเตอร์

ย่านคัตออฟ (Cutoff Region) เป็นย่านที่ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงานและไม่มีกระแสไหล เนื่องจากไม่มีการไบแอสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ทำให้ไม่มีกระแสเบสไหล (I_B) ส่งผลให้กระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) หยุดไหลไปด้วย

ย่านทำงาน (Active Region) เป็นย่านที่ทรานซิสเตอร์ทำงาน เมื่อมีกระแสไหลในตัวทรานซิสเตอร์ ค่ากระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) ไหลผ่านตามการควบคุมของกระแสเบส ในย่านนี้เป็นย่านที่สามารถนำไปใช้งานเป็นวงจรขยายสัญญาณได้

ย่านอิ่มตัว (Saturation Region) เป็นย่านที่ทรานซิสเตอร์ทำงานและนำกระแสถึงจุดอิ่มตัวมีแรงดันคอลเลคเตอร์อิมิตเตอร์ (V_{CE}) คงที่ ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไบแอสก็ตาม



รูปที่ 2.15 การไหลของกระแสต่างๆ ในทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น

2.1.2.4 การไบแอสไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์

กระแสอิมิตเตอร์เป็นกระแสที่มีค่าสูงสุดในวงจร ดังรูปที่ 2.15 จะมีค่าสูงกว่ากระแสคอลเลคเตอร์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น หรือพอประมาณได้ว่า 99% ของอิเล็กตรอนเป็นพาหะข้างมากในอิมิตเตอร์ (ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น) และมีเพียง 1% ของกระแสเบส ซึ่งไหลไปรวมกับกระแสคอลเลคเตอร์ไปสู่ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์เกิดเป็นกระแสอิมิตเตอร์ขึ้น

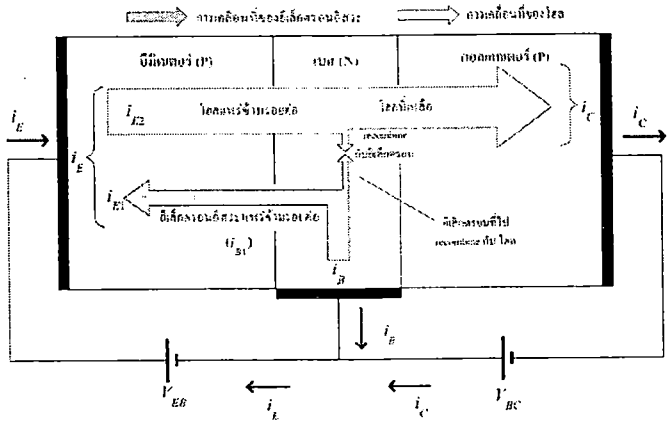
$$I_E = I_C + I_B \tag{2.1}$$

แม้ว่ากระแสเบสจะมีค่าน้อยมากก็ตาม แต่มีความสำคัญมาก คือ เมื่อเราทำการเปิดวงจรที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ทำให้ไม่มีกระแสเบสไหลในวงจร โดยที่แรงดัน V_{CE} และ V_{BE} จะอนุกรมกัน ทำให้แรงดันที่อิมิเตอร์มีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับแรงดันที่อิมิตเตอร์ ถ้าไม่มีกระแสเบสก็ไม่มีกระแสคอลเลคเตอร์เกิดขึ้น โดยปกติแล้วรอยต่อระหว่างเบส-อิมิตเตอร์จะต้องถูกไบแอสตรง เพื่อที่จะผลักอิเล็กตรอนให้ออกจากอิมิตเตอร์ ดังนั้น การเปิดวงจรที่ขาเบสทำให้ไม่เกิดการไบแอสตรงเกิดขึ้นใน

วงจร ทรานซิสเตอร์จะไม่สามารถทำงานได้ แม้ว่ากระแสเบสจะมีค่าต่ำมาก แต่ก็ช่วยให้ทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้ โดยช่วยในการนำกระแสจากอิมิตเตอร์ไหลไปยังคอลเลคเตอร์และควบคุมกระแสที่มีค่าสูงกว่า คือกระแสอิมิตเตอร์และคอลเลคเตอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทรานซิสเตอร์มีความสามารถด้านการขยายกระแสด้วย ดังนั้นอัตราขยายกระแสคอลเลคเตอร์ต่อกระแสเบส จึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากอย่างหนึ่งของทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีสัญลักษณ์แทนด้วย β หรือ h_{fe}

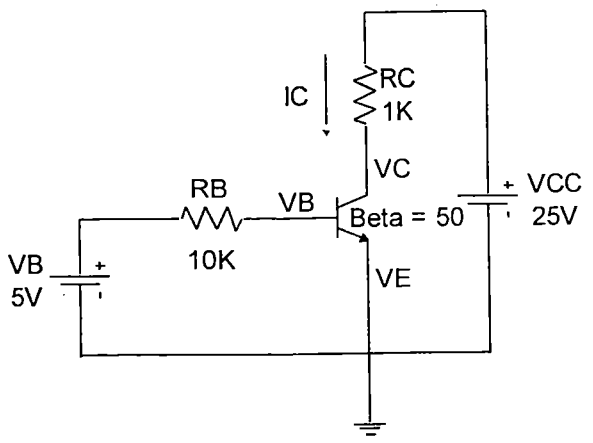
$$\beta = h_{fe} = \frac{I_C}{I_B} \tag{2.2}$$

ค่า β ของทรานซิสเตอร์จะมีค่าต่างกันแต่ละประเภทการใช้งานของทรานซิสเตอร์ เช่น ทรานซิสเตอร์กำลัง (Power Transistor) มีค่า β อย่างต่ำประมาณ 20 ส่วนทรานซิสเตอร์ที่ใช้กับสัญญาณขนาดเล็กมีค่า β อยู่สูงประมาณ 400 อีกประการหนึ่งคือ ค่า β ของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวที่เป็นเบอร์เดียวกันก็ยังมีค่าต่างกัน

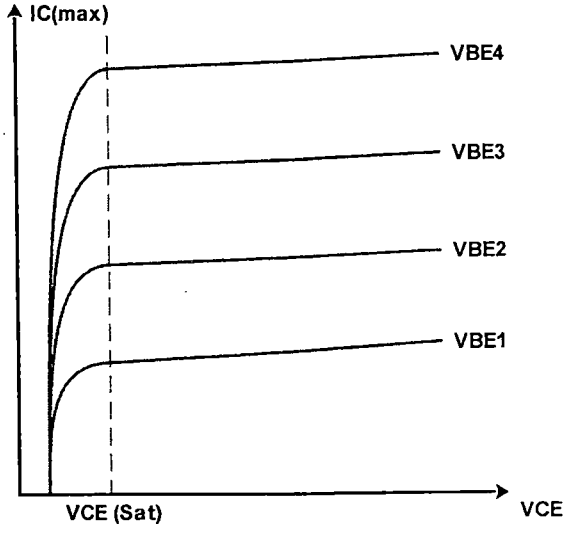


รูปที่ 2.16 การไหลของกระแสต่างๆ ในทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี

การจ่ายไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี ดังรูปที่ 2.16 โดยที่รอยต่อระหว่างเบสอิมิตเตอร์จะถูกไบแอสตรงและ V_{BE} จะกลับขั้ว เมื่อเทียบกับการจ่ายไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น ส่วนรอยต่อระหว่างคอลเลคเตอร์-เบส ของทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีจะต้องถูกไบแอสกลับ ดังนั้น V_{CB} จะกลับขั้วกับ V_{CB} ของทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น ซึ่งเป็นเหตุผลที่ว่า ทำไมเราจึงไม่สามารถใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นแทนทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีได้



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการต่อวงจรเพื่อทำการทดสอบหาคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างกราฟแสดงคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์

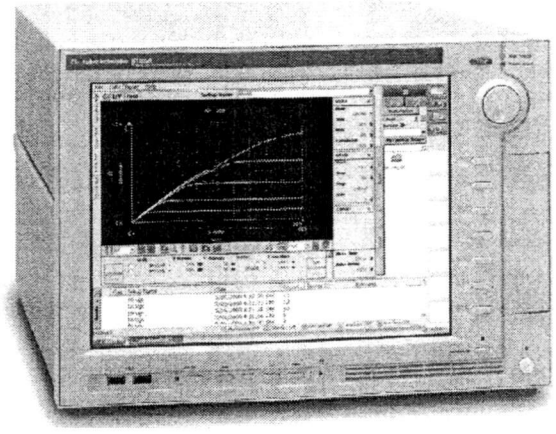
การวิเคราะห์ด้วยกราฟ (Graphical Analysis) วงจรทรานซิสเตอร์ดังรูปที่ 2.17 ได้รับการไบแอสแรงดันที่เบสคือ V_{BB} และแรงดันที่คอลเลคเตอร์ด้วย V_{CC} ทำให้เกิดกระแส I_B, และ I_E ไหลในวงจรเมื่อทำการปรับค่าแรงดัน V_{BB} จะทำให้เกิดกระแสไหลขึ้นในวงจรทำให้เกิดลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ซึ่งแสดงตัวอย่างดัง รูปที่ 2.18

2.2 เครื่องวัดคุณลักษะของไดโอดและทรานซิสเตอร์

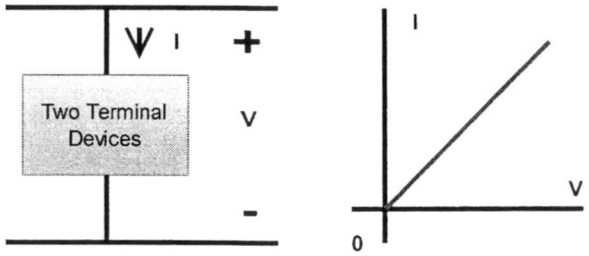
เครื่องวัดคุณลักษณะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นเครื่องมือที่สามารถทำการวัดเพื่อหาคุณลักษณะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งแสดงผลออกทางหน้าจอแสดงผลเหมือนกับออสซิลโลสโคป ดังรูปที่ 2.19 เครื่องวัดคุณลักษณะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้สามารถทำการวัดอุปกรณ์ที่มีขาสำหรับ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

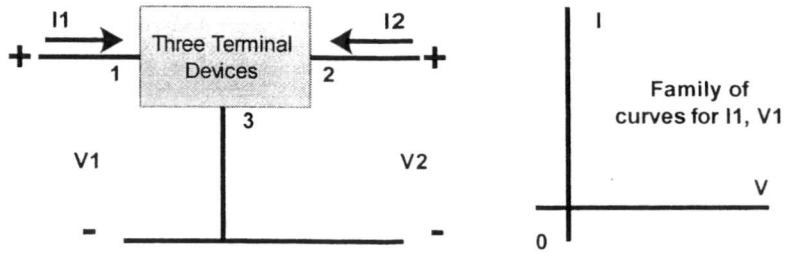
การเชื่อมต่อ ทั้งแบบ 2 ขา ดังรูปที่ 2.20 และ 3 ขา ดังรูปที่ 2.21 เช่น ทรานซิสเตอร์ชนิดต่างๆ ไตรแอค เอสซีอาร์และอื่นๆ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขาเชื่อมต่อ 2 ขา สามารถทำการวัดความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแส เพื่อหาคุณลักษณะได้โดยการควบคุมแรงดันและกระแสเพียงแหล่งจ่ายเดียว สำหรับอุปกรณ์ที่มีขาเชื่อมต่อ 3 ขา จะสามารถทำการวัดได้โดยการควบคุมความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสได้จากแหล่งจ่าย 2 แหล่ง เนื่องจากตำแหน่งอ้างอิงสำหรับทำการวัดคุณลักษณะของอุปกรณ์มีอยู่ 2 จุดด้วยกัน โดยปกติแล้วอุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะเช่นนี้ จะสามารถทำการวัดได้โดยการควบคุมแรงดัน หรือกระแส



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.20 คุณลักษณะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขาเชื่อมต่อ 2 ขา

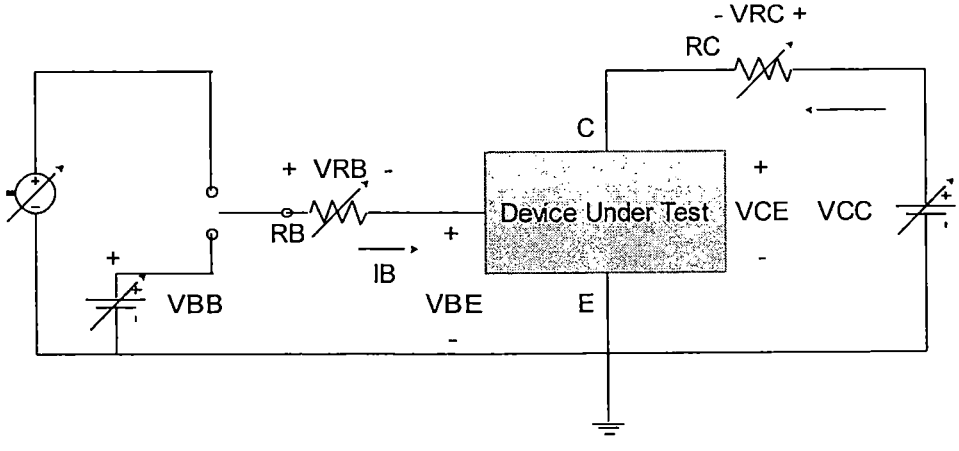


รูปที่ 2.21 คุณลักษณะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขาเชื่อมต่อ 3 ขา

128748

เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ เป็นเครื่องที่ใช้ทดสอบทรานซิสเตอร์และไดโอดซึ่งสามารถทำงานร่วมกับออสซิลโลสโคปและสามารถแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนของการขยายกระแสบนทรานซิสเตอร์แบบพีเอ็นพีและเอ็นพีเอ็น ได้เหมือนๆ กัน เครื่องวัดคุณลักษะของทานซิสเตอร์บางรุ่นไม่จำเป็นต้องใช้ออสซิลโลสโคปเพื่อทำการวัดและแสดงผล แต่สามารถทำทุกอย่างได้ภายในเครื่องเดียว แต่เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ เหล่านี้จะมีราคาค่อนข้างสูง เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ สามารถนำเอาทรานซิสเตอร์ที่ไม่ทราบเบอร์หรือเบอร์ลบเลือนไปมาทำการวัดและหาเบอร์ที่สามารถทำงานได้เหมือนๆ กันมาทดแทน

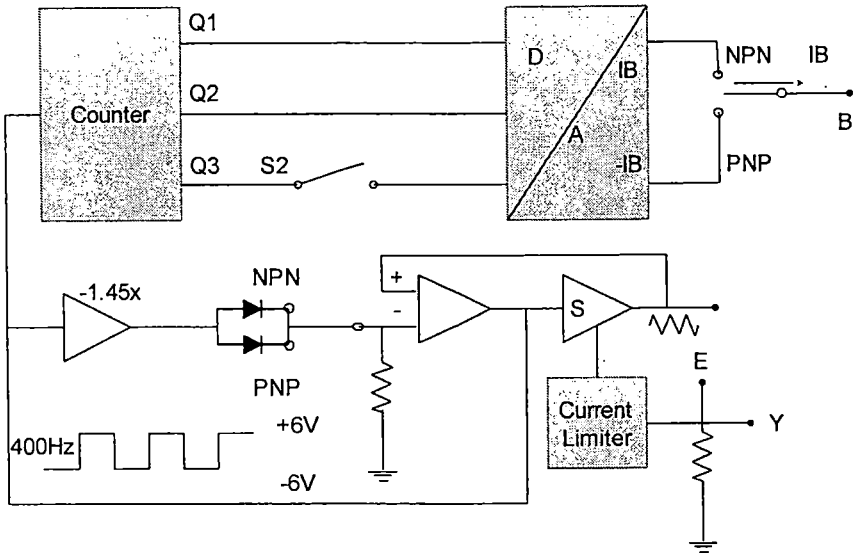
เส้นกราฟที่ได้จากการทดสอบ เป็นสิ่งสำคัญมากที่จะแสดงให้เห็นคุณสมบัติการทำงานของทรานซิสเตอร์ โดยในด้านแกน X จะแสดงกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) ของทรานซิสเตอร์และแกน Y จะแสดงแรงดันไฟฟ้าระหว่างคอลเลคเตอร์กับอีมิตเตอร์ (V_{CE}) ดังรูปที่ 2.22 ซึ่งกระแสของเบสจะมีความสัมพันธ์กับการไบแอสตามที่กำหนดไว้ การเพิ่มกระแสเบสเป็นขั้นๆ ในย่านการทำงานของทรานซิสเตอร์ จะช่วยให้เราเห็นเส้นกราฟที่แตกต่างกันปรากฏบนจอของออสซิลโลสโคป เส้นกราฟเหล่านี้จะแสดงให้เห็นว่าทรานซิสเตอร์ทำงานถูกต้องหรือผิดพลาด ซึ่งทำให้เราคำนวณเกณฑ์การขยายของทรานซิสเตอร์ได้และยิ่งกว่านั้นเรายังเห็นความคงที่และคุณสมบัติการต้านกระแสในช่วงที่ทรานซิสเตอร์ทำงานถึงจุดอิ่มตัวและเนื่องจากเครื่องนี้สามารถตรวจสอบได้ทั้งทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นและพีเอ็นพี ทำให้เราสามารถหาทรานซิสเตอร์ที่เข้ากันได้มาทำงานร่วมกันเพื่อให้แมทช์กันได้



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างการต่อวงจรเพื่อวัดหาคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์

ความสัมพันธ์ของการทำงานในภาคดิจิตอลกับอนาล็อก ภาคดิจิตอลกับอนาล็อกจะทำงานร่วมกันในการเขียนกราฟที่เป็นคุณสมบัติของเอาพุต โดยที่กระแสเบสได้รับการไบแอสเป็นขั้นๆ โดยภาคดิจิตอล เพื่อรักษากระแสเบสให้คงที่ไม่ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงในขณะที่กำลังเขียนกราฟ ส่วนแรงดันไฟที่คอลเลคเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากศูนย์โวลต์ถึงจุดสูงสุด โดยถูกควบคุมจากภาคอนาล็อก

แรงดันไฟฟ้าที่ขาคอลเลคเตอร์ได้รับมาจากวงจรกำเนิดสัญญาณรูปสามเหลี่ยม ซึ่งประกอบด้วยวงจรสมิตทริกเกอร์ (Schmitt-Trigger) และวงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator) ดังรูปที่ 2.23 วงจรสมิตทริกเกอร์ประกอบด้วยวงจรขยายสัญญาณ 1.45 เท่าและวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) ภาคขยายสัญญาณจะป้อนแรงดันที่ใช้เปรียบเทียบให้กับวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ โดยอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการและการเปลี่ยนแปลงพลังงานไปในรูปความร้อน รวมทั้งระดับความแตกต่างของสัญญาณและขึ้นอยู่กับสัญญาณเอาพุตของวงจรสมิทริกเกอร์และไดโอดที่ต่ออยู่ระหว่างวงจรขยายกับวงจรเปรียบเทียบ จะยอมให้แรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงระหว่าง 0 โวลต์ 8 โวลต์และ -8 โวลต์ สำหรับแต่ละชนิดของทรานซิสเตอร์ว่าจะเป็นเอ็นพีเอ็นหรือพีเอ็นพี



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างวงจรของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์

การทำงานร่วมกันระหว่างวงจรสมิททริกเกอร์และวงจรกำเนิดสัญญาณรูปสามเหลี่ยม ซึ่งทำให้เอาพุตเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0 โวลต์ ถึง 8 โวลต์และ 0 โวลต์ ถึง -8 โวลต์ สัญญาณนี้จะถูกนำไปใช้เป็นแรงดันคอลเลคเตอร์กับอีมิตเตอร์ สำหรับทรานซิสเตอร์ที่เราจะตรวจสอบและสัญญาณรูปสามเหลี่ยมเหล่านี้ยังถูกนำไปสร้างให้เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมเพื่อเป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับวงจรดิจิตอล ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าที่ขาคอลเลคเตอร์กับอีมิตเตอร์เริ่มที่จะเพิ่มขึ้นจาก 0 โวลต์ ในทรานซิสเตอร์แบบเอ็นพีเอ็นและจาก -8 โวลต์ ในแบบพีเอ็นพี วงจรนับจะเริ่มนับและกระแสเบสก็จะเพิ่มขึ้น 1 ระดับ โดยที่วงจรนับจะขับวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นแรงดันไฟฟ้าป้อนให้กับกระแสเบส ซึ่งในแต่ละระดับจะปรับกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 25 ไมโครแอมป์ วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าจะรับสัญญาณ 8 ระดับ

2.3 การออกแบบและสร้างเครื่องมือ

แนวทางการออกแบบและสร้างเครื่อง ผู้วิจัยได้ประยุกต์ให้แนวทางของ วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2543 : 110-128 โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

2.3.1 ขั้นตอนกำหนดจุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

จากการตัดสินใจในการที่จะใช้ชุดทดลองสำหรับการสอนในหัวข้อเรื่องใด หรือเนื้อหาเรื่องใดแล้ว จะทำให้ทราบว่าชุดทดลองจำนำไปใช้กับนักศึกษากลุ่มใดแล้วก็ควรจะทราบ วัตถุประสงค์ของบทเรียนนั้นด้วย ข้อมูลดังกล่าวจะนำมาใช้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการดำเนินงาน พัฒนาออกแบบสร้างชุดทดลอง โดยกำหนดจุดประสงค์ของอุปกรณ์ เพื่อกำหนดตุณลักษณะของอุปกรณ์ให้สอดคล้องวัตถุประสงค์ของบทเรียน ในขั้นตอนนี้อาจกล่าวได้ว่า เป็นขั้นตอนที่จะต้องศึกษาข้อมูลต่างๆ เพื่อให้การออกแบบชุดทดลองเกิดความเป็นจริงสำเร็จผลตามเป้าหมาย ควรศึกษาสภาพในการเรียนการสอน ศึกษาข้อมูลด้านวิชาการในเรื่องนั้นๆ หรือถ้าหากเรื่องนั้นได้มีการพัฒนามาแล้วโดยผู้อื่น ก็ควรที่จะศึกษารายละเอียดด้วย เมื่อศึกษารายละเอียดต่างๆแล้วจึงนำมาเขียนจุดประสงค์ของอุปกรณ์ ในลักษณะคำบรรยายแต่ไม่ระบุรูปร่างของเทคนิคเฉพาะเจาะจง ข้อมูลต่างๆอาจกล่าวได้ว่าเป็นขอบเขตคุณลักษณะของอุปกรณ์ที่จะออกแบบสร้าง อาจกำหนดเป็นข้อๆได้และตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของบทเรียนอีกครั้ง จนกระทั่งได้ผลครอบคลุมตามเป้าหมาย

2.3.2 ขั้นตอนวิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์

ขั้นตอนนี้มีเป้าหมายที่สำคัญ คือ ต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากทางเลือกหลายๆทาง โดยการวิเคราะห์และตัดสินใจเลือก ซึ่งอาจจะมีวิธีการแตกต่างกันไป การตัดสินใจเลือกมีสิ่งสำคัญคือแนวทางในการตัดสินใจเลือกเกณฑ์ โดยทั่วไปเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่เรื่องของขนาดรูปร่างประสิทธิภาพในการทำงาน การบำรุงรักษา ความคงทน ราคา เป็นต้น ส่วนน้ำหนักของเกณฑ์จะแตกต่างไปตามความสำคัญ หรือจะเน้นหนักในเรื่องใด เช่น เน้นหนักทางด้านเทคนิค หรือทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น การจัดสินใจจะต้องมีความเที่ยงตรงน่าเชื่อถือ ในการตัดสินใจเลือกจึงควรประกอบด้วยบุคคลหลายฝ่าย เช่น ฝ่ายออกแบบ ฝ่ายผลิต ฝ่ายจัดการ เป็นต้น การพัฒนาอุปกรณ์ซึ่งมีอุปกรณ์ต่างๆเป็นจำนวนมาก อาจต้องตัดสินใจเลือกส่วนประกอบแต่ละชิ้น ขั้นตอนนี้ต้องนำมาวิเคราะห์ความเข้ากันได้ หรือการประกอบกันได้ของชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ที่ได้เลือกมาแล้ว จึงทำการตัดเสินใจเลือกชุดประกอบแต่ละชุด

2.3.3 ขั้นตอนการสร้างต้นแบบและตรวจสอบการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์

จากผลการตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบ ในขั้นตอนที่ 4 จะต้องนำมาสเก็ตเป็นภาพประกอบคร่าวๆ หรือสเก็ตเป็นแบบง่ายๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสร้างเป็นต้นแบบ บางครั้งขั้นตอนนี้อาจจะต้องทำการทดลองหรือทดสอบกลไกหน้าที่ของอุปกรณ์บางอย่างเพื่อให้การสร้างต้แบบประสบผลสำเร็จ อุปกรณ์ต่างๆสามารถทำงานได้ตามต้องการ

2.3.4 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองจะถูกนำไปใช้ในสถานศึกษาโดยผู้วิจัย เพื่อค้นหาข้อบกพร่องต่างๆ เช่น ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความยาก ความซับซ้อน ความทนทาน ความสะดวกในการลอกเลียนแบบมาใหม่ เป็นต้น

2.3.5 ขั้นตอนการปรับปรุงข้อมูล

การปรับปรุงข้อมูลและการประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองจะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงชุดทดลอง ชุดทดลองที่ทำให้การเรียนการสอนในสาขาวิชาวิศวกรรมบรรลุวัตถุประสงค์ได้จะต้องมีประสิทธิภาพสูง กล่าวคือ ค่าที่ได้จากการทดลองต้องใกล้เคียงกับค่าจริงหรือค่าที่สามารถคำนวณได้มากที่สุด การแสดงค่ารวมทั้งการทำงานควารให้ผู้เรียนสังเกตุเห็นได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจในทฤษฎีที่ได้ศึกษามาแล้วอย่างเป็นรูปธรรม

2.3.6 ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพ

การเรียนการสอนในสาขาช่างอุตสาหกรรม จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีชุดปฏิบัติการเป็นสื่อเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนภาคปฏิบัติโดยผู้เรียนใช้ชุดปฏิบัติการทำการทดลอง เพื่อหาผลเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้เรียนจากภาคทฤษฎี ครูผู้สอนจะต้องเตรียมชุดทดลองหรือสร้างชุดทดลองเป็นสือการเรียนการสอน โดยเฉพาะในวิชาปฏิบัติ การมีชุดทดลองที่มีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับหลักสูตรของรายวิชาและครูผู้สอนนำไปใช้อย่างถูกต้องจะเป็นผลทำให้กระบวนการเรียนการสอนมีประสิทธิภาพ

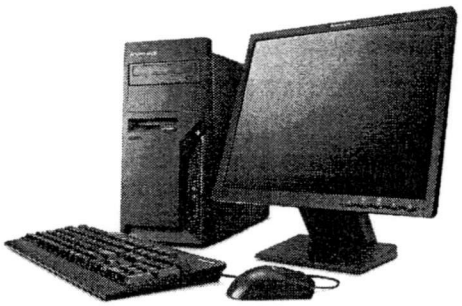
ประสิทธิภาพของชุดทดลอง หมายถึง คุณภาพของชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยวัดจากผลการปฏิบัติงานของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดทดลองและประสิทธิภาพ เป็นเครื่องมือที่สามารถทำให้ได้ข้อมูลที่ดีที่สุด เชื่อถือได้มากโดยใช้วิธีการที่สะดวก รวดเร็ว คล่องตัว แต่เสียเวลาน้อยและลงทุนน้อยและใช้แรงงานน้อย

2.4 คอมพิวเตอร์และไมโครคอลโทรลเลอร์

2.4.1 คอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ คือ เครื่องมือหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีความสามารถในการคำนวณอัตโนมัติตามคำสั่ง ส่วนที่ใช้ประมวลผลเรียกว่าหน่วยประมวลผล ชุดของคาสั่งที่ระบุขั้นตอนการคำนวณเรียกว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลลัพธ์ที่ได้ออกมานั้นอาจเป็นได้ทั้ง ตัวเลข ข้อความ รูปภาพ เสียง หรืออยู่ในรูปอื่น ๆ อีกมากมาย ลักษณะทางกายภาพของคอมพิวเตอร์นั้นมีหลากหลาย มีทั้งขนาดที่ใหญ่มากจนต้องใช้ห้องทั้งห้องในการบรรจุและขนาดเล็กจนวางได้บนฝ่ามือ ดังรูปที่ 2.24 การจัดแบ่งประเภทของคอมพิวเตอร์สามารถจัดแบ่งได้ตามขนาดทางกายภาพเป็นสาคัญ ซึ่งมักจะแปลผันกับประสิทธิภาพความเร็วในการประมวลผล โดยขนาดคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเรียกว่า ซูเปอร์

คอมพิวเตอร์ ใช้กับการคานวณผลทางวิทยาศาสตร์ ขนาดรองลงมาเรียกว่า เมนเฟรม มักใช้ในบริษัทขนาดใหญ่ที่ต้องมีการประมวลผลธุรกรรมทางธุรกิจจำนวนมากๆ สาหรับคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้ในระดับบุคคลเรียกว่า คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่พกพาได้เรียกว่า คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค ส่วนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถวางบนฝ่ามือได้เรียกว่า พีดีเอ อย่างไรก็ตาม คอมพิวเตอร์มีใช้กันอย่างกว้างขวางมาก ซึ่งมีอุปกรณ์หลายๆชนิดได้นำคอมพิวเตอร์ไปใช้เป็นกลไกหลักในการทางาน เช่น กล้องดิจิทัล เครื่องเล่นเอ็มพีสาม หรือในรถยนต์เองก็มีคอมพิวเตอร์ที่ใช้ช่วยในการตรวจสอบระบบการทำงานของเครื่องยนต์



รูปที่ 2.24 แสดงตัวอย่างคอมพิวเตอร์

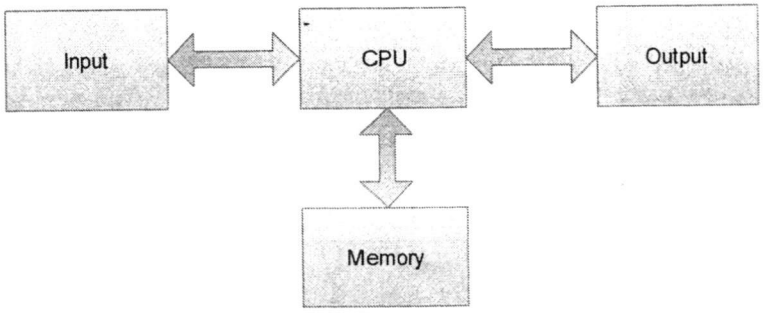
ส่วนประกอบของระบบคอมพิวเตอร์มี 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้ ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ซอฟต์แวร์ (Software) และบุคลากร (People Ware)

ฮาร์ดแวร์ (Hardware) เป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ทั้งหมด เช่น จอภาพ (Monitor) เมาส์ (Mouse) แป้นพิมพ์ (Keyboard) ซีพียู (CPU) ปริ้นเตอร์ (Printer) สแกนเนอร์ (Scanner) ยูพีเอส (UPS) ซีดีรอมไดรว์ (CD-ROM Drive) เป็นต้น

ซอฟต์แวร์ (Software) เป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้หรือเพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำงานต่างๆ ได้ตามที่เราต้องการ

บุคลากร (People Ware) เป็นบุคลากรที่เกียวข้องกับคอมพิวเตอร์ทั้งหมด เช่น คนใช้ คนสอน คนซื้อ คนสร้างโปรแกรม คนผลิตและบุคคลที่เกียวข้องกับคอมพิวเตอร์ทั้งหมด

ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ มี 4 ส่วนด้วยกันแสดงดังรูปที่ 2.25 ดังนี้



รูปที่ 2.25 ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์

ส่วนรับข้อมูล (Input) ทำหน้าที่รับข้อมูลโดยอาจรับข้อมูลจากแป้นพิมพ์ เมาส์ หรือเครื่องสแกนเนอร์ หน้าจอแบบสัมผัส

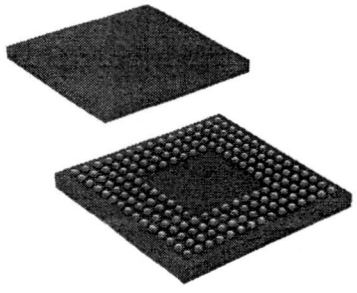
ส่วนประมวลผล (CPU) เมื่อรับข้อมูลเข้ามาแล้ว ส่วนประมวลผลจะทำหน้าที่เป็นสมองของคอมพิวเตอร์ในการคิดคำนวณหรือประมวลผลเพื่อทำงานตามความต้องการของผู้ใช้

ส่วนหน่วยความจำ (Memory) เป็นส่วนที่ช่วยในการทำงานของส่วนประมวลผล ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์

ส่วนแสดงผล (Output) เป็นส่วนที่ใช้ในการแสดงผล เมื่อคิดคำนวณได้ผลลัพธ์ออกมาแล้วก็จะส่งผลมาแสดงที่ส่วนแสดงผล เช่น แสดงทางจอภาพ เครื่องพิมพ์หรือส่งไปทางโมเด็มและ อื่นๆ

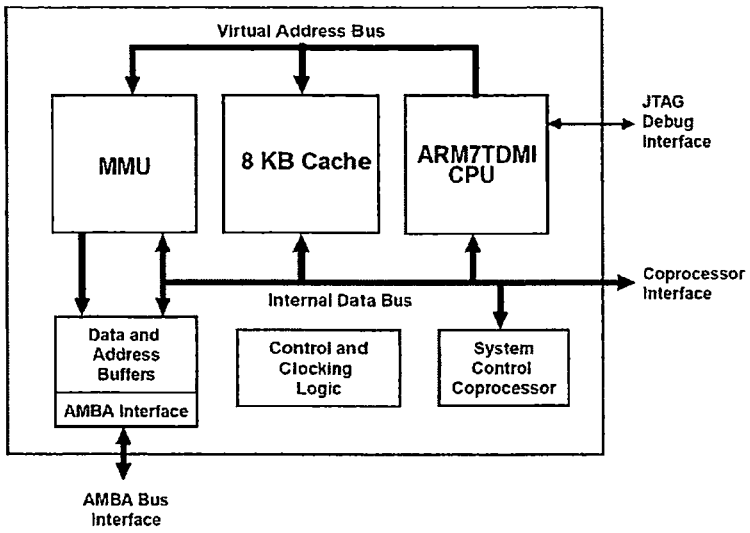
2.4.2 ไมโครคอลโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่รวบรวมฟังก์ชั่นการทำงานต่างๆ ไว้ภายในตัวของมันเอง โดยมีโครงสร้างใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์ คือ ภายในประกอบด้วยหน่วยรับข้อมูลและโปรแกรมหน่วยประมวลผล หน่วยความจำ หน่วยแสดงผล ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้มีความสมบูรณ์ในตัวของมันเอง ทำให้มีขนาดเล็กและสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เชื่อมต่อกับตัวมัน ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน ตัวอย่างไมโครคอลโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างไมโครคอลโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มาจากคำ 2 คำ คำหนึ่งคือ ไมโคร (Micro) หมายถึงขนาดเล็กและคำว่า คอนโทรลเลอร์ (Controller) หมายถึงตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงหมายถึงอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก แต่ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับ ระบบคอมพิวเตอร์ ที่คนโดยส่วนใหญ่คุ้นเคย กล่าวคือภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำและพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน ดังรูปที่ 2.27 โดยทำการบรรจุ เข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน



รูปที่ 2.27 ตัวอย่างโครงสร้างของไมโครคอลโทรลเลอร์

ความแตกต่างของไมโครคอลโทรลเลอร์ กับไมโครคอมพิวเตอร์ คือไมโครคอลโทรลเลอร์นั้นมีความสมบูรณ์ภายในตัวของมันเอง คือ มีส่วนประกอบต่างๆ ครบถ้วน ส่วนไมโครคอมพิวเตอร์นั้นต้องทำงานร่วมกับอุปกรณ์ข้างเคียงที่เชื่อมต่อจากภายนอก เช่น แป้นพิมพ์ เครื่องอ่านเขียนแผ่นบันทึก

ข้อแตกต่างระหว่างไมโครคอลโทรลเลอร์กับไมโครคอมพิวเตอร์ คือ ไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จะไม่มีหน่วยความจำ แรม, รอมและพอตอยู่ในตัว ทำให้ต้องต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเพิ่มและต้องใช้ IC ขยายพอร์ตเพิ่มเติม ข้อดีคือ สามารถเพิ่มหน่วยความจำได้ตลอด ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีวงจรพื้นฐานประกอบอยู่ภายในชิป เช่น หน่วยความจำ แรม, รอมและอินพุต เอาพุตพอตดังนั้น ในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จึงมีขนาดเล็กกว่าและราคาต่ำกว่าระบบไมโครโปรเซสเซอร์

โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit) เป็นวงจรอิเลคทรอนิคส์ที่ทำงานหรือประมวลผล· ตามชุดของคำสั่งเครื่องจากซอฟต์แวร์ คำนี้เริ่มใช้ในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ต้นศตวรรษ 1960 หน่วยประมวลผลเปรียบเสมือนเป็นสมองของ

คอมพิวเตอร์ ในการทำหน้าที่ตัดสินใจหรือคำนวณ จากคำสั่งที่ได้รับมา เช่น การเปรียบเทียบ การกระทำการทางคณิตศาสตร์ ฯลฯ

หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดาษทศในการคำนวณของซีพียูและเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยงข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม(RAM)ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วๆไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยงและเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะด้วยการกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างซีพียูหน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอน-โทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus), บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม Control Bus)บัสข้อมูลเป็นสายสัญญาณที่บรรจุข้อมูล เพื่อการประมวลผลทั้งหมด ขนาดของบัสจะขึ้นอยู่กับความสามารถการประมวลผลของซีพียู สำหรับในงานทั่วๆ ไป ขนาดของบัสข้อมูลจะเป็น 8 บิตและในปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นมาจนถึง 16, 32 และ 64 บิต บัสแอดเดรสเป็นสายสัญญาณที่บรรจุค่าตำแหน่งของหน่วยความจำ โดยการติดต่อกับหน่วยความจำนั้น ซีพียู ต้องกำหนดตำแหน่งที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน ดังนั้นจำนวนสายสัญญาณของแอดเดรสจึงต้องมีจำนวนมาก ยิ่งมากเท่าไหร่ ก็จะเป็นการแสดง ขนาดของหน่วยความจำที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อได้ โดยสามารถคำนวณได้จาก จำนวนแอดเดรสของหน่วยความจำเท่ากับ 2 ยกกำลัง n (n คือจำนวนของเส้นทาง) ยกตัวอย่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวหนึ่งมีสายแอดเดรส 10 เส้น ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้ สามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้ 2 ยกกำลัง 10 = 1,024 ตำแหน่ง หากต้องการทราบความจุของหน่วยความจำจริงๆ จะต้องทราบถึงขนาดของบัสข้อมูลก่อนว่าเป็นเท่าใด หากเป็น 8 บิต ความจุของหน่วยความจำที่มีสายแอดเดรส 10 เส้น จะเท่ากับ 8x1024 = 8,192 บิต และ 1 กิโลไบต์ เท่ากับ 1,024 ไบต์ ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ดังกล่าว จึงมีความจุของหน่วยความจำเท่ากับ 8,192 บิต หรือ 1,024 ไบต์ หรือ 1 กิโลไบต์บัสควบคุมเป็นกลุ่มของสายสัญญาณควบคุมการติดต่อทั้งหมดของซีพียูกับหน่วยความจำและพอร์ต สำหรับสายสัญญาณ

เลือกควบคุมหลักได้แก่ สายสัญญาณเลือก-อ่าน-เขียนหน่วยความจำ สายสัญญาณเลือกเลือก อ่าน เขียนข้อมูลกับพอร์ต

วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock) นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

2.4.2.1 ชนิดของไมโครคอลโทรลเลอร์

ไมโครคอลโทรลเลอร์สามารถแบ่งตามสถาปัตยกรรมได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. RISC (Reduced Instruction Set Computer) เป็นสถาปัตยกรรมไมโครคอลโทรลเลอร์รูปแบบที่มีคำสั่งในการทำงานน้อย แต่ละคำสั่งสามารถทำงานได้อย่างเดียว ไม่ซับซ้อน ตัวอย่างไมโครคอลโทรลเลอร์ในสถาปัตยกรรมนี้ เช่น ไมโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล MCS51, PIC, AVR และ ARM เป็นต้น

2. CISC (Complex Instruction Set Computer) เป็นสถาปัตยกรรมไมโครคอลโทรลเลอร์รูปแบบที่คำสั่งมาก แต่ละคำสั่งมีความซับซ้อนมากกว่า ตัวอย่างไมโครคอลโทรลเลอร์ในสถาปัตยรรมนี้ เช่น MCS-51, 68HCxx, Z80 เป็นต้น

2.4.2.2 หลักการพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะแตกต่างจากการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ เนื่องจากการพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องคำนึงถึงไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นที่เลือกใช้เป็นหลัก ซึ่งแต่ละรุ่นจะมีคุณสมบัติ, ข้อกำหนดและความสามารถแตกต่างกันไป การพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์จึงมีหลักดังนี้

1. ทำความเข้าใจเกี่ยวกับส่วนที่ต้องการใช้งานในไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือที่เรียกว่าโมดูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น โมดูลพอร์ต ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับอินพุตเอาต์พุตพอร์ต โมดูลไทม์เมอร์ ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการนับเวลา หรือจับเวลา เป็นต้น

2. ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับโมดูลนั้นๆ ซึ่งรีจิสเตอร์เป็นเสมือนสวิตช์เปิด - ปิด การทำงานของโมดูลนั้นๆ เมื่อกำหนดค่าในรีจิสเตอร์นั้นๆ แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะเริ่มทำงานตามที่ได้กำหนดไว้ในรีจิสเตอร์ทันที

3. รีจิสเตอร์ในบางโมดูลจะไม่มีบิตเฉพาะในการ เปิด-ปิด การทำงาน เพียงแค่กำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ โมดูลก็จะเริ่มต้นทำงานทันที

4. บางโมดูลนอกจากต้องกำหนดบิตในการเปิด - ปิดแล้วยังต้องมีการกำหนดส่วนทำงานของโมดูลนั้นๆด้วย เช่น โมดูลที่เกี่ยวข้องกับงานอินเตอร์รัปต์ จะต้องมีการกำหนดฟังก์ชันที่เกี่ยวกับอินเตอร์รัปต์ของโมดูลที่ใช้งาน

5. หลังจากเข้าใจการกำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ของโมดูลที่ใช้งานแล้ว การพัฒนาโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการพัฒนาโปรแกรมของแต่ละบุคคล รวมถึงความรู้พื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์

2.5 ความถูกต้องและความเที่ยงตรงในการวัด

ในการวัดเมื่อพิจารณาถึงความถูกต้องและความเที่ยงตรงแล้วถือได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นภายหลังจากขบวนการใช้เครื่องวัดไฟฟ้า ความถูกต้อง คือ ความใกล้เคียงระหว่างค่าแท้จริงกับค่าที่ได้จากการวัด ยิ่งค่าทั้งสองนี้มีความใกล้เคียงกันมากเท่าไร ค่าความถูกต้องก็จะสูงขึ้นเท่านั้นและค่าความถูกต้องจะมีค่าไม่เกิน 1 เราสามารถคำนวนหาค่าความถูกต้องได้จากสมการ

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \qquad (2.3)$$

$$a = 100\% - \text{Percent Error}$$

$$a = A \times 100$$

เมื่อ A = ค่าความถูกต้อง

a = ร้อยละความถูกต้อง

ความเที่ยงตรง คือ การวัดค่าตัวแปรเดียวกันหลายๆ ครั้ง แล้วได้ค่าใกล้เคียงกันมากในทุกๆ ครั้ง แสดงว่า เครื่องมือวัดมีค่าความเที่ยงตรงสูง

เราสามารถคำนวณหาค่าความเที่ยงตรงได้จากสมการ

$$\text{ค่าความเที่ยงตรง} = A = 1\left| \frac{X_n - \overline{X_n}}{X_n} \right| \qquad (2.4)$$

ในการหาค่าเฉลี่ย $\overline{X_n}$ จะได้จาก

$$\overline{X_n} = \frac{\sum X}{n} = X1 + X2 + X3 \ldots X_n \qquad (2.5)$$

เมื่อ $\sum X$ = ผลรวมของค่าที่วัดได้แต่ละครั้ง

n = จำนวนครั้งที่ทำการวัด

ความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องและความเที่ยงตรงนั้น กล่าวได้ว่าในกระบวนการวัดได้ที่มีความถูกต้องสูงนั้นย่อมมีความเที่ยวตรงสูงตามไปด้วย แต่ถ้าหากในกระบวนการวัดใดที่ความเที่ยงตรงสูงนั้นไม่ได้หมายถึงว่าความถูกต้องจะต้องสูงตามไปด้วยเสมอไป

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดำรง จีนขาวขำ (2546:1) ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างชุดตรวจวัดกระแสค่าต่ำๆ สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยจะมีราคาที่ต่ำเพื่อนำมาใช้แทนตัวตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ โดยชุดตรวจสอบวัดกระแสนี้จะใช้หลักการเดียวกันกับโพรบวัดกระแสแบบดัดโค้งได้ แต่จะต้องใช้แกนวัสดุที่เป็นแม่เหล็ก (Magnetic Material) ทำให้สามารถตอบสนองกระแสต่ำได้ดี

บุญญฤทธิ์ บุญโกมล (2551:3) ได้ทำการวิจัยที่จะทำการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบไดโอด ทรานซิสเตอร์และเฟทโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการหาขาและชนิดของ ไดโอด ทรานซิสเตอร์และเฟท โดยเครื่องจะแสดงผลของข้อมูลที่ตรวจสอบได้ออกมาเป็นตัวเลขและตัวอักษรออกทางจอ แอล ซี ดี (LCD: Liquid Crystal Display) ซึ่งสะดวกต่อการใช้งาน สามารถนำผลการวัดที่ได้ ไปประยุกต์ใช้งานได้เลย โดยไม่ต้องใช้ มัลติมิเตอร์ หรือวิธีการเปิด ดาต้าบุค จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการฏิบัติงานที่เกี่ยวกับ อิเล็กทรอนิกส์ โดยข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องและแม่นยำ สามารถนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากดาต้าบุคได้

อภิชาติ อิ่มเต็ม (2552:1) ได้ทำการวิจัยพัฒนาเครื่องวัดไฟฟ้าแบบไรสาย โดยการนำวงจรวัดกระแสไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้กับ WSN เพื่อใช้ในการตรวจวัดการใช้กระแสไฟฟ้าและส่งข้อมูลมาประมวลผล เพื่อทำให้ต้นทุนต่อหน่วยการตรวจวัดมีราคาถูกและง่ายต่อการตั้งตั้งและรับส่งข้อมูล โดยผู้วิจัยได้เลือก WSN ของ Xbee ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมและราคาถูกโดยมีมาตราฐานการส่งสัญญาณแบบ IEEE 802.15.4 ในย่านความถี่ 2.4 GHz โดยนำ Physical Layer และ Mac Layer ซึ่งเป็นมาตรฐานการสื่อสารไร้สาย (Wireless Personal Area Network: WPAN) ทำให้การรับและส่งข้อมูลทำได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บไว้ที่ PC Server เพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล

E.Moreno-Garcia (2004:IEEE) ได้ทำการวิจัยเพื่อออกแบบวงจรและโปรแกรมที่เป็นต้นแบบของเครื่องวัดคุณลักษณะ โดยมีการควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องวัดคุณลักษณะจะทำการดึงข้อมูลจากบอร์ดซึ่งเป็นส่วนควบคุมสัญญาณที่ขาเบสและขาคอลเลคเตอร์ของเครื่องวัดคุณลักษณะ บอร์ดควบคุมจะทำการดึงข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบคุณลักษณะของอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ ซึ่งมีการออกแบบวงจรที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อที่ขาเบสและขาคอลเลคเตอร์ โดยโปรแกรมที่สร้างขึ้นจะทำการแสดงผลในรูปแบบของกราฟฟิกซึ่งสร้างขึ้นจากโปรแกรม Labview เพื่อควบคุมการทำงานภายนอกวงจร อีกทั้งยังสามารถบันทึกผลการทดลองในรูปแบบไฟล์เอกสารและทำการโหลดข้อมูลเพื่อนำมาแสดงผลในรูปแบบของกราฟได้

Julen Joseba Maestro Ibirriaga el at. (2010:IEEE) ได้ทำการออกแบบและการทดสอบของการวัดคุณลักษณะของกระแสและแรงดันสำหรับ Photovoltaic Modules ในราคาประหยัด เครื่องวัดคุณลักษณะนี้จะทำการเชื่อมต่อกับหลอด Xenon บนพื้นฐานการจำลองทางแสง เครื่องวัดคุณลักษณะที่สร้างขึ้นสามารพตรวจสอบความสว่างของแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงเร็วที่สุดและมีซอฟต์แวร์ที่มีความยืดหยุ่นซึ่งสามารถควบคุมได้โดยอัตโนมัติ เพื่อให้เหมาะสมกับความสว่างที่แตกต่างกัน โดยทำการตั้งค่าการจำลองของแสงและการทดสอบพฤติกรรมและประสิทธิภาพของการออกแบบเครื่องวัดคุณลักษณะทางด้านกระแสและแรงดัน

Emmett L. Miller, Seattle, Wash. (1987) ได้ทำการวิจัยสำหรับเครื่องวัดคุณลักษณะ เพื่อทำการจำลองการแสดงผลของคุณลักษณะของกรแสและแรงดันของอุปกรณ์ โดยอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบจะต้องทำการเชื่อมต่อกับเครื่องวัดคุณลักษณะ ที่ขาหนึ่ง สองและ สามตามลำดับและทำการวัดสัญญาณที่เอาพุตที่ออกมาจากขาที่สอง โดยเครื่องจะทำการแสดงผลทางด้านกระแสและแรงดันที่ได้จากการวัดที่ขาหนึ่งและสาม โดยทำการวัดทีละขั้นตอนตามลำดับในการปรับสัญญาณอินพุต

Thomas H. Warner el at. (1982) ทำการวิจัยเพื่อทดสอบการวัดคุณลักษณะและความสัมพันธ์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยเครื่องวัดคุณลักษณะจะทำการกำหนดโหลดให้คงที่ในขณะที่ทำการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสและแรงดันและทำการบันทึกผลของการวัดค่ากระแสและแรงดันลงในหน่วยความจำและสามารถนำผลการทดลองที่ได้บันทึกไว้มาแสดงผลในรูปแบบของกราฟเพื่อตรวจสอบคุณลักษณะและความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของอุปกรณ์

ผลสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นงานวิจัยเพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด ซึ่งมีการออกแบบและทดสอบเพื่อทำการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์ในรูปแบบต่างๆ เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและความสัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆ ของอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์และวงจร

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดคุณลักษณะของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ คือ ไดโอดและทรานซิสเตอร์ ดังนั้นเพื่อให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3 วิธีการดำเนินการและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.1 ประชากร

ประชากรที่ผู้วิจัยใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นอุปกรณ์ประเภทไดโอดและทรานซิสเตอร์

3.2.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย เป็นอุปกรณ์ประเภทไดโอดและทรานซิสเตอร์ ดังนี้

ไดโอด ได้แก่เบอร์ 1N4001, 1N4002, 1N4006, 1N4007, 1N4148, 1N4150, 1N4151, 1N4152, 1N4446 และ 1N4448

ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น ได้แก่เบอร์ 2N2222, 2N3904, C9012, C9014, BD135, BD137, BD139, BC546, BC547 และ BC548

ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี ได้แก่เบอร์ 2N2223, 2N3905, C9013, C9015, BD136, BD138, BD140, BC556, BC557 และ BC558

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

3.2.1.1 ฮาร์ดแวร์

เป็นส่วนควบคุมการไบแอส อุปกรณ์ไดโอดและทรานซิสเตอร์ที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และส่งข้อมูลไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านการสื่อสารแบบอนุกรมเพื่อแสดงผลในรูปแบบของกราฟคุณลักษณะที่ไมโครคอมพิวเตอร์

3.2.1.2 ซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ของระบบประกอบด้วยซอฟต์แวร์สองส่วนคือส่วนที่ใช้สำหรับควบคุมฮาร์ดแวร์เพื่อบันทึกและส่งผลการไบแอสอุปกรณ์ไดโอดและทรานซิสเตอร์ไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ และส่วนของซอฟต์แวร์ที่ใช้การแสดงผลในรูปแบบของกราฟและทำการบันทึกค่าของตัวแปรต่างๆของไมโครคอมพิวเตอร์

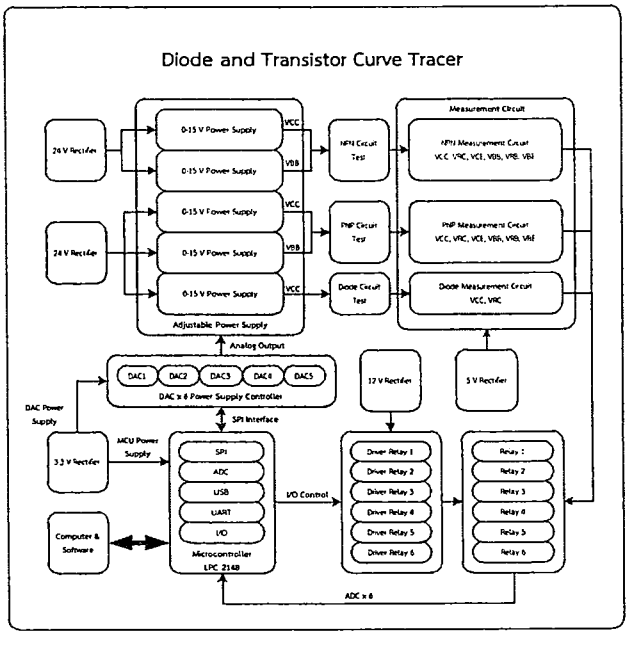
3.2.1.3 ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาเครื่องมือวัดคุณลักษณะของไดโอดและทราน-ซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยประยุกต์แนวทางการวิจัยของ วัลลภ จันทร์ตระกูล. (2543 : 110-128) โดยมีขั้นตอนการพัฒนาเครื่องมือวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ดังต่อไปนี้

ในการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็นขั้นตอน ดังนี้

3.2.1.3.1 ศึกษาวิธีการออกแบบเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือวัด

3.2.1.3.2 ออกแบบโครงสร้างเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ตามขอบเขตของงานวิจัยที่ได้กำหนดไว้ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

3.2.1.3.3 นำผลการออกแบบที่ได้ เสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมเพื่อทำการตรวจสอบ

3.2.1.3.4 พัฒนาเครื่องมือวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ตามขอบเขตของงานวิจัยที่ได้กำหนดไว้ โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. ออกแบบวงจรของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ตามไดอะแกรมที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงใน ภาคผนวก ค รูปที่ ค.3-ค.6 พร้อมต่อวงจรและทดสอบการใช้งาน

2. ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ เพื่อทำการประกอบเครื่องในลำดับต่อไป ดังแสดงใน ภาคผนวก ค รูปที่ ค.7

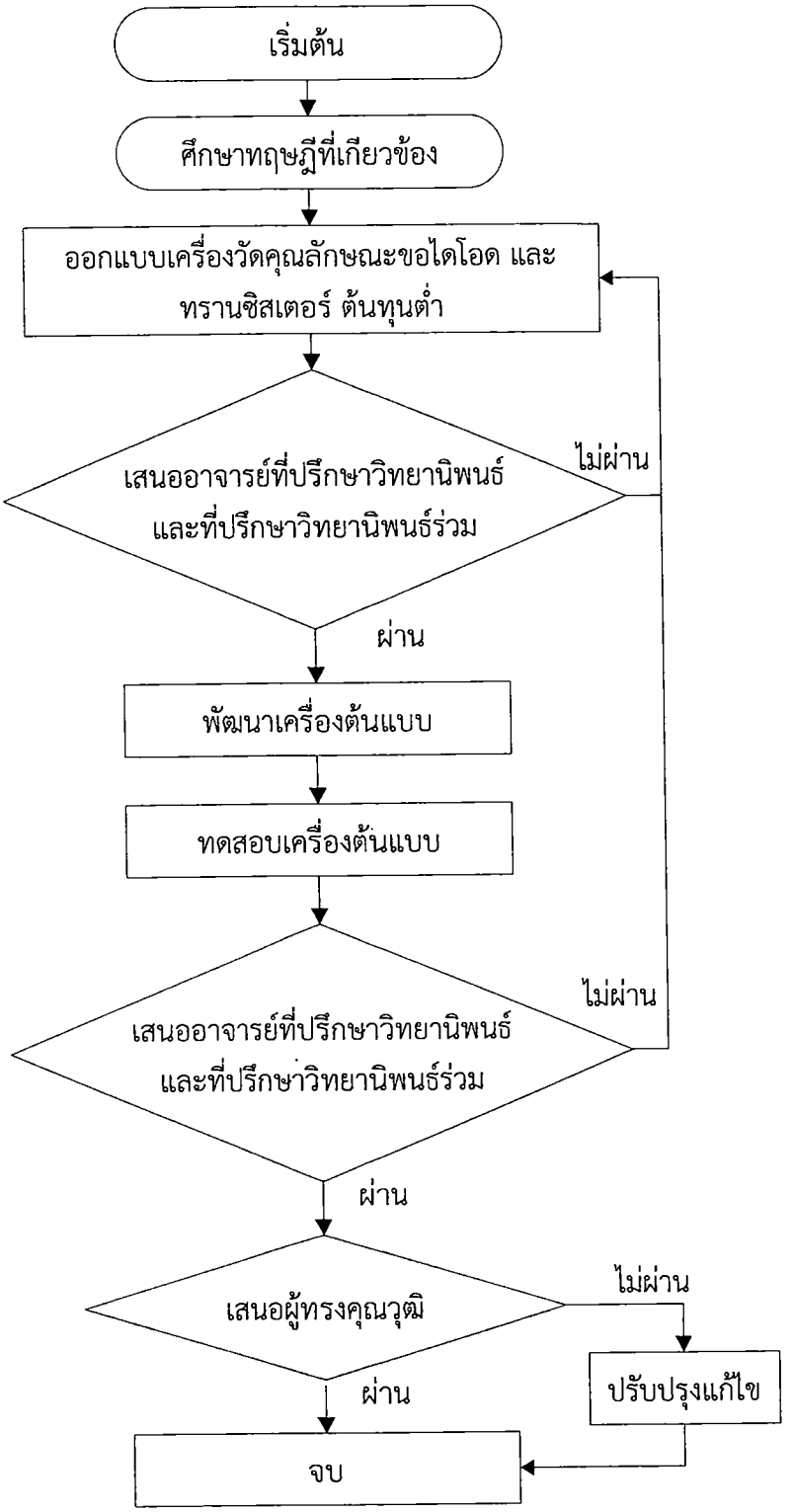
3. ประกอบเครื่องต้นแบบของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ทำการทดสอบและปรับปรุงให้วงจรทำงานได้ถูกต้องตามที่ได้กำหนดไว้ เพื่อใช้สำหรับการทดสอบในลำดับต่อไป ดังแสดงใน ภาคผนวก ค รูปที่ ค.9

4. ผู้วิจัยดำเนินการออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุมเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้ำทุนต่ำ ซึ่งผลจากการออกแบบสามารถแสดงได้ใน ภาคผนวก ค รูปที่ ค.10

3.2.1.3.5 นำผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม นำข้อเสนอแนะต่างๆ มาปรับปรุง และนำเสนอผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อประเมินคุณภาพ ตามรายการในแบบประเมินคุณภาพทั้งสามด้าน

3.2.1.3.6 และนำเสนอผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อประเมินคุณภาพ ตามรายการในแบบประเมินคุณภาพทั้งสามด้าน และนำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงอีกครั้งก่อนนำไปหาประสิทธิภาพจากกลุ่มตัวอย่างต่อไป

ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ สามารถ สรุปได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ผังดำเนินการพัฒนาเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

3.2.2 การสร้างแบบประเมินคุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

ผู้วิจัยได้สร้างแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.2.2.1 ศึกษารายละเอียดวิธีการออกแบบและสร้างแบบประเมินคุณภาพด้านการออกแบบและการใช้งานเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

3.2.2.2 กำหนดหัวข้อและสร้างแบบประเมินคุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยผู้วิจัยแบ่งการประเมินออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ด้านด้านฮาร์ดแวร์จำนวน 6 ข้อ ด้านซอฟต์แวร์จำนวน 7 ข้อ และภาพรวมจำนวน 5 ข้อ โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ในการให้คะแนนมีเกณฑ์ดังนี้

1. ระดับความคิดเห็น 5 ระดับ

ระดับ 5 หมายถึง คุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำอยู่ในระดับดีมาก

ระดับ 4 หมายถึง คุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำอยู่ในระดับดี

ระดับ 3 หมายถึง คุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำอยู่ในระดับปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง คุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำอยู่ในระดับพอใช้

ระดับ 1 หมายถึง คุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำอยู่ในระดับควรปรับปรุง

2. เกณฑ์การประเมินคุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำกำหนดได้ดังนี้

4.50 – 5.00 หมายถึง คุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำอยู่ในระดับดีมาก

3.50 – 4.49 หมายถึง คุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำอยู่ในระดับดี

2.50 – 3.49 หมายถึง คุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำอยู่ในระดับปานกลาง

1.50 – 2.49 หมายถึง คุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำในระดับพอใช้

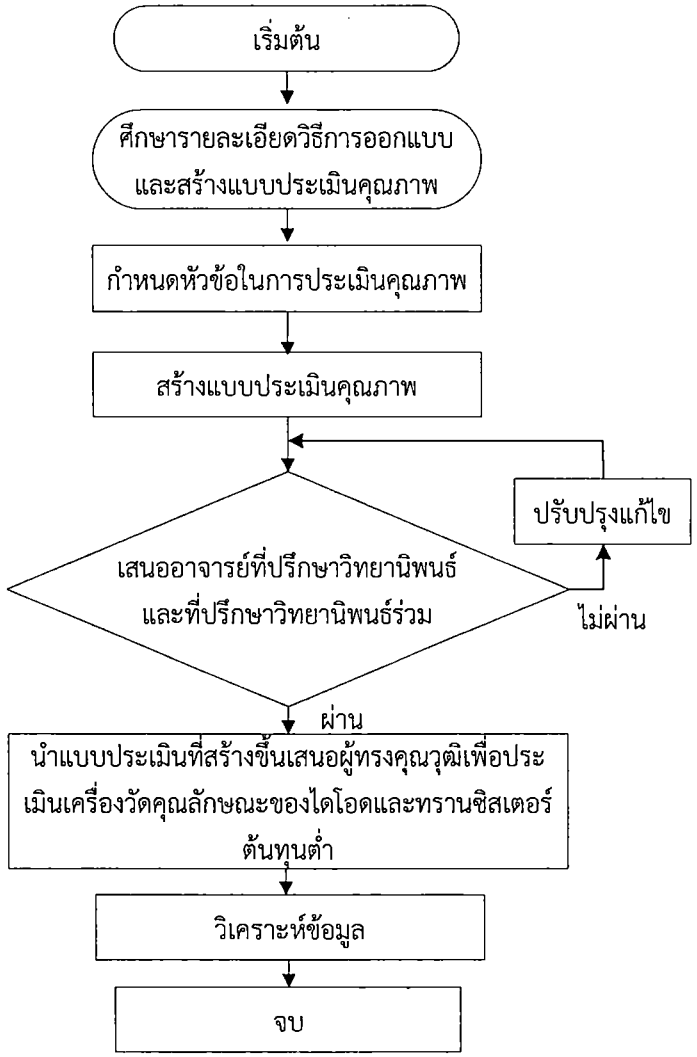
1.00 – 1.49 หมายถึง คุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำในระดับควรปรับปรุง

3.2.2.3 นำแบบประเมินคุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่สร้างขึ้น เสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบเพื่อนำไปแก้ไขตามคำแนะนำ

3.2.2.4 นำแบบประเมินคุณภาพด้านฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์และภาพรวม ของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ เสนอผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อทำการประเมินคุณภาพ

3.2.2.5 นำแบบประเมินคุณภาพด้านฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์และภาพรวม ของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำที่ประเมินแล้วมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ซึ่งการวิจัยครั้งนี้คุณภาพต้องอยู่ระดับคะแนนดี (3.50) ขึ้นไป

โดยขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ด้านฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์และภาพรวม สรุปได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ผังดำเนินการสร้างแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

3.2.3 การหาประสิทธิภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

การหาประสิทธิภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็นขั้นตอน ดังนี้

3.2.3.1 ศึกษารายละเอียดวิธีการหาประสิทธิภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

3.2.3.2 กำหนดวิธีการหาประสิทธิภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

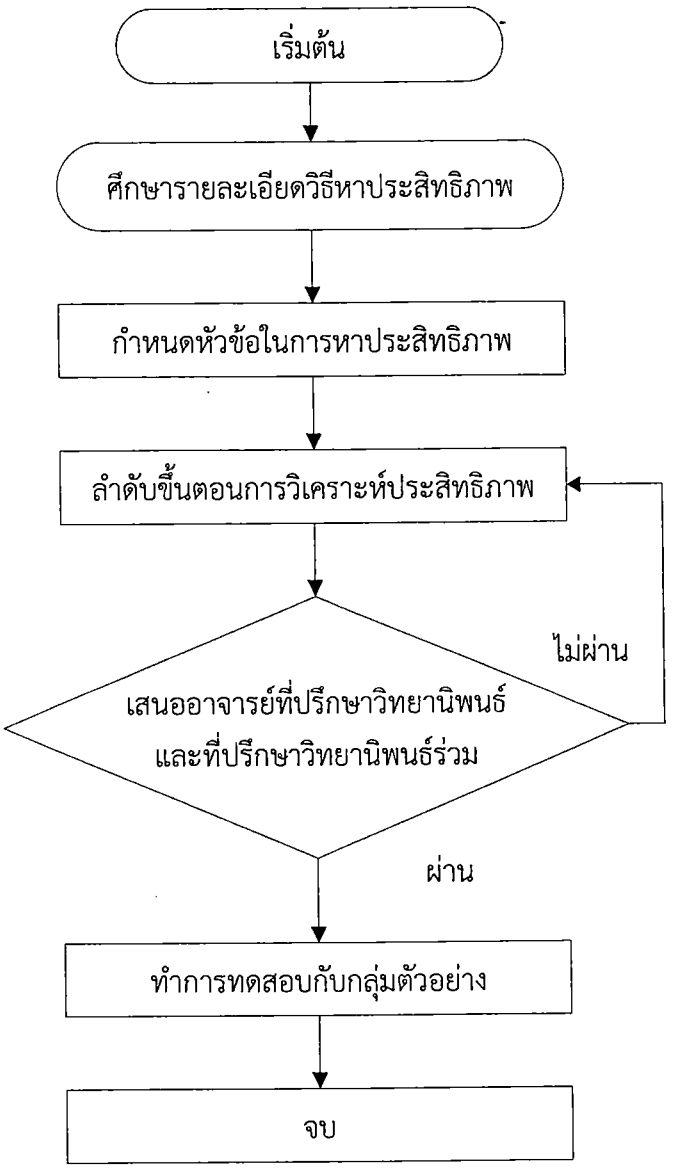
3.2.3.3 กำหนดลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

3.2.3.4 กำหนดวิธีการหาประสิทธิภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่สร้างขึ้น ต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และแก้ไขตามข้อเสนอแนะต่างๆ

3.2.3.5 ทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง และหาประสิทธิภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ตามวิธีการที่กำหนดไว้มีรายละเอียดดังนี้ดังนี้

วิธีหาประสิทธิภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่ผู้วิจัยนำมาใช้คือร้อยละความถูกต้องของการวัดคุณลักษณะของไดโอด (V_D และ I_D) และทรานซิสเตอร์ (I_C, I_B และ V_{CE}) ที่ได้จากการเปรียบเทียบการวัดด้วยเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ กับค่าคุณลักษณะที่ได้จากการคำนวณของกลุ่มตัวอย่าง โดยผ่านการพิจารณาของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งมีเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพโดยมีความถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95

จากขั้นตอนการหาประสิทธิภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ สรุปขั้นตอนดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ผังดำเนินการหาประสิทธิภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

3.3 วิธีการดำเนินการและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 วิธีการดำเนินการและเก็บรวมรวมข้อมูลด้านการประเมินคุณภาพ

การวิจัยครั้งนี้เพื่อพัฒนาเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่มีคุณภาพโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ติดต่อขอรับหนังสืออนุญาตเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัยจากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. นำหนังสืออนุญาตเก็บข้อมูลการวิจัยไปติดต่อผู้ทรงคุณวุฒิแต่ละท่านเพื่อประสานงานในการทดลองเก็บข้อมูลเพื่อ

3. นำเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ให้ผู้ทรงคุณวุฒิแต่ละท่านทดลองใช้และประเมินคุณภาพ โดยมีรายนามผู้ทรงคุณวุฒิดังต่อไปนี้

3.1 ผศ.สุชิน อาจหาญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.2 อาจารย์นรินทร์ ธรรมารักษ์วัฒนะ ผู้อำนวยการสำนักบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3 ผศ.พิชญ์สินี มะโน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.4 อาจารย์ภาสกร หนูสนั่น อาจารย์ประจำสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ แผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี

3.5 อาจารย์เกศินี งามยิ่ง อาจารย์ประจำสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ แผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี

4. นำผลการประเมินเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำของผู้ทรงคุณวุฒิแต่ละท่านมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ซึ่งการวิจัยครั้งนี้คุณภาพต้องอยู่ระดับคะแนนดี (3.50) ขึ้นไป

3.3.2 วิธีการดำเนินการและเก็บรวมรวมข้อมูลด้านการหาประสิทธิภาพ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทำเป็นขั้นตอนดังนี้

1. ทำการคำนวณค่าคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ จากกลุ่มตัวอย่าง

2. ทำการวัดคุณลักษณะของกลุ่มตัวอย่างด้วยเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่พัฒนาขึ้นและบันทึกผล

3. นำผลการวัดและการคำนวณ คุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ของกลุ่มตัวอย่าง มาวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบเพื่อหาค่าร้อยละความถูกต้องต่อไป

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 การหาคุณภาพ

การวิเคราะห์หาคุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.4.2 การหาประสิทธิภาพ

การหาประสิทธิภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยการนำผลการคำนวณค่าคุณลักษณะของกลุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบกับผลการวัดจากเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ และหาค่าความถูกต้องดังนี้

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \quad (3.1)$$

เมื่อ Y_n = ค่าจากการคำนวณ

X_n = ค่าจากการวัดด้วยเครื่องวัด

A = ค่าความถูกต้อง

โดยร้อยละความถูกต้องหาได้จากสมการ

$$a = 100\% - \text{Percent Error} \quad (3.2)$$

$$a = A \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ a = เปอร์เซ็นความถูกต้อง

โดยเกณฑ์ที่กำหนดของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่ใช้ได้ต้องมีค่าความถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95

3.5 สถิติที่ใช้การวิจัย

จากาการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นนำแบบสอบถามเพื่อประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพมาประเมินหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังนี้

3.5.1 ค่าเฉลี่ย (Mean)

หาได้โดย การนำคะแนนของข้อมูลทั้งหมดมารวมกัน แล้วทำการหารด้วยจำนวนของข้อมูลทั้งหมด จะได้ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ย

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (3.4)$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน ค่าคะแนนเฉลี่ย

$\sum X$ แทน ผลรวมทั้งหมดของคะแนน

N แทน จำนวนคะแนนในข้อมูลนั้น

3.5.2 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของข้อมูลแต่ละตัว ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นการมองค่าเฉลี่ยของความแตกต่างในรูปของเส้นตรง ถ้ามองในรูปของพื้นที่ คือยกกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะเรียกว่าเป็นค่าความแปรปรวนของข้อมูล

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum \left(\bar{X} - X\right)^2}{n - 1}} \tag{3.5}$$

เมื่อ S.D. แทน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X แทน ค่าคะแนนแต่ละตัว

$\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ต้นทุนต่ำ เพื่อลดต้นทุนในการจัดซื้อเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ มาใช้ในห้องปฏิบัติการของสถานศึกษาระดับวิทยาลัยเทคนิคและวิทยาลัยการอาชีพ โดยเครื่องมือวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ที่พัฒนาขึ้นจะต้องมีคุณภาพและประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด

4.1 ผลการประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ต้นทุนต่ำ

การประเมินคุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการประเมินคุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ต้นทุนต่ำ

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับคุณภาพ
แบบประเมินคุณภาพของฮาร์ดแวร์			
1. ระบุชื่อเครื่องวัดฯ ชัดเจน	3.80	0.45	ดี
2. ขนาดของเครื่องวัดฯ ที่ออกแบบมีความเหมาะสม	3.60	0.55	ดี
3. การระบุตำแหน่งของอุปกรณ์บนเครื่องวัดฯ มีความเหมาะสม	3.60	0.55	ดี
4. การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานของเครื่องวัดฯ มีความเหมาะสม	4.00	0.00	ดี
5. มีความสะดวกในการใช้งาน	4.60	0.55	ดีมาก
6. มีความปลอดภัยในการใช้งาน	4.60	0.55	ดีมาก
เฉลี่ย	4.03	0.44	ดี

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับคุณภาพ
การประเมินคุณภาพของซอฟต์แวร์			
7. มีความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน	4.60	0.55	ดีมาก
8. การจัดวางตำแหน่งในหน้าต่างหลักของโปรแกรมมีความเหมาะสม	4.40	0.55	ดี
9. การแสดงผลโปรแกรมมีความเหมาะสม	4.60	0.55	ดีมาก
10. ฟังก์ชั่นการทำงานของโปรแกรมมีความเหมาะสม	3.60	0.55	ดี
11. การเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์มีความเหมาะสม	4.60	0.55	ดีมาก
12. ความสะดวกในการใช้งานของโปรแกรมมีความเหมาะสม	3.60	0.55	ดี
13. มีความถูกต้องของการแสดงผล	3.80	0.45	ดี
เฉลี่ย	4.17	0.53	ดี
การประเมินคุณภาพโดยรวม			
14. ระยะเวลาในการทดสอบอุปกรณ์	3.60	0.55	ดี
15. ความเที่ยงตรงในการวัดของเครื่องวัดฯ	3.80	0.45	ดี
16. เสรียรภาพของเครื่องวัดฯ	3.80	0.45	ดี
17 การใช้งานโดยรวมของเครื่องวัดฯ	4.00	0.71	ดี
18 ความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์	4.60	0.55	ดีมาก
เฉลี่ย	3.96	0.54	ดี
เฉลี่ยรวม	4.07	0.50	ดี

จากตารางที่ 4.1 ผลการประเมินคุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ต้นทุนต่ำ ทั้ง 3 ด้านคือ ด้านฮาร์ดแวร์ ด้านซอฟต์แวร์และด้านภาพรวม พบว่ามีคุณภาพในระดับดี ($\bar{X}$ =4.07) เมื่อพิจารณาแต่ละด้านพบว่า ด้านฮาร์ดแวร์มีคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X}$ =4.03) เมื่อพิจารณาแต่ละรายการพบว่ารายการที่มีคุณภาพในระดับดีมาก มี 2 รายการ เรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยได้ดังนี้ ความสะดวกในการใช้งาน ($\bar{X}$ =4.60) ความปลอดภัยในการใช้งาน ($\bar{X}$ =4.60) การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานของเครื่องวัดฯ มีความเหมาะสม ($\bar{X}$ =4.00) ระบุชื่อเครื่องวัดฯ ชัดเจน ($\bar{X}$ =3.80) การระบุตำแหน่งของอุปกรณ์บนเครื่องวัดฯ มีความเหมาะสม ($\bar{X}$ =3.60) ขนาดของ

เครื่องวัดฯ ที่ออกแบบมีความเหมาะสม ($\bar{X}$ =3.80) ด้านซอฟต์แวร์มีคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X}$ =4.17) เมื่อพิจารณาแต่ละรายการพบว่ารายการที่มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก มี 3 รายการ เรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยได้ดังนี้ ความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน ($\bar{X}$ =4.60) การเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์มีความเหมาะสม ($\bar{X}$ =4.60) การจัดวางตำแหน่งในหน้าต่างหลักของโปรแกรมมีความเหมาะสม ($\bar{X}$ =4.40) ความถูกต้องของการแสดงผล ($\bar{X}$ =3.80) ฟังชั่นการทำงานของโปรแกรมมีความเหมาะสม ($\bar{X}$ =3.60) ความสะดวกในการใช้งานของโปรแกรมมีความเหมาะสม ($\bar{X}$ =3.60) และด้านคุณภาพโดยรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X}$ =3.96) เมื่อพิจารณาแต่ละรายการพบว่าความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ ($\bar{X}$ =4.60) การใช้งานโดยรวมของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ($\bar{X}$ =4.00) ความเที่ยงตรงในการวัด ($\bar{X}$ =3.80) เสถียรภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ($\bar{X}$ =3.80) ระยะเวลาในการทดสอบอุปกรณ์ ($\bar{X}$ =3.60) เมื่อวิเคราะห์ผลการประเมินคุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ มีคุณภาพอยู่ในระดับดี เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

4.2 ผลการหาประสิทธิภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

การหาประสิทธิภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์โดยหาค่าร้อยละความถูกต้องของการวัดคุณลักษณะของไดโอด (V_D และ I_D) และทรานซิสเตอร์ (I_B, I_C และ V_{CE}) ที่ได้จากการเปรียบเทียบการวัดด้วยเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำกับค่าคุณลักษณะที่ได้จากการคำนวณของกลุ่มตัวอย่าง

4.2.1 การหาประสิทธิภาพจากการทดสอบด้วยอุปกรณ์ประเภทไดโอด ผู้วิจัยได้ทำการหาโดยหาค่าร้อยละความถูกต้องของการวัดคุณลักษณะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ประเภทไดโอด โดยทำการเปรียบเทียบการวัดค่ากระแส I_D ด้วยเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำกับค่าที่ได้จากการคำนวณอุปกรณ์ประเภทไดโอดของกลุ่มตัวอย่างดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการหาประสิทธิภาพจากการทดสอบด้วยอุปกรณ์ประเภทไดโอด

ไดโอด	VDD (V)												เฉลี่ย
	0.2			0.4			0.6			0.8			
	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	
1n4001	6.672E-07	6.590E-07	98.77	3.289E-05	3.051E-05	92.77	1.589E-03	1.528E-03	96.18	7.671E-02	7.469E-02	97.36	95.44
1n4002	6.672E-07	6.020E-07	90.22	3.289E-05	3.128E-05	95.12	1.589E-03	1.465E-03	92.22	7.671E-02	7.557E-02	98.51	95.28
1n4006	6.672E-07	6.380E-07	95.62	3.289E-05	3.123E-05	94.96	1.589E-03	1.556E-03	97.95	7.671E-02	7.422E-02	96.75	96.55
1n4007	6.672E-07	6.490E-07	97.27	3.289E-05	3.137E-05	95.39	1.589E-03	1.432E-03	90.14	7.671E-02	7.658E-02	99.83	95.12
1n4148	1.743E-07	1.470E-07	84.32	1.168E-05	1.047E-05	89.63	7.712E-04	7.765E-04	99.31	5.090E-02	4.826E-02	94.81	94.58
1n4150	7.764E-08	7.650E-08	98.53	8.296E-06	8.129E-06	97.99	8.782E-04	8.659E-04	98.60	9.295E-02	7.778E-02	83.68	93.42
1n4151	1.684E-07	1.620E-07	96.20	1.323E-05	1.257E-05	95.03	1.026E-03	9.720E-04	94.75	7.955E-02	7.863E-02	98.85	96.21
1n4152	9.367E-08	9.120E-08	97.36	7.177E-06	7.028E-06	97.93	5.428E-04	5.349E-04	98.55	4.104E-02	4.059E-02	98.90	98.46
1n4446	9.829E-08	9.600E-08	97.67	9.218E-06	8.935E-06	96.93	8.553E-04	8.325E-04	97.33	7.936E-02	7.357E-02	92.71	95.66
1n4448	1.747E-07	1.660E-07	95.03	1.173E-05	1.187E-05	98.81	7.762E-04	7.628E-04	98.27	5.135E-02	4.865E-02	94.74	97.28

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ไดโอด	VDD (V)									เฉลี่ย
	1			1.2			1.4			
	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	
1n4001	3.704E+00	3.597E+00	97.11	1.789E+02	1.665E+02	93.09	8.637E+03	8.543E+03	98.91	96.37
1n4002	3.704E+00	3.665E+00	98.94	1.789E+02	1.743E+02	97.45	8.637E+03	8.423E+03	97.52	97.97
1n4006	3.704E+00	3.459E+00	93.38	1.789E+02	1.678E+02	93.81	8.637E+03	8.217E+03	95.14	94.11
1n4007	3.704E+00	3.598E+00	97.13	1.789E+02	1.707E+02	95.43	8.637E+03	8.345E+03	96.62	96.39
1n4148	3.360E+00	3.192E+00	95.01	2.218E+02	2.109E+02	95.11	1.464E+04	1.335E+04	91.21	93.78
1n4150	9.839E+00	9.675E+00	98.34	1.041E+03	9.870E+02	94.78	1.102E+05	1.028E+05	93.26	95.46
1n4151	6.168E+00	6.012E+00	97.46	4.783E+02	4.612E+02	96.42	3.709E+04	3.651E+04	98.43	97.44
1n4152	3.103E+00	2.896E+00	93.32	2.347E+02	2.222E+02	94.69	1.774E+04	1.690E+04	95.25	94.42
1n4446	7.363E+00	7.159E+00	97.24	6.831E+02	6.769E+02	99.09	6.338E+04	6.094E+04	96.16	97.49
1n4448	3.397E+00	3.245E+00	95.53	2.247E+02	2.130E+02	94.78	1.487E+04	1.319E+04	88.72	93.01
เฉลี่ย										95.72

4.2.2 การหาประสิทธิภาพจากการทดสอบด้วยอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น ผู้วิจัยได้หาประสิทธิภาพโดยหาค่าร้อยละความถูกต้องของการวัดคุณลักษณะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น โดยทดสอบกลุ่มตัวอย่างด้วยเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยทำการปรับตั้งค่ากระแสไบแอสที่ขาเบส (I_B) คงที่ 50 uA และทำการปรับตั้งค่าแรงดันที่ขาคอลเลคเตอร์-อีมิตเตอร์ (V_{CE}) ตามที่ได้กำหนดไว้ แล้ววัดกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) แล้วนำผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ของกลุ่มตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการหาประสิทธิภาพการทดสอบด้วยอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น

ทรานซิสเตอร์	VCE ที่ IB 50 uA									เฉลี่ย
	0.25			1			2			
	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	
2n2222	5.950E-03	5.769E-03	96.96	6.010E-03	5.700E-03	94.84	6.090E-03	6.011E-03	98.70	96.83
2n3904	2.089E-02	1.898E-02	90.86	2.110E-02	2.017E-02	95.59	2.138E-02	2.048E-02	95.78	94.07
C9012	9.512E-03	9.460E-03	99.45	9.548E-03	9.349E-03	97.92	9.595E-03	9.432E-03	98.30	98.56
C9014	9.512E-03	9.384E-03	98.66	9.548E-03	9.250E-03	96.88	9.595E-03	9.332E-03	97.26	97.60
BD135	6.217E-03	6.071E-03	97.65	6.238E-03	6.007E-03	96.30	6.266E-03	6.008E-03	95.88	96.61
BD137	6.217E-03	5.998E-03	96.48	6.238E-03	6.149E-03	98.57	6.266E-03	5.894E-03	94.06	96.37
BD139	6.217E-03	6.128E-03	98.57	6.238E-03	5.960E-03	95.54	6.266E-03	5.965E-03	95.20	96.44
BC546	1.267E-02	1.107E-02	87.34	1.275E-02	1.169E-02	91.69	1.285E-02	1.247E-02	97.06	92.03
BC547	1.267E-02	1.183E-02	93.34	1.275E-02	1.265E-02	99.22	1.285E-02	1.220E-02	94.96	95.84
BC548	1.267E-02	1.220E-02	96.25	1.275E-02	1.200E-02	94.13	1.285E-02	1.238E-02	96.36	95.58

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ทรานซิสเตอร์	VCE ที่ IB 50 uA									เฉลี่ย
	3			4			5			
	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	
2n2222	6.170E-03	6.058E-03	98.18	6.250E-03	6.012E-03	96.19	6.331E-03	6.198E-03	97.91	97.42
2n3904	2.166E-02	2.107E-02	97.26	2.194E-02	2.096E-02	95.51	2.223E-02	2.043E-02	91.92	94.90
C9012	9.643E-03	9.360E-03	97.07	9.690E-03	9.460E-03	97.63	9.738E-03	9.467E-03	97.22	97.31
C9014	9.643E-03	9.289E-03	96.33	9.690E-03	9.358E-03	96.57	9.738E-03	9.566E-03	98.24	97.05
BD135	6.294E-03	5.963E-03	94.74	6.322E-03	6.178E-03	97.72	6.350E-03	6.145E-03	96.77	96.41
BD137	6.294E-03	5.999E-03	95.31	6.322E-03	6.042E-03	95.57	6.350E-03	6.102E-03	96.10	95.66
BD139	6.294E-03	6.124E-03	97.30	6.322E-03	6.123E-03	96.85	6.350E-03	6.230E-03	98.11	97.42
BC546	1.295E-02	1.243E-02	96.01	1.305E-02	1.231E-02	94.36	1.314E-02	1.286E-02	97.84	96.07
BC547	1.295E-02	1.266E-02	97.79	1.305E-02	1.259E-02	96.51	1.314E-02	1.276E-02	97.07	97.12
BC548	1.295E-02	1.205E-02	93.07	1.305E-02	1.297E-02	99.42	1.314E-02	1.223E-02	93.04	95.18
เฉลี่ย										96.22

4.2.3 ผลการหาประสิทธิภาพจากการทดสอบด้วยอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี ผู้วิจัยได้หาประสิทธิภาพโดยหาค่าร้อยละความถูกต้องของการวัดคุณลักษณะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี โดยทดสอบกลุ่มตัวอย่างด้วยเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยทำการปรับตั้งค่ากระแสไบแอสที่ขาเบส (I_B) คงที่ 50 uA และทำการปรับตั้งค่าแรงดันที่ขาคอลเลคเตอร์-อีมิตเตอร์ (V_{CE}) ตามที่ได้กำหนดไว้ แล้ววัดค่ากระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) แล้วนำผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ต้นทุนต่ำ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ของกลุ่มตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการหาประสิทธิภาพการทดสอบด้วยอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี

ทรานซิสเตอร์	VCE ที่ IB 50 uA									เฉลี่ย
	0.25			1			2			
	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	
2n2223	-1.525E-03	-1.374E-03	90.09	-1.585E-03	-1.569E-03	98.96	-1.666E-03	-1.588E-03	95.32	94.79
2n3905	-4.575E-03	-4.364E-03	95.38	-4.756E-03	-4.516E-03	94.94	-4.998E-03	-4.761E-03	95.26	95.20
C9013	-1.496E-02	-1.399E-02	93.50	-1.550E-02	-1.488E-02	96.02	-1.621E-02	-1.589E-02	98.04	95.85
C9015	-1.496E-02	-1.457E-02	97.37	-1.550E-02	-1.519E-02	98.02	-1.621E-02	-1.543E-02	95.20	96.87
BD136	-1.701E-02	-1.633E-02	95.99	-1.757E-02	-1.727E-02	98.27	-1.832E-02	-1.797E-02	98.08	97.45
BD138	-1.701E-02	-1.682E-02	98.87	-1.757E-02	-1.698E-02	96.62	-1.832E-02	-1.693E-02	92.40	95.96
BD140	-1.701E-02	-1.622E-02	95.34	-1.757E-02	-1.707E-02	97.13	-1.832E-02	-1.756E-02	95.84	96.10
BC556	-8.765E-03	-8.539E-03	97.43	-8.853E-03	-8.591E-03	97.04	-8.972E-03	-8.477E-03	94.49	96.32
BC557	-8.765E-03	-8.497E-03	96.95	-8.853E-03	-8.489E-03	95.88	-8.972E-03	-8.578E-03	95.61	96.15
BC558	-8.765E-03	-8.585E-03	97.95	-8.853E-03	-8.501E-03	96.02	-8.972E-03	-8.643E-03	96.34	96.77

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ทรานซิสเตอร์	VCE ที่ IB 50 uA									เฉลี่ย
	3			4			5			
	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	คำนวณ	เครื่องวัด	ค่าความถูกต้อง	
2n2223	-1.746E-03	-1.672E-03	95.74	-1.827E-03	-1.699E-03	93.00	-1.907E-03	-1.847E-03	96.83	95.19
2n3905	-5.239E-03	-5.043E-03	96.25	-5.481E-03	-5.289E-03	96.50	-5.722E-03	-5.469E-03	95.57	96.11
C9013	-1.692E-02	-1.632E-02	96.46	-1.763E-02	-1.710E-02	96.99	-1.834E-02	-1.746E-02	95.19	96.21
C9015	-1.692E-02	-1.688E-02	99.77	-1.763E-02	-1.687E-02	95.68	-1.834E-02	-1.734E-02	94.53	96.66
BD136	-1.907E-02	-1.843E-02	96.64	-1.982E-02	-1.922E-02	96.97	-2.057E-02	-1.933E-02	93.98	95.86
BD138	-1.907E-02	-1.881E-02	98.63	-1.982E-02	-1.967E-02	99.24	-2.057E-02	-2.002E-02	97.33	98.40
BD140	-1.907E-02	-1.802E-02	94.49	-1.982E-02	-1.945E-02	98.13	-2.057E-02	-1.996E-02	97.04	96.55
BC556	-9.090E-03	-8.954E-03	98.50	-9.209E-03	-9.031E-03	98.07	-9.327E-03	-9.154E-03	98.15	98.24
BC557	-9.090E-03	-8.823E-03	97.06	-9.209E-03	-8.914E-03	96.80	-9.327E-03	-9.065E-03	97.19	97.02
BC558	-9.090E-03	-8.856E-03	97.42	-9.209E-03	-8.887E-03	96.51	-9.327E-03	-9.103E-03	97.60	97.18
เฉลี่ย										96.44

ผลการหาประสิทธิภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่ได้จากการทดสอบหาประสิทธิภาพโดยทำการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างอุปกรณ์ประเภทไดโอดดังตารางที่ 4.2 มีค่าร้อยละความถูกต้องโดยเฉลี่ยเท่ากับ 95.72% ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีค่าความถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 เช่นกันผลการทดสอบกลุ่มตัวอย่างของอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นดังตารางที่ 4.3 มีค่าร้อยละความถูกต้องโดยเฉลี่ยเท่ากับ 96.22% เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีค่าความถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 และผลการทดสอบกลุ่มตัวอย่างอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีดังตารางที่ 4.4 มีค่าร้อยละความถูกต้องเท่ากับ 96.44% เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีค่าความถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 จากผลการหาประสิทธิภาพจากการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง พบว่าเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีค่าความถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ เพื่อลดต้นทุนในการจัดซื้อเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ มาใช้ในห้องปฏิบัติการของสถานศึกษาระดับวิทยาลัยเทคนิคและวิทยาลัยการอาชีพ โดยมีสรุปผลการวิจัยมีดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่มีคุณภาพ
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องวัดคุณลักษะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้น

5.1.2 สมมติฐานการวิจัย

1. เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพในระดับดีขึ้นไป
2. เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพไม่น้อยกว่าร้อยละ 95

5.1.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร

ประชากรที่ผู้วิจัยใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นอุปกรณ์ประเภทไดโอดและทรานซิสเตอร์

2. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย เป็นอุปกรณ์ประเภทไดโอดและทรานซิสเตอร์ ดังนี้

ไดโอด ได้แก่เบอร์ 1N4001, 1N4002, 1N4006, 1N4007, 1N4148, 1N4150, 1N4151, 1N4152, 1N4446 และ 1N4448

ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น ได้แก่เบอร์ 2N2222, 2N3904, C9012, C9014, BD135, BD137, BD139, BC546, BC547 และ BC548

ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี ได้แก่เบอร์ 2N2223, 2N3905, C9013, C9015, BD136, BD138, BD140, BC556, BC557 และ BC558

5.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วน คือ

1. ฮาร์ดแวร์

เป็นส่วนควบคุมการไบแอส อุปกรณ์ไดโอดและทรานซิสเตอร์ที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่บรรจุในกล่องโลหะ สามารถนำไดโอดหรือทรานซิสเตอร์มาใส่ในจุดเชื่อมต่อตามตำแหน่งขาที่กำหนดไว้ และส่งข้อมูลการไบแอสไปยังเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านการสื่อสารแบบอนุกรมเพื่อประมวลผลและแสดงผลในรูปแบบกราฟคุณลักษณะของไดโอดหรือทรานซิสเตอร์

2. ซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ของระบบประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนที่ใช้สำหรับควบคุมฮาร์ดแวร์เพื่อบันทึกและส่งผลการไบแอสอุปกรณ์ไดโอดและทรานซิสเตอร์ไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ และส่วนของซอฟต์แวร์ที่ใช้เพื่อการแสดงผลกราฟคุณลักษณะและบันทึกค่าของตัวแปรต่างๆ ได้

5.1.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1.5.1 วิธีดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการประเมินคุณภาพ ผู้วิจัยนำเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ให้ผู้ทรงคุณวุฒิแต่ละท่านทดลองใช้และประเมินคุณภาพแล้วนำผลการประเมินคุณภาพที่ได้จากผู้ทรงคุณวุฒิแต่ละท่านมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ซึ่งการวิจัยครั้งต้องนี้มีคุณภาพอยู่ระดับคะแนนดี ($\overline{X}$ =3.50) ขึ้นไป

5.1.5.2 วิธีดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการหาประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณค่าคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง โดยการคำนวณค่า I_D และ I_C ที่ระดับแรงดัน ที่ผู้วิจัยกำหนด

2. วัดคุณลักษณะของของไดโอดและทรานซิสเตอร์ที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง ด้วยเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่พัฒนาขึ้นและบันทึกผลค่า I_D และ I_C ที่ระดับแรงดัน ที่ผู้วิจัยกำหนด

3. นำผลการคำนวณ และผลการวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ของกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาประสิทธิภาพ จากร้อยละความถูกต้อง

5.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์คุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ผู้วิจัยได้นำผลการประเมินคุณภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่ได้จากผู้ทรงคุณวุฒิมาทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. หาประสิทธิภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยการนำผลการคำนวณค่าคุณลักษณะของกลุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบกับผลการวัดจากเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ และหาค่าร้อยละความถูกต้อง

5.1.7 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาเครื่องมือวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ซึ่งผู้วิจัยได้พัฒนาทั้งส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ได้แก่ โมดูลเครื่องมือวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ และโปรแกรมสำหรับการควบคุมและแสดงผลกราฟคุณลักษณะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทไดโอดและทรานซิสเตอร์ โดยใช้งานร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพ เพื่อนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งผู้วิจัยได้นำเครื่องมือวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ เสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน เพื่อประเมินคุณภาพซึ่งผลการประเมิณคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิพบว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X}$ =4.07) ซึ่งมีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด และผู้วิจัยได้หาประสิทธิภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยทดลองจากกลุ่มตัวอย่างประเภทไดโอดจำนวน 10 เบอร์ จากผลการวิจัยพบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 95 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อใช้กลุ่มตัวอย่างประเภททรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นจำนวน 10 เบอร์และชนิดพีเอ็นพีจำนวน 10 เบอร์ เพื่อหาประสิทธิภาพพบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 95 และเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด เช่นเดียวกัน

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยเพื่อหาคุณภาพและประสิทธิภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่พัฒนาขึ้นเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัย โดยคุณภาพได้จากการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน พบว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X}$ =4.07) เนื่องจากมีความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน การแสดงผลและการเชื่อมต่อของโปรแกรมมีความเหมาะสม มีความปลอดภัยในการใช้งาน และมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบกลุ่มตัวอย่างของอุปกรณ์ประเภทไดโอดจำนวน 10 เบอร์ ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นจำนวน 10 เบอร์ และพีเอ็นพีจำนวน 10 เบอร์ มีค่าร้อยละความถูกต้องเท่ากับ 95.72%, 96.22% และ 96.44% ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์

จากผลการวิจัยค่าประสิทธิภาพของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำที่ได้จากการทดสอบในครั้งนี้มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากองค์ประกอบหลายประการ ดังต่อไปนี้

1. แนวทางการวิจัย จากการวิจัยเพื่อออกแบบวงจรและโปรแกรมที่เป็นต้นแบบของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยมีการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องวัดคุณลักษณะจะทำการดึงข้อมูลจากบอร์ดซึ่งเป็นส่วนควบคุมสัญญาณที่ขาเบสและขาคอลเลคเตอร์ของเครื่องวัดคุณลักษณะและทำการโหลดข้อมูลเพื่อแสดงผลในรูปแบบของกราฟด้วยโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์ (E.Moreno-Garcia. 2004: IEEE)

2. เนื่องจากในการออกแบบระบบผู้วิจัยได้ชดเชยผลการไบแอสไว้ล่วงหน้าโดยชดเชยทั้งส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เพื่อให้ผลการวัดที่ได้ใกล้เคียงกับผลการคำนวณมากที่สุดจึงทำให้ผลของกราฟคุณลักษณะที่ได้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดและสอดคล้องกับงานวิจัยเครื่องวัดคุณลักษณะเพื่อทำการจำลองการแสดงผลของคุณลักษณะของกระแสและแรงดันของอุปกรณ์ของ Emmett L. Miller, Seattle, Wash. (1987) งานวิจัยเพื่อทดสอบการวัดคุณลักษณะและความสัมพันธ์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ Thomas H. Warner el at. (1982) และงานวิจัยเพื่อออกแบบวงจรและโปรแกรมที่เป็นต้นแบบของเครื่องวัดคุณลักษณะของ E.Moreno-Garcia (2004: IEEE)

เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นใช้งบประมาณต่ำเนื่องจากการออกแบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ไม่มีความซับซ้อนจนเกินไป อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเป็นอุปกรณ์มาตราฐานที่ราคาไม่แพงและการออกแบบโปรแกรมส่วนแสดงผลที่สามารถใช้กับคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows XP และ Windows 7 โดยเป็นระบบปฏิบัติการมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ซึ่งมีความสะดวกและสามารถนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการได้อย่างมีคุณภาพและประสิทธิภาพ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ควรนำเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นเป็นต้นแบบในการพัฒนาเครื่องมือสำหรับห้องปฏิบัติงานอิเล็กทรอนิกส์

2. ควรนำเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นนำไปเผยแพร่เพื่อส่งเสริมการพัฒนาเครื่องมือสำหรับห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์

5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรปรับปรุงด้านการเชื่อมต่อและการสื่อสารข้อมูลให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
2. ควรปรับปรุงด้านการประมวลผลข้อมูลให้มีความเร็วมากขึ้นและมีประสิทธิภาพ
3. กล่องของเครื่องวัดมีขนาดใหญ่ควรมีการปรับขนาดให้เล็กลง
4. ควรปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องให้มีความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

กิติพงค์ มะโน. 2542. **วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์.** ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ขันชัย กิ่งกังวาลย์. 2551. **โปรแกรมกราฟิกด้วย C# และ GDI+ (.NET Framework).** กรุงเทพมหานคร : โปรวิชั่น.

ดำรง จีนขาวขำ. 2546. "รายงานการวิจัยและพัฒนาชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง." มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ธนิต บุญใส. 2534. "การสร้างเครื่องและการทดลองเพื่อหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชุดประลองวิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร." วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บัญชา ปะสีละเตสัง. 2552. **พัฒนาแอปพลิเคชั่นด้วย Visual C# 2008.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

วันชัย คุณากรวงศ์ และคณะ. ม.ป.ป. **การคำนวนวงจรทรานซิสเตอร์.** กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2543. "แนวทางการออกแบบอุปกรณ์ช่วยสอนประเภทอุปกรณ์สาธิต." **วารสารอาชีวศึกษา.**

สันสกฤฎ รักประเทศ. 2552. "ระบบเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจชนิดความละเอียดสูง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์อุตสาหกรรมและอุปกรณ์การแพทย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อภิชาติ อิ่มเต็ม. 2553. "การพัฒนาเครื่องวัดการใช้กระแสไฟฟ้าด้วยระบบส่งข้อมูลไร้สาย." วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

Asst. Prof. Daniel Metzger. n.d. "Transistor and FET Curve Tracer." Michigan. Monroe County Community College.

Chris O'Connor. n.d. **MultiTrace Application Notes Basic Curver Tracing of VLSI Devices.** Ultra Test International Inc.

Dr. George R. Steber, WB9LVI. 2006. **A Low Cost Automatic Curve Tracer.** ARRL

E. Moreno-Garcia. 2004. **Curve Tracer with a Personal Computer and Labview.** International Conference on Electronics. Communications and Computers (CONIELECOMP'04). IEEE

Emmett L. Miller, et al. 1986. **Curve Tracer Accessory Device.** United States Patent.

G. Dilley. 1971. **Solod-State Characteristic Curve Tracer Attachment for Oscilloscopes**. United States Patents.

John A, et al. 1961. **Curve Tracer**. United States Patent Office.

John W. Balde, et al. 1953. **Electronics Curve Tracer**. United States Patent Office.

Julen Joseba Maestro Ibirriaga, et al. 2010. **Low-Cost, High Flexibility I-V Curve Tracer for Photovoltaic Modules**. International Conferences on Optimization of Electrical and Electronics Equipment, OPTIM.

Joseph A. Molnar. 1998. **Analysis of Curve Tracer Instruments for Fault Location**. USA. IEEE Joseph Martin Patterson.

Peter D. Hiscocks and James Gaston. 2007. **Low-Cost Curve Tracer Uses PC-Based Scope**. Syscomp Electronic Design Limited.

Theodore F. Bogart, Jr., Jeffrey S. Beasley G and Guillermo Rico. 2001. **Electronics Device and Circuit.** Fifth Edition : Courier Kendallville, Inc. and Phoenix Color Corp.

Thomas H. Warner. 1984. **I-V Curve Tracer Employing Parametric Sampling.** United States Willian.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก หนังสือราชการประกอบการดำเนินการวิจัย

ภาคผนวก ข แบบประเมินคุณภาพ รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

ภาคผนวก ค เครื่องต้นแบบและคู่มือการใช้งาน

ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์และงบประมาณ

ภาคผนวก ก

หนังสือราชการประกอบการดำเนินการวิจัย

บันทึกข้อความ

หน่วยงาน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม งานบริการทางวิชาการ โทร 3720

ที่ ศธ 0524.04(1.9)/155 วันที่ 30 เมษายน พ.ศ. 2555

เรื่อง รับรองผลการพิจารณาบทความเพื่อนำเสนอในการประชุมวิชาการทางการศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 2

เรียน คุณธวัชชัย ผู้เลื่องลือ

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเรื่อง **"เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ"** เพื่อนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 2 "การพัฒนาประสบการณ์การเรียนรู้ในชีวิตจริง : การศึกษาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนไปสู่ประชาคมอาเซียน" ทางคณะกรรมการฝ่ายวิชาการ และผู้ทรงคุณวุฒิ ได้พิจารณาแล้วว่าบทความของท่านสามารถนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 2 ในวันศุกร์ที่ 11 พฤษภาคม 2555 ณ. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

(รศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)
คณบดีคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

คำสั่งคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่ 550/ 2554
เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบสำรอง ของ นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ

เพื่อให้การเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ ของ นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ รหัสประจำตัว 50064302 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและประสิทธิภาพจึงแต่งตั้งคณะกรรมการเพื่อปรึกษาและพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ ดังต่อไปนี้

1. **คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์**

รศ.กิติพงค์	มะโน	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
รศ.ดร.วิสุทธิ์	สุนทรกนกพงศ์	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

2. **คณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์**

รศ.พีระวุฒิ	สุวรรณจันทร์	ประธานกรรมการ	
รศ.กิติพงค์	มะโน	กรรมการ	
รศ.ดร.วิสุทธิ์	สุนทรกนกพงศ์	กรรมการ	
ดร.สมชาย	หมื่นสายญาติ	กรรมการ	
รศ.ดร.กัลยาณี	จิตต์การุณย์	กรรมการ	(กรรมการภายนอก)

3. **คณะกรรมการสอบสำรอง**

นอ.ดร.วีระชัย	เชาว์กำเนิด	กรรมการ	(อาจารย์บัณฑิตพิเศษ)
ผศ.ดร.ธีระพล	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	กรรมการ	(อาจารย์บัณฑิตประจำ)

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2554

(รองศาสตราจารย์ พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)
คณบดี

ประกาศคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

.....

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ ขอประกาศรายชื่อหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งได้รับอนุมัติเมื่อ วันที่ 20 มกราคม 2555 ให้ดำเนินการดังนี้

นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ รหัสนักศึกษา 50064302 ให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ (Low Cost Diode and Transistor Curve Tracer)" โดยมี รศ.กิตติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ทั้งนี้ให้นักศึกษาค้นคว้าและเขียนวิทยานิพนธ์ โดยปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนดในระเบียบของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประกาศ ณ วันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2555

(รองศาสตราจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)
คณบดี

บันทึกข้อความ

หน่วยงาน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. ส่วนสนับสนุนวิชาการ โทร.3692
ที่ ศธ 0524.04 / **1871** วันที่ 14 พฤษภาคม 2555

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะฯ เพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.สุชิน อาจหาญ

ด้วย นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอด และทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ" โดยมี รศ.กิติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินคุณภาพชุดทดลอง ฯ นี้ว่ามีความถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะ ฯ ของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมินสอบถามเพื่อการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

บันทึกข้อความ

หน่วยงาน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. ส่วนสนับสนุนวิชาการ โทร.3692
ที่ ศธ 0524.04 / **1871** วันที่ 14 พฤษภาคม 2555

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะฯ เพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.พิชญ์สินี มะโน

ด้วย นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอด และทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ" โดยมี รศ.กิติพงค์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินคุณภาพชุดทดลอง ฯ นี้ว่ามีความถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะ ฯ ของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมินสอบถามเพื่อการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

บันทึกข้อความ

หน่วยงาน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. ส่วนสนับสนุนวิชาการ โทร.3692
ที่ ศธ 0524.04 / **1871** วันที่ ๑๕ พฤษภาคม 2555

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะฯ เพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์นรินทร์ ธรรมารักษ์วัฒนะ

ด้วย นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอด และทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ" โดยมี รศ.กิติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมินคุณภาพชุดทดลอง ฯ นี้ว่ามีความถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะ ฯ ของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมินสอบถามเพื่อการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ที่ ศธ 0524.04/ 1871

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

๒๔ พฤษภาคม 2555

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะ ฯ เพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์ภาสกร หนูสนั่น

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะ ฯ เพื่อการวิจัย

ด้วย นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอด และทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ" โดยมี รศ.กิติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะ ฯ นี้ว่ามีความถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินแบบประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 329-8436
ติดต่อนักศึกษา โทร. 083-614-4469

ที่ ศธ 0524.04/ใช7 1

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

14 พฤษภาคม 2555

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะ ฯ เพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์เกศินี งามยิ่ง

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะ ฯ เพื่อการวิจัย

ด้วย นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอด และทรานซิตเตอร์ ต้นทุนต่ำ" โดยมี รศ.กิติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะ ฯ นี้ว่ามีความถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินแบบประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 329-8436
ติดต่อนักศึกษา โทร. 083-614-4469

ภาคผนวก ข

แบบประเมินคุณภาพและรายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

แบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอด และทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

คำชี้แจง

แบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอด และทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำโดยผู้ทรงคุณวุฒินี้ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบความคิดเห็น และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอด และทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ ที่จะนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการของสถานศึกษาระดับวิทยาลัยเทคนิค และวิทยาลัยการอาชีพ เพื่อลดต้นทุนการจัดซื้อเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอด และทรานซิสเตอร์ ของวิทยาลัย และให้นักเรียน นักศึกษาได้นำมาใช้ในการวัดคุณลักษณะของไดโอด และทรานซิสเตอร์ ให้เกิดความเข้าใจคุณลักษณะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

นาย ธวัชชัย ผู้เลื่องลือ
ผู้วิจัย

ข้อแนะนำในการตอบแบบประเมิน

ให้ท่านทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับคุณภาพเพียงข้อเดียว ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน โดยกำหนดเกณฑ์การเลือกไว้ 5 ระดับ ดังนี้

ระดับ 5 หมายถึง ระดับคุณภาพดีมาก

ระดับ 4 หมายถึง ระดับคุณภาพดี

ระดับ 3 หมายถึง ระดับคุณภาพปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง ระดับคุณภาพพอใช้

ระดับ 1 หมายถึง ระดับคุณภาพต้องปรับปรุง

ตารางที่ ข.1 แบบประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอด และทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

ลำดับที่	รายการ	ผลการประเมิน				
		1	2	3	4	5
แบบประเมินคุณภาพของฮาร์ดแวร์						
1	ระบุชื่อเครื่องวัดฯ ชัดเจน					
2	ขนาดของเครื่องวัดฯ ที่ออกแบบมีความเหมาะสม					
3	การระบุตำแหน่งของอุปกรณ์บนเครื่องวัดฯ มีความเหมาะสม					
4	การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานของเครื่องวัดฯ มีความเหมาะสม					
5	มีความสะดวกในการใช้งาน					
6	มีความปลอดภัยในการใช้งาน					
การประเมินคุณภาพของซอฟต์แวร์						
7	มีความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน					
8	การจัดวางตำแหน่งในหน้าต่างหลักของโปรแกรมมีความเหมาะสม					
9	การแสดงผลโปรแกรมมีความเหมาะสม					
10	ฟังก์ชั่นการทำงานของโปรแกรมมีความเหมาะสม					
11	การเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์มีความเหมาะสม					
12	ความสะดวกในการใช้งานของโปรแกรมมีความเหมาะสม					
13	มีความถูกต้องของการแสดงผล					
การประเมินคุณภาพโดยรวม						
14	ระยะเวลาในการทดสอบอุปกรณ์					
15	ความเที่ยงตรงในการวัดของเครื่องวัดฯ					
16	เสรียรภาพของเครื่องวัดฯ					
17	การใช้งานโดยรวมของเครื่องวัดฯ					
18	ความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์					

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

.....

.....

.....

.....

.....

ขอขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้ข้อมูล

ลงชื่อ.....

(.....)

(ผู้ประเมิน)

ตารางที่ ข.2 ผลการประเมินคุณภาพเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอด และทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

รายการประเมิน	ผู้ทรงคุณวุฒิ					ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับคุณภาพ
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5			
แบบประเมินคุณภาพของฮาร์ดแวร์								
1. ระบุชื่อเครื่องวัดฯ ชัดเจน	4	3	4	4	4	3.80	0.45	ดี
2. ขนาดของเครื่องวัดฯ ที่ออกแบบมีความเหมาะสม	3	4	4	3	4	3.60	0.55	ดี
3. การระบุตำแหน่งของอุปกรณ์บนเครื่องวัดฯ มีความเหมาะสม	4	4	3	3	4	3.60	0.55	ดี
4. การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานของเครื่องวัดฯ มีความเหมาะสม	4	4	4	4	4	4.00	0.00	ดี
5. มีความสะดวกในการใช้งาน	5	4	4	5	5	4.60	0.55	ดีมาก
6. มีความปลอดภัยในการใช้งาน	4	5	5	4	5	4.60	0.55	ดีมาก
การประเมินคุณภาพของซอร์ฟแวร์								
7. มีความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน	4	4	5	5	5	4.60	0.55	ดีมาก
8. การจัดวางตำแหน่งในหน้าต่างหลักของโปรแกรมมีความเหมาะสม	5	5	4	4	4	4.40	0.55	ดี
9. การแสดงผลโปรแกรมมีความเหมาะสม	5	5	4	5	4	4.60	0.55	ดีมาก
10. ฟังก์ชั่นการทำงานของโปรแกรมมีความเหมาะสม	4	3	4	4	3	3.60	0.55	ดี
11. การเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์มีความเหมาะสม	5	5	4	4	5	4.60	0.55	ดีมาก
12. ความสะดวกในการใช้งานของโปรแกรมมีความเหมาะสม	3	4	3	4	4	3.60	0.55	ดี
13. มีความถูกต้องของการแสดงผล	4	4	3	4	4	3.80	0.45	ดี
การประเมินคุณภาพโดยรวม								
14. ระยะเวลาในการทดสอบอุปกรณ์	3	4	4	3	4	3.60	0.55	ดี
15. ความเที่ยงตรงในการวัดของเครื่องวัดฯ	4	4	3	4	4	3.80	0.45	ดี
16. เสรียรภาพของเครื่องวัดฯ	4	3	4	4	4	3.80	0.45	ดี
17 การใช้งานโดยรวมของเครื่องวัดฯ	4	4	5	4	3	4.00	0.71	ดี
18 ความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์	4	5	5	5	4	4.60	0.55	ดีมาก
เฉลี่ย						4.07	0.50	ดี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

1. ผศ.สุชิน อาจหาญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. ผศ.พิชญ์สินี มะโน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3. อาจารย์นรินทร์ ธรรมารักษ์วัฒนะ

ผู้อำนวยการสำนักบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4. อาจารย์ภาสกร หนูสนั่น

อาจารย์ประจำสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ แผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี

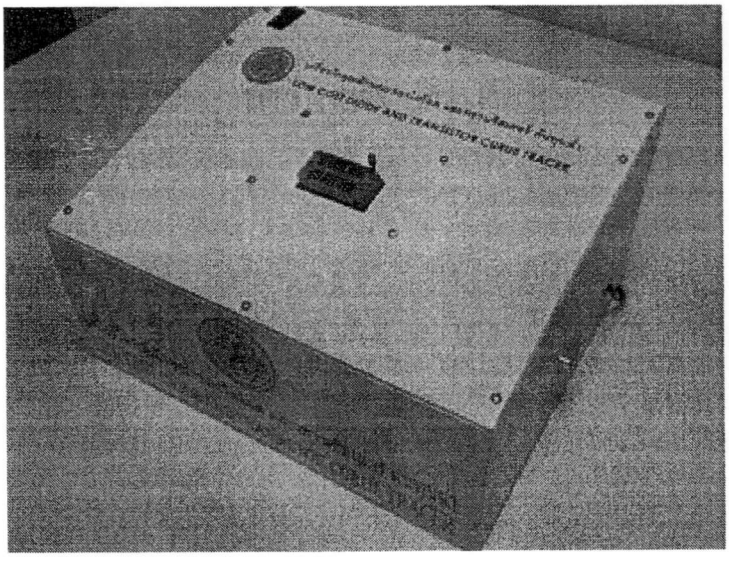
5. อาจารย์เกศินี งามยิ่ง

อาจารย์ประจำสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ แผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี

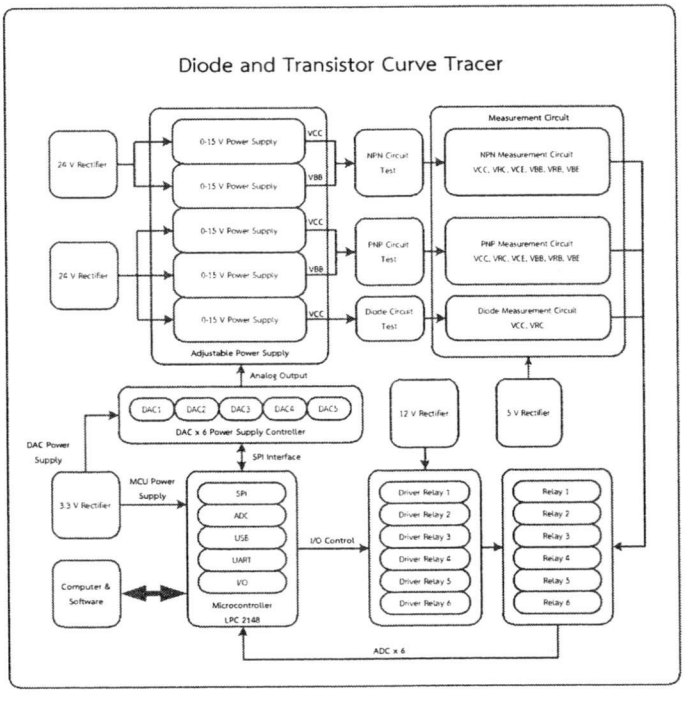
ภาคผนวก ค

เครื่องต้นแบบและคู่มือการใช้งาน

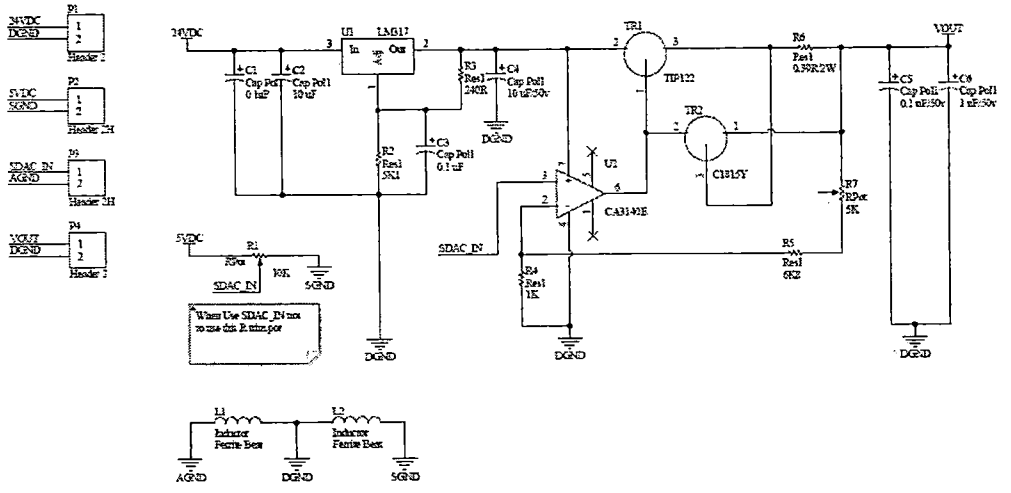
เครื่องต้นแบบ



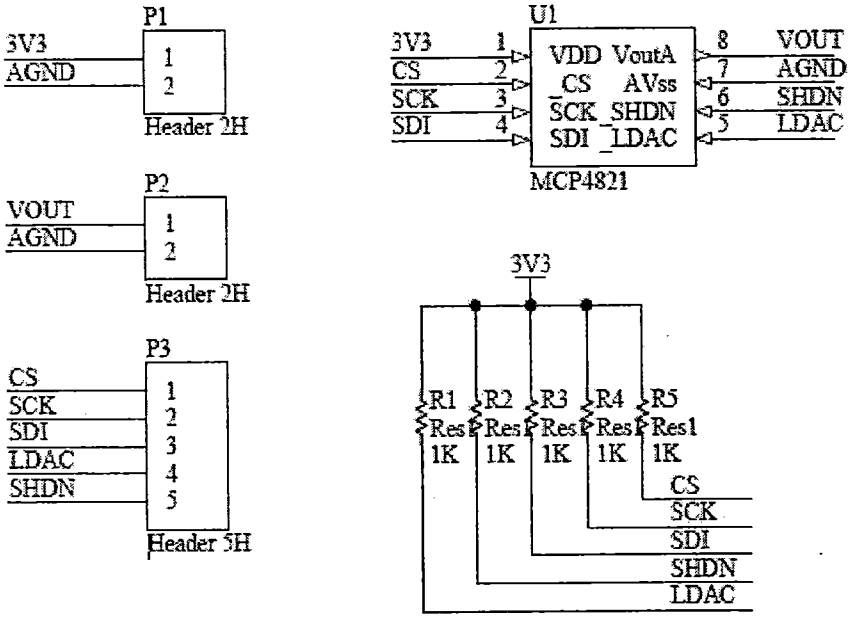
รูปที่ ค.1 เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ



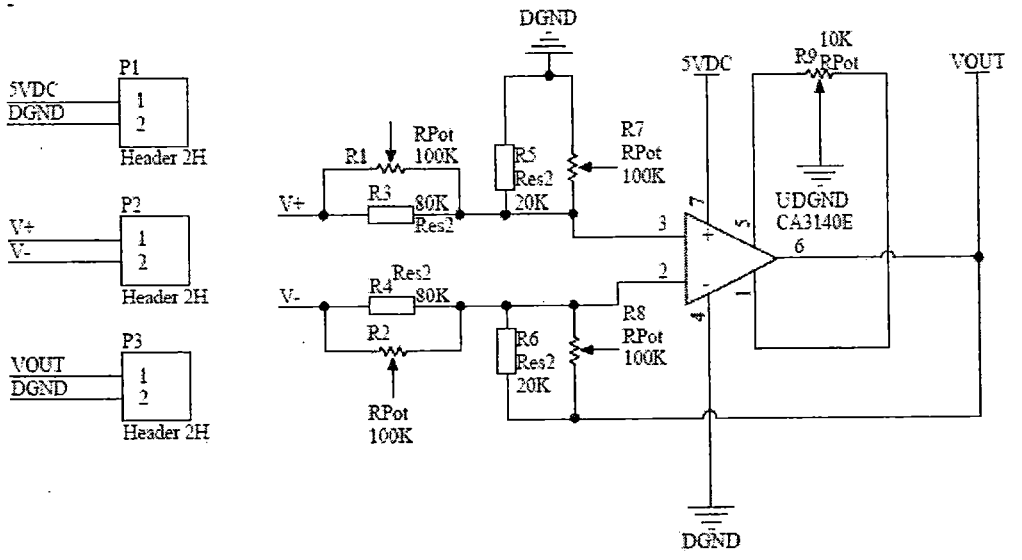
รูปที่ ค.2 ไดอะแกรมเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ



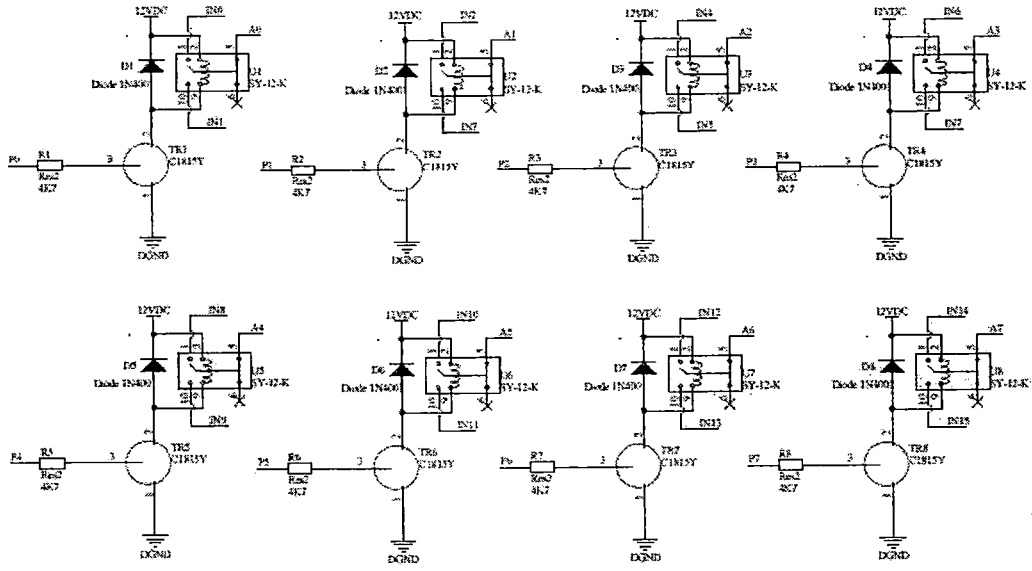
รูปที่ ค.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ



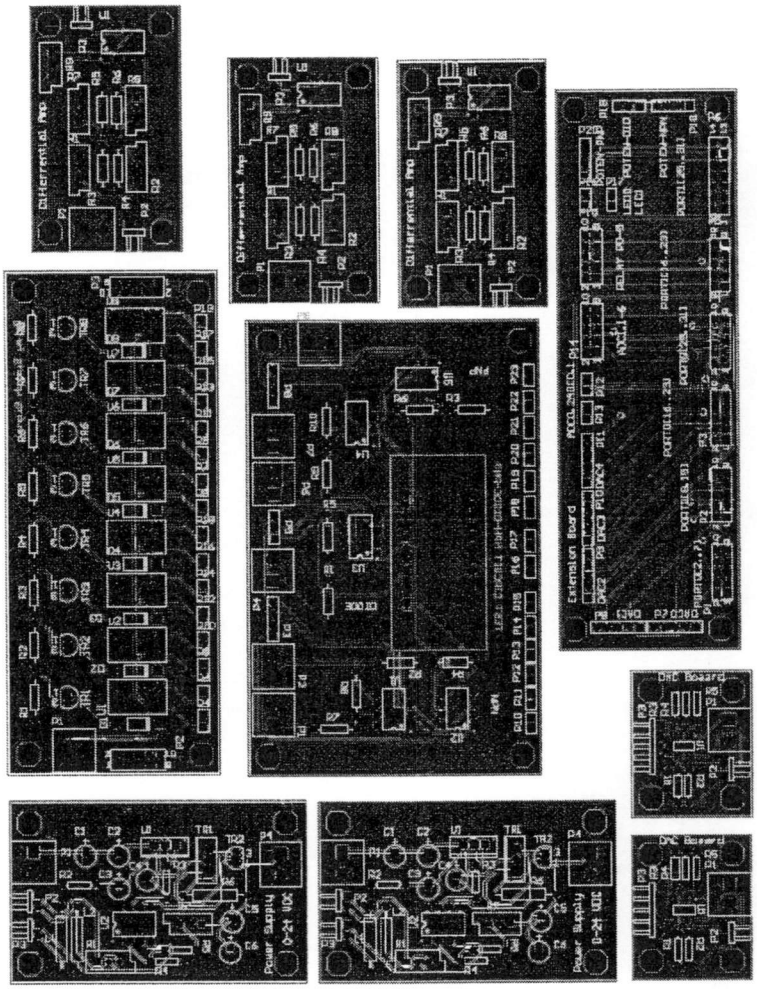
รูปที่ ค.4 วงจรควบคุมแรงดันเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ



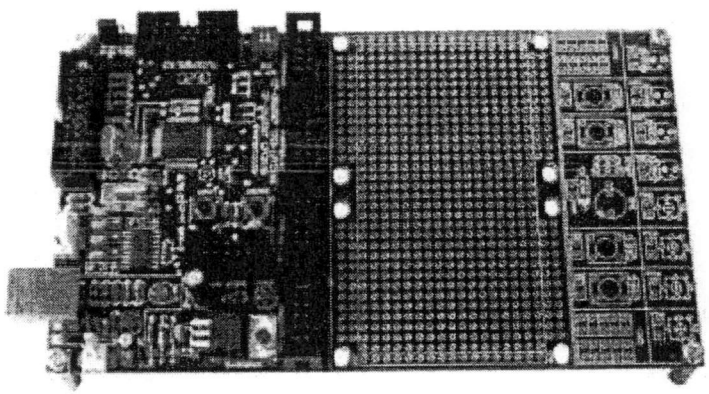
รูปที่ ค.5 วงจรวัดแรงดันเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ



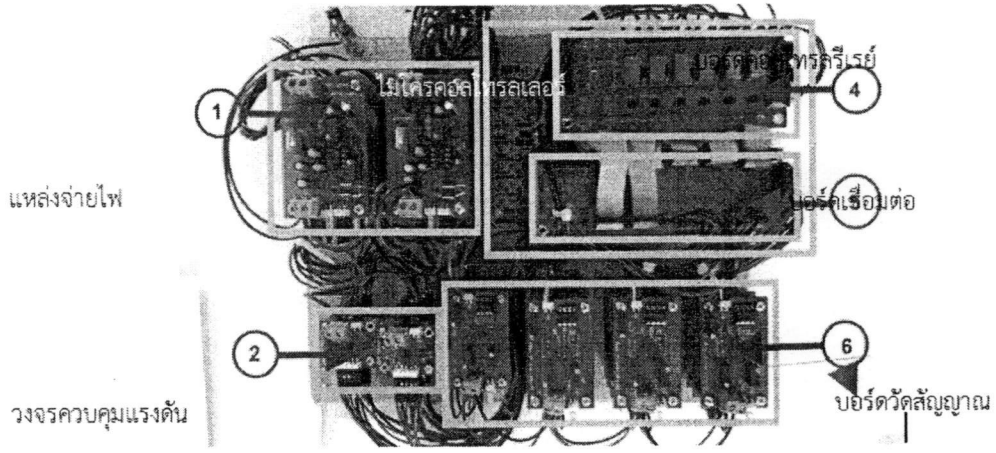
รูปที่ ค.6 วงจรควบคุมรีเรย์ของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ



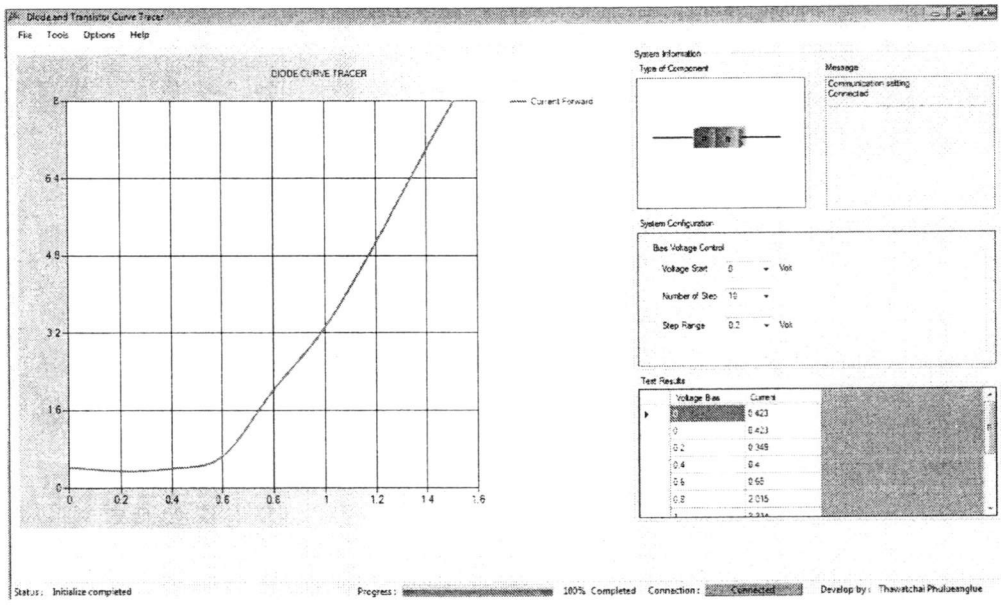
รูปที่ ค.7 แผ่นวงจรพิมพ์เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ



รูปที่ ค.8 ไมโครคอลโทรลเลอร์ควบคุมเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ



รูปที่ ค.9 โมดูลภายในเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ



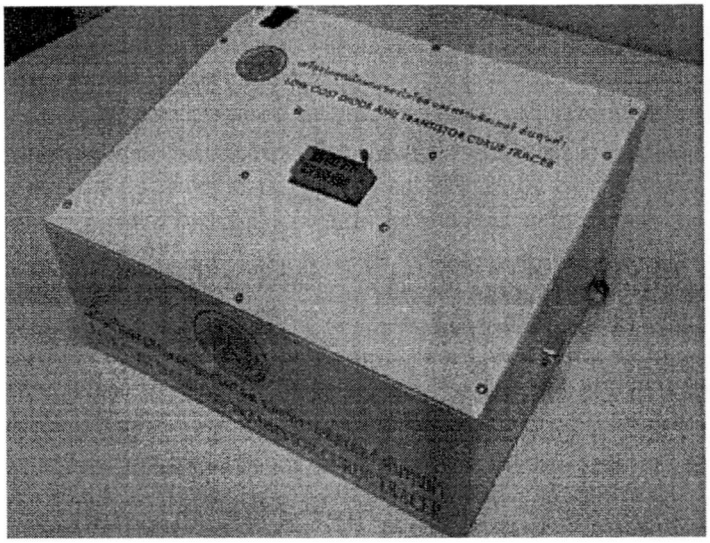
รูปที่ ค.10 โปรแกรมเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

คู่มือการใช้งาน

เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

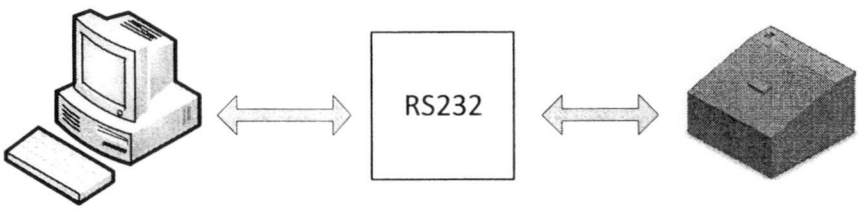
LOW COST DIODE AND TRANSISTOR CURVE TRACER

1. โมดูลเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ



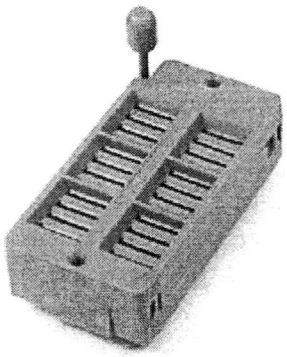
รูปที่ 1 เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

2. ต่อแหล่งจ่ายไฟ 24V ที่เครื่องวัดคุณลัษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์
3. ทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้พอร์ต RS232



รูปที่ 2 การเชื่อมต่อของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

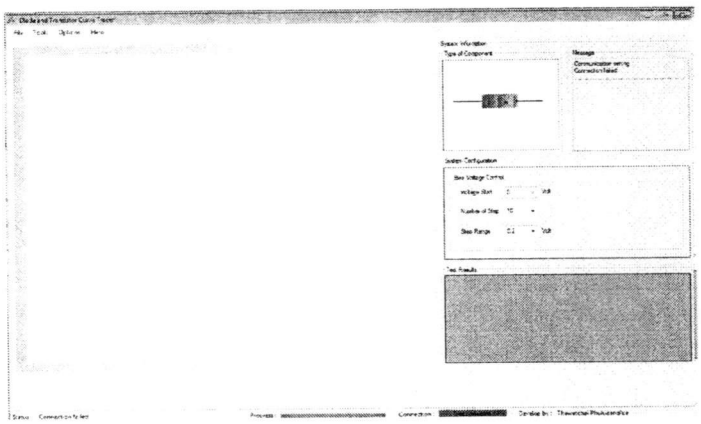
4. กดปุ่ม Power เพื่อทำการเปิดใช้งานเครื่อง
5. วางอุปกรณ์ไดโอด และทรานซิสเตอร์ที่ต้องการทดสอบบนเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ



อุปกรณ์ทดสอบ	ช่องเสียบอุปกรณ์	รายละเอียด
NPN	1	คอลเลคเตอร์
	2	เบส
	3	อีมิตเตอร์
Diode	5	แอร์โนด
	7	แคโธด
PNP	9	คอลเลคเตอร์
	10	เบส
	11	อีมิตเตอร์

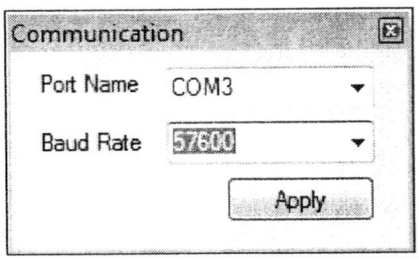
รูปที่ 3 พอร์ตเชื่อมต่ออุปกรณ์ของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

6. เปิดโปรแกรม “Diode and Transistor Curve Tracer”



รูปที่ 4 โปรแกรมของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

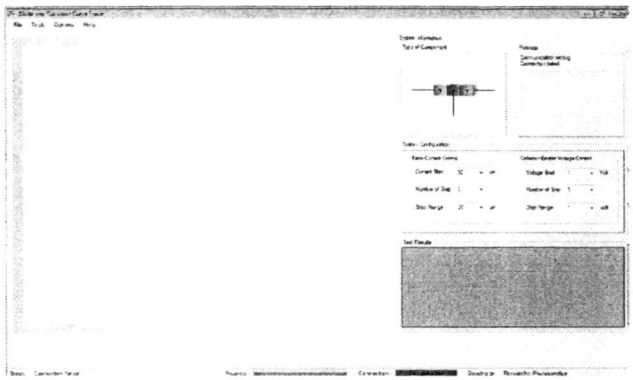
7. ทำการปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับการเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ แล้วกดปุ่ม Apply เพื่อเสร็จสิ้น



รูปที่ 5 หน้าต่างตั้งค่าเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

8. เลือกชนิดของอุปกรที่ต้องการทดสอบโดยคลิกที่ Tool →Instrument Test แล้วเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบ Diode, NPN หรือ PNP

9. หลักจากเลือกชนิดอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบแล้ว โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างสำหรับปรับค่าการทดสอบ ดังรูป

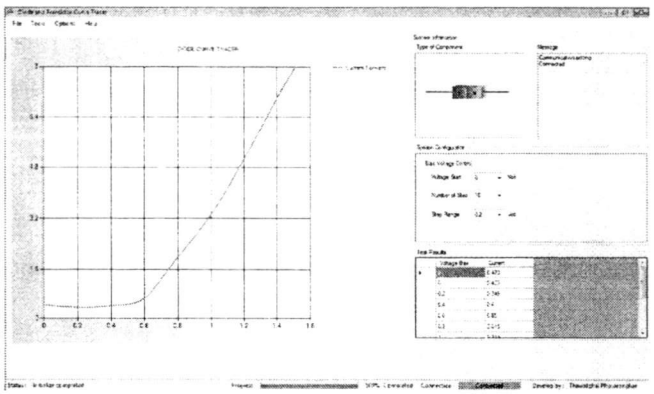


รูปที่ 6 หน้าต่างทดสอบอุปกรณ์ของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

10. ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อทำการทดสอบ

11. คลิกที่เมนู Option แล้วคลิกเลือก Run เพื่อเริ่มการทดสอบ

12. หลังจากโปรแกรมประมวลผลเสร็จสิ้น หน้าต่างจะแสดงผลที่ได้จากการทดสอบในรูปแบบของข้อมูล และกราฟ ดังตัวอย่างด้านล่าง



รูปที่ 6 ตัวอย่างผลทดสอบอุปกรณ์ของเครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

13. ผู้ใช้งานสามารถบันทึกผลการทดสอบเป็นเอกสารได้ในรูปแบบของเอ็กเซลล์ไฟล์

ภาคผนวก ง

รายการอุปกรณ์และงบประมาณ

รายการอุปกรณ์และงบประมาณ

ตาราง ค.1 รายการอุปกรณ์เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

ลำดับที่	รายการอุปกรณ์	จำนวน	หน่วย
1	Resistor 1K	21	ตัว
2	Variable Resistor 100K	4	ตัว
3	Variable Resistor 10K	16	ตัว
4	Opamp CA3140E	16	ตัว
5	Diode 1N4001	8	ตัว
6	Relay 12VDC	8	ตัว
7	Capacitor 0.1uf	24	ตัว
8	Capacitor 1uf	24	ตัว
9	Capacitor 10uf	24	ตัว
10	Resistor 240E	8	ตัว
11	Resistor 5.1K	8	ตัว
12	Resistor 6.8K	8	ตัว
13	Resistor 0.39K	8	ตัว
14	Variable Resistor 5K	8	ตัว
15	Ferrite Beat	16	ตัว
16	Transistor TIP 122	8	ตัว
17	Transistor C1815Y	24	ตัว
18	Socket IC 8 PIN	16	ตัว
19	MCP 4821	8	ตัว
20	Connector 2 PIN	22	ตัว
21	Connector 8 PIN	16	ตัว
22	Connector 5 PIN	10	ตัว
23	Connector 4 PIN	8	ตัว
24	Power Connector	2	ตัว
25	Power Switch	1	ตัว

ตาราง ค.1 (ต่อ) รายการอุปกรณ์เครื่องวัดคุณลักษณะของไดโอดและทรานซิสเตอร์ ต้นทุนต่ำ

ลำดับที่	รายการอุปกรณ์	จำนวน	หน่วย
26	Socket sip 24 PIN	1	ตัว
27	Power supply 5V	1	ตัว
28	Power Supply 24V	1	ตัว
28	PCBA	1	ชุด

ค่าใช้จ่ายโดยประมาณ 5000 บาท

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายธวัชชัย ผู้เลื่องลือ
วัน-เดือน-ปีเกิด	28 ตุลาคม 2526
ที่อยู่ปัจจุบัน	967/333 ถ.รังสิต-นครนายก ต.ประชาธิปัตย์ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130 โทร +668-4768-6027
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	พ.ศ.2549-พ.ศ.2552 ตำแหน่งวิศวกรวิจัยและพัฒนา แผนกวิจัยและพัฒนา บริษัท เพรสซิเดียม อินสตรูเม้นท์ส (ประเทศไทย) จำกัด พ.ศ.2552-พ.ศ.2553 ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้าและซอฟต์แวร์ แผนกพัฒนากระบวนการ บริษัท แมกเนคอมพ์ พรีซิชั่น เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน) พ.ศ.2553-พ.ศ.2554 ตำแหน่งวิศวกรซอฟต์แวร์ แผนกวิจัยและพัฒนา บริษัท แคล-คอมพ์ อีเล็คโทรนิคส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกรซอฟต์แวร์ แผนกวิศวกรรม บริษัท ไล้ท์เฮ้าส์ เวิลด์ไวด์ โซลูชั่นส์ จำกัด