

เครื่องวัดและโปรแกรมวิเคราะห์ ลักษณะสมบัติ กระแส-แรงดัน ของ อุปกรณ์
อิเล็กทรอนิกส์ (สารกึ่งตัวนำ) พื้นฐาน

MEASUREMENT SYSTEM WITH ANALYSIS SOFTWARE FOR I-V
CHARACTERISTICS OF BASIC ELECTRONIC DEVICES



นายธีรเดช	บุญช่วย	รหัส 52361857
นายปรัชญา	สารภาพ	รหัส 52361956
นายพีระพัฒน์	สุทธาชีพ	รหัส 52362083

ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 1.2 ค.ย. 2556

เลขทะเบียน..... 1637 6356

เลขเรียกหนังสือ..... ผ.ร.

มหาวิทยาลัยนเรศวร ๕ ๖23 ๓ ๒๐๑๕

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2555



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการงาน เครื่องวัดและโปรแกรมวิเคราะห์ ลักษณะคุณสมบัติ กระแส-แรงดัน ของ
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (สารกึ่งตัวนำ) พื้นฐาน

ผู้ดำเนินโครงการงาน นายธีรเดช บุญช่วย รหัส 52361857
นายปรัชญา สารภาพ รหัส 52361956
นายพีระพัฒน์ สุทธาชีพ รหัส 52362083

ที่ปรึกษาโครงการงาน ดร. สุวิทย์ กิระวิทยา
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2555

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

Savit Kiravittayaที่ปรึกษาโครงการงาน
(ดร. สุวิทย์ กิระวิทยา)

M. Songกรรมการ
(ดร. มุขिता สงฆ์จันทร์)

P. Nattakulกรรมการ
(ดร. พันธ์ นัตถุทธิ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ เครื่องวัดและโปรแกรมวิเคราะห์ ลักษณะสมบัติ กระแส-แรงดัน ของ
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (สารกึ่งตัวนำ) พื้นฐาน
ผู้ดำเนินโครงการ นายธีรเดช บุญช่วย รหัส 52361857
นายปรัชญา สารภาพ รหัส 52361956
นายพีระพัฒน์ สุทธาชีพ รหัส 52362083
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. สุวิทย์ กิระวิทยา
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการสร้างเครื่องวัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน ประเภทสารกึ่งตัวนำ พร้อมแสดงผลผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้งานทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ลักษณะการแสดงผลสามารถแสดง กราฟลักษณะสมบัติ กระแส-แรงดัน และค่าพารามิเตอร์ ของอุปกรณ์ที่ทำการวัดได้ ในส่วนของ เครื่องวัดที่ได้จัดทำขึ้นนี้ใช้ในการวัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน ได้แก่ ไดโอดหมายเลข IN4001 และทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อคู่ ชนิด เอ็นพีเอ็นหมายเลข 2N2222A และพีเอ็นพีหมายเลข 2N2309 และมีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล เอวีอาร์ ในการรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ทำการวัดมาส่งให้กับคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ และนำมาแสดงผลผ่านทางส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่ได้ทำการเขียนโปรแกรมขึ้นมา โดยใช้โปรแกรมเมทแลป ผลที่ได้จากการสร้างเครื่องวัดและโปรแกรมวิเคราะห์ สามารถแสดงกราฟลักษณะสมบัติ กระแส-แรงดัน ของอุปกรณ์ที่ทำการวัด ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลของอุปกรณ์ที่แสดงจากผู้ผลิต

Project title Measurement System with Analysis Software for I-V
Characteristics of Basic Electronic Devices

Name Mr. Teeradetch Boonchuay ID. 52361857
Mr. Pratchaya Sarapap ID. 52361956
Mr. Peerapat Suttacheep ID. 52362083

Project advisor Dr. Suwit Kiravittaya

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2012

Abstract

Measurement system for basic semiconductor devices is constructed within this project. Measurement results, which are current-voltage (I-V) characteristics and extracted device parameter, are displayed via develop software with graphic user interface. Considered basic electronic device are general purpose silicon diode (1N4001), bipolar junction transistors of both type, i.e., npn (2N2222A) and pnp (2N2309). AVR-family microcontroller is used for receiving input voltage and sending them to a computer. The analysis of measurement result is done with a routine written in MATLAB program. Result from this system, which are graphs of measured-device I-V characteristics, are comparable to the referent data from device datasheet.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยการดูแลจาก ดร.สุวิทย์ ภิระวิทยา ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยให้ความรู้และข้อมูลที่สนับสนุนต่อความสำเร็จของโครงการ อีกทั้งยังสนับสนุนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ ทำให้ผู้ดำเนินโครงการสามารถทำโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์และบุคลากรภาคไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่คอยอบรมสั่งสอนวิชาความรู้จนจบการศึกษา ทำให้ผู้ดำเนินโครงการสามารถนำความรู้ที่ได้เรียนมาประยุกต์ใช้ในโครงการนี้ รวมถึงบุคลากรที่ให้คำแนะนำในการใช้ห้อง อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณว่าที่ร้อยตรี ธาณี โกสม ที่แนะนำการใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการทำโครงการชิ้นนี้

ขอขอบคุณ บิคมารดา และครอบครัวของผู้จัดทำโครงการนี้ที่คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา และความเอาใจใส่ ในทุกๆเรื่องตลอดการศึกษางานจบหลักสูตรการศึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ รุ่นพี่ รุ่นน้อง และเพื่อนๆที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และอยู่เคียงข้างจนจบการศึกษา

นายธีรเดช บุญช่วย
นายปรัชญา สารภาพ
นายพีระพัฒน์ สุทธาชีพ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนและแผนดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	3
1.6 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ไดโอด.....	4
2.1.1 ทฤษฎีของไดโอด.....	4
2.1.2 ไดโอดในทางอุดมคติ.....	5
2.1.3 ไดโอดในทางปฏิบัติ.....	5
2.1.4 การไบอัส.....	6
2.1.5 กราฟคุณสมบัติ กระแส-แรงดัน ของไดโอด.....	6
2.2 ทรานซิสเตอร์.....	7
2.2.1 ทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อคู่ (Bipolar junction transistor: BJT).....	7
2.2.2 การทำงานของทรานซิสเตอร์ (Transistor Operation).....	8
2.2.3 กระแสและแรงดันของทรานซิสเตอร์ (Transistor Current and Voltage).....	8
2.2.4 กระแสของทรานซิสเตอร์.....	8
2.2.5 แรงดันไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์.....	9
2.2.6 กราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ (Transistor Characteristic Curves).....	9
2.2.7 วิเคราะห์กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน.....	10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	11
2.3.1 การศึกษาความสามารถและคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	11
2.3.2 การศึกษาเกี่ยวกับการพื้นฐานเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์.....	12
2.3.3 ข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลขATmega328	13
2.4 โปรแกรมเมทแอลป์.....	14
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	15
3.1 วงจรวัดที่ใช้ในโครงการ.....	16
3.1.1 วงจรภาคจ่ายไฟ.....	16
3.1.2 วงจรสำหรับสร้างแรงดันอ้างอิง	16
3.1.3 วงจรตามสัญญาณแรงดันและวงจรขยายสัญญาณแรงดันจากออปแอมป์.....	17
3.1.4 วงจรวัดไดโอด.....	17
3.1.5 วงจรวัดทรานซิสเตอร์	18
3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	22
3.3 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน พร้อมแสดง กราฟคุณลักษณะกระแสแรงดัน และค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์.....	23
บทที่ 4 ผลการทดสอบ และการวิเคราะห์ผล	24
4.1 การทดลองวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง	24
4.2 การทดลองวัดและวิเคราะห์ไดโอดหมายเลข 1N4001.....	25
4.3 การทดลองวัดและวิเคราะห์ทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น หมายเลข 2N2222A	27
4.4 การทดลองวัดและวิเคราะห์ทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี หมายเลข 2N2309	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	32
5.1 สรุปผล.....	32
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข.....	32
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	34
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งานอุปกรณ์เครื่องวัดและโปรแกรมวิเคราะห์จากโครงการ	35
ภาคผนวก ข รหัสต้นฉบับเพื่อสร้าง ส่วนติดต่อกับผู้ใช้โดยใช้แม่ทแปล.....	42
ภาคผนวก ค รหัสต้นฉบับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	55
ภาคผนวก ง รายละเอียดของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno (Atemega328P).....	57
ภาคผนวก จ รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข LM324.....	64
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข NE555.....	75
ภาคผนวก ช รายละเอียดของรีเลย์.....	86
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	90



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	กราฟคุณสมบัติ กระแส-แรงดัน ของไดโอดในอุดมคติ..... 5
2.2	กราฟคุณสมบัติ กระแส-แรงดัน ของไดโอดในทางปฏิบัติ..... 5
2.3	กราฟคุณสมบัติ กระแส-แรงดัน ของไดโอดที่สร้างจากซิลิกอน 6
2.4	โครงสร้างทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น..... 7
2.5	โครงสร้างทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี..... 7
2.6	ทิศการไหลของกระแสของทรานซิสเตอร์ ชนิดเอ็นพีเอ็น(ซ้าย) และพีเอ็นพี(ขวา)..... 8
2.7	แรงดันที่ตกคร่อมขั้วของทรานซิสเตอร์..... 9
2.8	กราฟวงจรที่วัดค่ากระแสคอลเลกเตอร์ และค่าแรงดันที่ตกคร่อม ขั้วคอลเลกเตอร์กับอิมิตอร์ 9
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส-แรงดัน ของทรานซิสเตอร์ 10
2.10	หน้าจอการใช้งาน โปรแกรม Arduino 1.0.1..... 13
3.1	แผนผังการรับส่งข้อมูลของระบบ 15
3.2	วงจรภาคจ่ายไฟ 16
3.3	วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงจาก ไอซีหมายเลข NE555..... 16
3.4	วงจรตามสัญญาณแรงดันและวงจรขยายสัญญาณแรงดันจากออปแอมป์..... 17
3.5	วงจรวัด ไดโอด..... 17
3.6	วงจรวัดค่า กระแส-แรงดัน สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น 18
3.7	วงจรวัดค่า กระแส-แรงดัน สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี 19
3.8	วงจรรีเลย์สำหรับเปลี่ยนการวัดชนิดของทรานซิสเตอร์ 20
3.9	วงจรสำหรับกลับขั้วสัญญาณในการวัดทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี 21
3.10	ภาพวงจรรวมของเครื่องมือวัดในโครงการงาน 21
3.11	แผนผังการส่งสัญญาณที่วัดได้ผ่าน ไมโครคอนโทรลเลอร์..... 22
3.12	แผนผังการวิเคราะห์ผ่าน โปรแกรมเมทแลป..... 23
4.1	รูปสัญญาณที่ออกจากวงจรสร้างสัญญาณอ้างอิง 24
4.2	หน้าตาแสดงผลการวิเคราะห์ผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้งานของ ไดโอด 25
4.3	ผลการทดสอบวัด ไดโอดกับเครื่อง Curve Tracer ของ HAMEG รุ่น HM6042 26
4.4	หน้าตาแสดงผลการวิเคราะห์ผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้งานของทรานซิสเตอร์ ชนิดเอ็นพีเอ็น หมายเลข 2N2222A 27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ผลการทดสอบวัดทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น หมายเลข 2N2222A กับเครื่อง Curve Tracerของ HAMEG รุ่น HM6042	28
4.6 ลักษณะของเส้น โหลด (Loadline) ในค่ากระแสเบสที่ต่างกัน.....	29
4.7 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์ผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้งานของทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี หมายเลข 2N2309	30
4.8 ผลการทดสอบวัดทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี หมายเลข 2N2309 กับเครื่อง Curve Tracerของ HAMEG รุ่น HM6042	31



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางอิเล็กทรอนิกส์มีบทบาทมากในการสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน ซึ่งภายในอุปกรณ์เหล่านั้นจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ไม่ว่าจะเป็น ตัวต้านทาน ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เป็นต้น จึงจำเป็นต้องมีความรู้ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในการสร้างสิ่งเหล่านั้น

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้อย่างแพร่หลายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยในที่นี้จะกล่าวถึง ตัวต้านทาน ไดโอด และทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์พื้นฐานในการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการเลือกใช้ ตัวต้านทาน ไดโอด และทรานซิสเตอร์ นั้น จำเป็นต้องทราบคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์เพื่อให้เหมาะสมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้น ซึ่งเราสามารถทราบได้จากข้อมูลทางเทคนิคที่ผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้น แต่ในการใช้งานจริงอุปกรณ์เหล่านั้นมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลที่ผู้ผลิตให้มา ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบหาคุณสมบัติ กระแส-แรงดัน ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เฉพาะตัวเหล่านั้น

จึงนำมาซึ่งโครงการนี้เพื่อสร้าง เครื่องวัดและ โปรแกรมวิเคราะห์ ลักษณะสมบัติ กระแส-แรงดัน ของ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์(สารกึ่งตัวนำ)พื้นฐาน โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์ ในการวิเคราะห์คุณสมบัติ กระแส-แรงดัน ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์(สารกึ่งตัวนำ)พื้นฐาน ประเภท ตัวต้านทาน ไดโอด และทรานซิสเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อสร้างเครื่องมือวัดสำหรับอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานประเภทสารกึ่งตัวนำ เพื่อมาวิเคราะห์ และสร้างกราฟคุณลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ของอุปกรณ์ พร้อมบอกค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ที่ทำการวัด สำหรับ ไดโอดมีการแสดงค่า กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ และค่าตัวประกอบอุณหภูมิต่ำ สำหรับทรานซิสเตอร์มีการแสดงค่ากระแสเบส กระแสคอลเลกเตอร์ และอัตราขยายสามารถแสดงผ่านหน้าต่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่สร้างจากโปรแกรมเมทแลป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ วัดและวิเคราะห์ค่าสำหรับค่าคุณลักษณะสมบัติเฉพาะตัวได้จริง และทดสอบว่าอุปกรณ์ชนิดนั้นเสียหรือสามารถทำงานได้หรือไม่ เพื่อช่วยในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีความสะดวกยิ่งขึ้น และยังสามารถพัฒนาต่อยอดให้ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่นๆ ได้เพิ่มขึ้น

1.6 งบประมาณของโครงการ

1. ค่าชุดอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์	1,500 บาท
2. ค่าชุดอุปกรณ์ในการสร้างวงจร	900 บาท
3. ค่าเอกสารและเข้าเล่มปริญญาบัตร	600 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สามพันบาทถ้วน) (หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ)	<u>3,000 บาท</u>



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไดโอด

ไดโอด คือ อุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ชนิดสองขั้ว ประเภทสารกึ่งตัวนำ ที่ออกแบบเพื่อควบคุมทิศทางการไหลของประจุไฟฟ้า โดยไดโอดจะยอมให้กระแสไหลไปในทิศทางเดียวและกั้นการไหลในทิศทางที่ตรงข้าม โดยสารกึ่งตัวนำนี้ คือผลึกของสารกึ่งตัวนำที่ต่อกันได้ขั้วอิเล็กโทรดสองขั้ว ซึ่งก็คือแผ่นตัวนำ (ขั้วบวก) และแผ่นแคโทด (ขั้วลบ) โดยไดโอดที่ใช้งานในปัจจุบัน ผลิตจากสารกึ่งตัวนำเช่น ซิลิกอน หรือ เจอร์เมเนียม

โดยส่วนใหญ่ไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านในทิศทางเดียวโดยไม่มีควมต้านทานไฟฟ้า โดยให้กระแสไหลไปในทิศทางที่มีสัญลักษณ์ลูกศรกำกับ(กระแสสมมุติ ตรงข้ามกับทิศการไหลของอิเล็กตรอน) ส่วนกระแสที่ไหลในทิศทางตรงข้ามจะถูกกั้นไม่ให้ไหล(ใช้ขีดเป็นสัญลักษณ์) ดังนั้นจึงถือว่าไดโอดเปรียบเสมือนวาล์วทางอิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่ง จึงถือเป็นประโยชน์อย่างมากในระบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้เรียงกระแสไฟฟ้าในวงจรภาคจ่ายไฟ เป็นต้น

2.1.1 ทฤษฎีของไดโอด

ไดโอดจะมีความสัมพันธ์ของกระแส-แรงดัน แสดงได้ดังสมการ

$$I = I_0(e^{V_D/\eta V_T} - 1) \quad (2.1)$$

โดย ค่า I_0 คือ ค่ากระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (reverse saturation current)

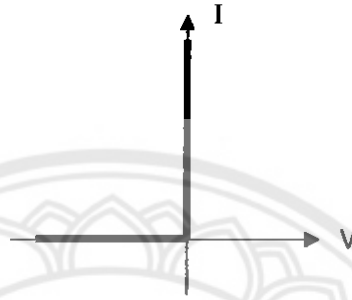
V_D คือ แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด

η คือ ค่าตัวประกอบอุดมคติของไดโอด (Ideality factor) มีค่าอยู่ที่ 1-2

V_T คือ ค่าความต่างศักย์อันเนื่องมาจากความร้อน มีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.026 โวลต์

2.1.2 ไดโอดในทางอุดมคติ

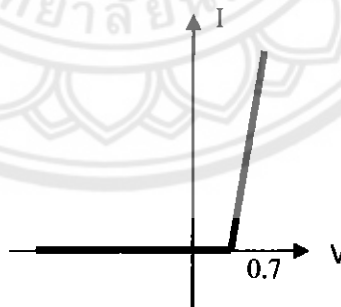
ไดโอดในทางอุดมคติ มีลักษณะเหมือนกับสวิตช์ที่สามารถนำกระแสให้ไหลผ่านไดโอดได้ในทิศทางเดียว ถ้าต่อขั้วแหล่งจ่ายไฟ ให้เป็นการไบอัสตรง ไดโอดทำหน้าที่เปรียบเสมือนสวิตช์ที่ปิด หรือไดโอดลัดวงจร ทำให้ กระแสไหลผ่านไดโอดได้ แต่ถ้าต่อกลับขั้วเบตเตอร์รีแบบไบอัสกลับ ไดโอดจะทำหน้าที่เปรียบเสมือนสวิตช์เปิด หรือเปิดวงจร ทำให้กระแสไดโอดเท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.1 กราฟคุณสมบัติ กระแส-แรงดัน ของไดโอดในอุดมคติ

2.1.3 ไดโอดในทางปฏิบัติ

ไดโอดในทางปฏิบัติจะมีความต้านทานภายในเกิดขึ้นภายในไดโอดในขณะนำกระแส เนื่องจากความไม่บริสุทธิ์ของเนื้อสาร (รอยต่อ พี-เอ็น) ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด ที่จะทำให้กระแสไหลมีค่าเกินศูนย์ เพื่อป้องกัน ไดโอดเสียหายจึงไม่เป็นไปตามไดโอดในอุดมคติ



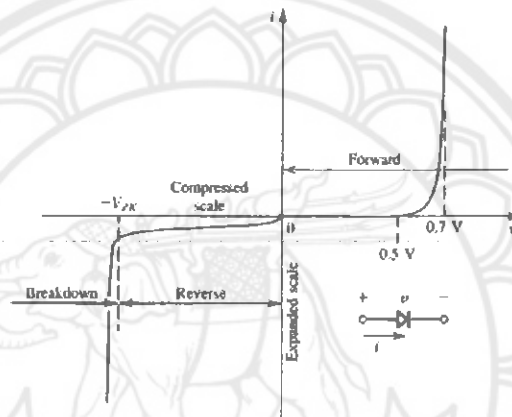
รูปที่ 2.2 กราฟคุณสมบัติ กระแส-แรงดัน ของไดโอดในทางปฏิบัติ

2.1.4 การไบอัส

การไบอัสเป็นการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ เพื่อให้ทำงานตามที่ผู้ออกแบบต้องการ โดยการไบอัสรอยต่อ พี-เอ็น เป็นการป้อนสนามไฟฟ้าภายนอกให้แก่รอยต่อซึ่งมีผลต่อบริเวณปลอดพาหะ ซึ่งสามารถทำได้สองแบบคือ การไบอัสตรง และการไบอัสกลับ

2.1.5 กราฟคุณสมบัติ กระแส-แรงดัน ของไดโอด

กราฟคุณสมบัติ กระแส-แรงดัน ของไดโอด รอยต่อ พี-เอ็น ที่สร้างจากซิลิกอนจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อแรงดันไบอัสตรงมีค่าเป็นบวกประมาณ 0.7 โวลต์กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านไดโอดได้อย่างสะดวก เมื่อพิจารณาความชันของเส้นกราฟจะพบว่ามีความชันมาก คือมีความต้านทานต่ำ



รูปที่ 2.3 กราฟคุณสมบัติ กระแส-แรงดัน ของไดโอดที่สร้างจากซิลิกอน

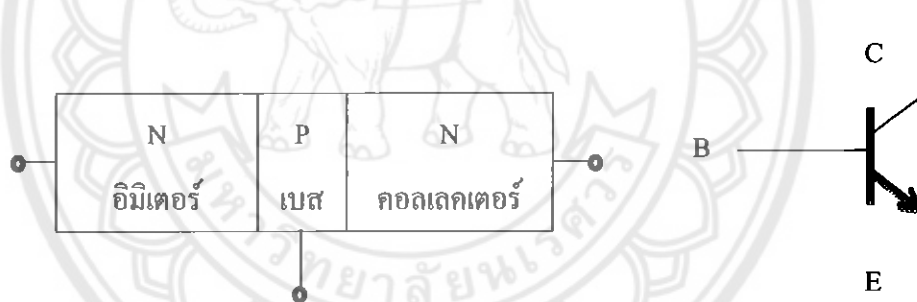
แต่เมื่อแรงดันไบอัสตรงต่ำกว่า 0.7 โวลต์กระแสจะไหลผ่านรอยต่อน้อยมากหากแรงดันตกคร่อมรอยต่อมีค่าน้อยกว่าศูนย์ จะเป็นการไบอัสย้อนกลับกระแสที่ไหลผ่านจะเกิดจากพาหะข้างน้อย เมื่อพิจารณาความชันของเส้นกราฟจะพบว่ามีความชันต่ำ นั่นคือมีความต้านทานสูงมาก แต่เมื่อให้แรงดันไบอัสกลับมีค่าต่ำมากจนถึงจุดหนึ่งจะพบว่าจะมีกระแสไฟฟ้าผ่านรอยต่อเป็นจำนวนมาก เราเรียกแรงดันจุดนี้ว่าแรงดันทลาย

2.2 ทรานซิสเตอร์

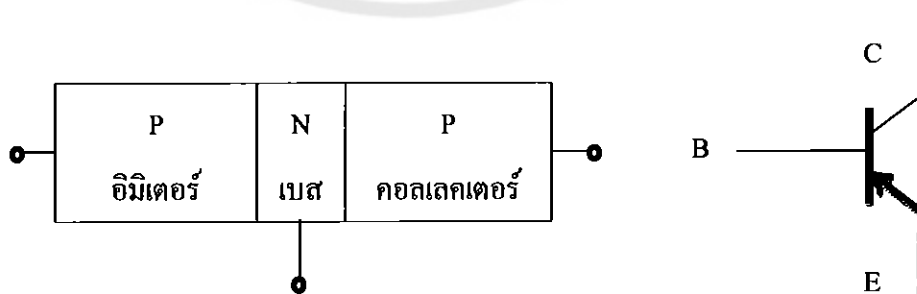
ทรานซิสเตอร์ คือ อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้สำหรับควบคุมกระแสระหว่างขั้ว 2 ขั้ว โดยขึ้นอยู่กับค่ากระแสหรือแรงดันไฟฟ้าของขั้วที่ 3 เพื่อเป็นตัวควบคุมและเรายังสามารถใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรรขยาย หรือใช้เป็นสวิตช์ของสัญญาณไฟฟ้า ประเภทของทรานซิสเตอร์ที่โครงการนี้สนใจคือ ทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อคู่ (Bipolar junction transistor BJT) จึงจะขออธิบายหลักการทำงานและคุณลักษณะของ กระแส-แรงดัน ของทรานซิสเตอร์ชนิดนี้เป็นหลัก

2.2.1 ทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อคู่ (Bipolar junction transistor: BJT)

ทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อคู่ นี้ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด พี และ เอ็น ต่อกัน โดยการเติมสารกึ่งตัวนำจำนวน 3 ชั้นทำให้เกิดรอยต่อขึ้นจำนวน 2 รอยต่อ การสร้างทรานซิสเตอร์จึงสร้างได้ 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีสารชนิด เอ็น 2 ชั้นเรียกว่าชนิด เอ็นพีเอ็นและชนิดที่มีสารพี 2 ชั้นเรียกว่าชนิด พีเอ็นพี



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น



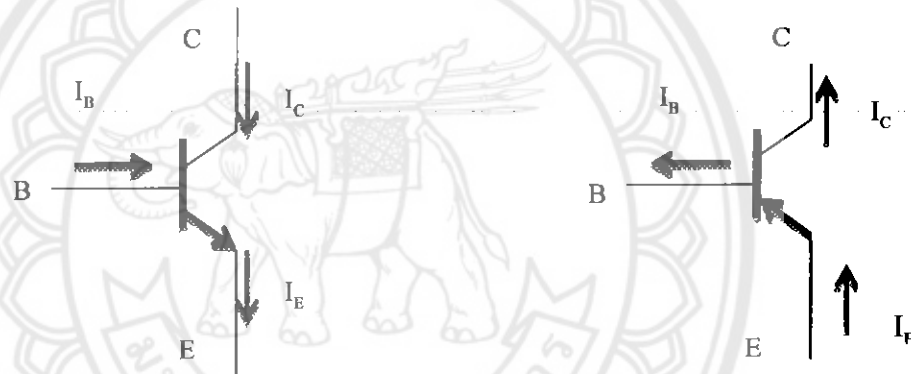
รูปที่ 2.5 โครงสร้างทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี

2.2.2 การทำงานของทรานซิสเตอร์ (Transistor Operation)

ทรานซิสเตอร์จะนำไปใช้งานได้นั้นต้องต่อแรงดัน ไฟฟ้าเพื่อทำการไบอัสที่รอยต่อ เนื่องจากทรานซิสเตอร์ มี 3 ขั้ว การต่อแรงดัน ไฟฟ้าที่ขั้วเพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงานจึงเป็นไปได้ 3 แบบคือ การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณคัตออฟ เนื่องจากกระแสมีค่าน้อยมากๆ ทำให้ทรานซิสเตอร์มีลักษณะเหมือนกับเปิดวงจร การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณอิ่มตัว คือ บางส่วนของสัญญาณออกจะถูกตัดทิ้ง และการให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณแอกทีฟ คือแรงดัน ป้อนเข้าจะถูกขยายให้มีขนาดสูงขึ้น

2.2.3 กระแสและแรงดันของทรานซิสเตอร์ (Transistor Current and Voltage)

เนื่องจากทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีขั้ว 3 ขั้ว คือ ขั้วคอลเลกเตอร์ ขั้วเบส และขั้วอิมิตอร์ จึงมีกระแสและแรงดันทรานซิสเตอร์หลายค่า ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ทิศการไหลของกระแสของทรานซิสเตอร์ ชนิดเอ็นพีเอ็น (ซ้าย) และพีเอ็นพี (ขวา)

2.2.4 กระแสของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ซึ่งถูกควบคุมด้วยกระแสเบส กล่าวคือ เมื่อ กระแสเบส มีการเปลี่ยนแปลงแม้เพียง เล็กน้อยก็จะทำให้กระแสอิมิตอร์และกระแสคอลเลกเตอร์ เปลี่ยนแปลงด้วย ตัวประกอบหรือแฟกเตอร์ที่ทำให้กระแสไฟฟ้า จากขั้วเบสไปยังขั้วคอลเลกเตอร์ของ ทรานซิสเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเรียกว่า อัตราขยายกระแสไฟฟ้า ซึ่งแทนด้วยค่า β (Beta) หากต้องการหา ปริมาณกระแสคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์เพียงคูณกระแสเบส ด้วย β (Beta) เขียนเป็นสมการ ได้ที่ (2.1) และ (2.2)

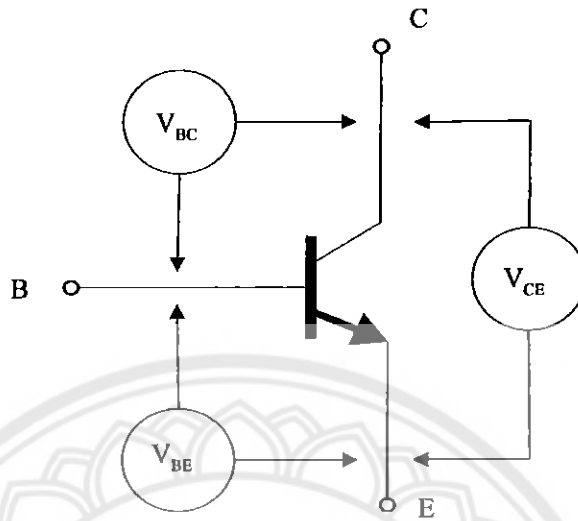
$$I_C = I_B \times \beta \quad (2.2)$$

$$I_E = I_B + I_C \quad (2.3)$$

2.2.5 แรงดันไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์

เมื่อมีการต่อทรานซิสเตอร์เพื่อใช้งาน จะมีแรงดันตกคร่อมที่ขั้วต่างๆของทรานซิสเตอร์

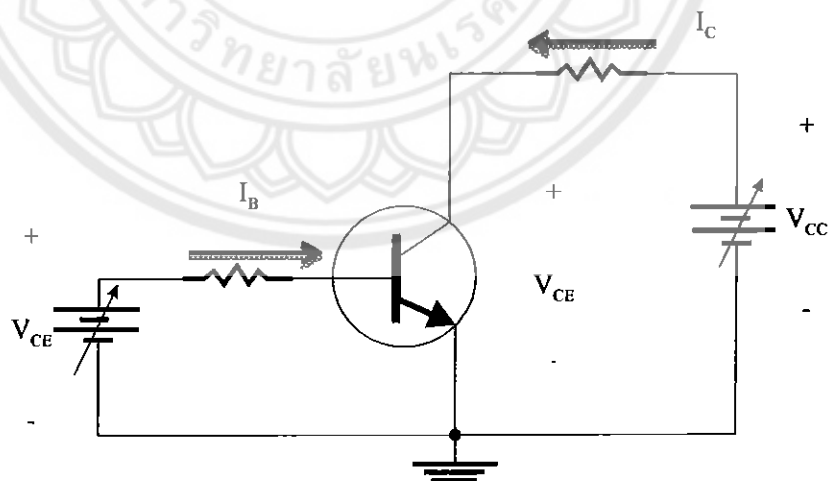
ดังรูปที่ 2.7



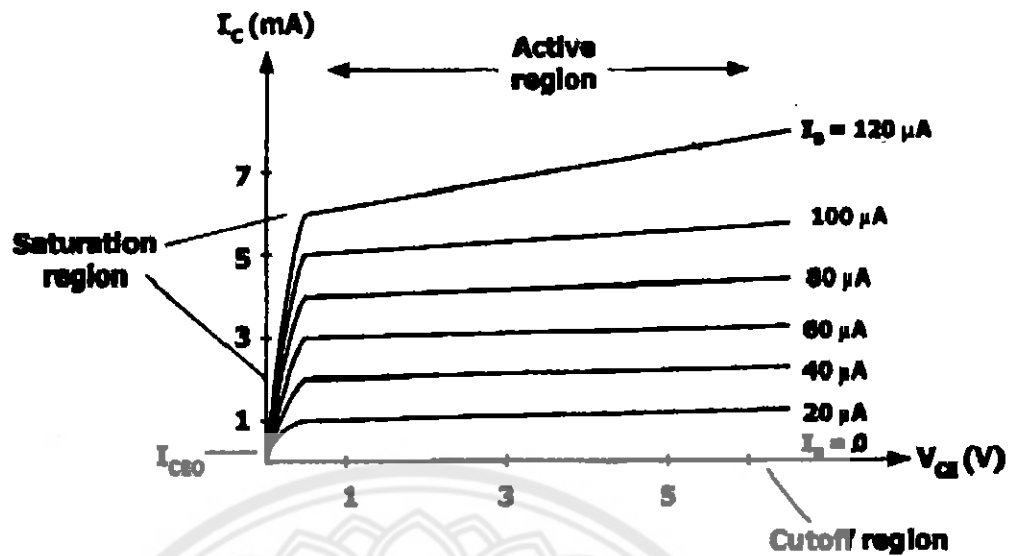
รูปที่ 2.7 แรงดันที่ตกคร่อมขั้วของทรานซิสเตอร์

2.2.6 กราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ (Transistor Characteristic Curves)

ในโครงการนี้จะพิจารณากราฟคุณลักษณะของ กระแส-แรงดัน ที่ขั้วของคอลเลกเตอร์ที่ใช้อธิบายการทำงานของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.8 วงจรที่วัดค่ากระแสคอลเลกเตอร์ และค่าแรงดันที่ตกคร่อมขั้วคอลเลกเตอร์กับอิมิตเตอร์



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส-แรงดัน ของทรานซิสเตอร์

2.2.7 วิเคราะห์กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน

จากวงจรในรูปที่ 2.8 ในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแรงดันของขั้วคอลเลกเตอร์ โดยเราจะเห็นได้ว่า ในช่วงแรงดันตกคร่อมขั้วคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ (V_{CE}) ประมาณ 0.3-0.4 โวลต์ การเพิ่มขึ้นของกระแสไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของกระแสคอลเลกเตอร์เรียกว่าย่านนี้ว่าย่านอิ่มตัว

จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อค่าแรงดันตกคร่อมขั้วคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ (V_{CE}) ที่ที่ค่าเกิน 6.5 โวลต์ขึ้นไปทำให้เกิดการเบรคควาน์ ระหว่างย่านอิ่มตัวกับเบรคควาน์เรียกว่า ย่านแอกทีฟหรือย่านทำงานความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเบสกับคอลเลกเตอร์ ซึ่งสามารถหาอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ (β) ได้จาก

$$\beta = I_C / I_B \quad (2.4)$$

ส่วนย่านบริเวณคัตออฟ คือขอบเขตต่ำสุดของย่านแอกทีฟ จะไม่มีการไหลของกระแสอิมิตเตอร์ เนื่องจากมีกระแสคอลเลกเตอร์น้อยมากๆ

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีลักษณะการทำงานคล้ายกับคอมพิวเตอร์โดย โดยหลักๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีส่วนของการทำงานซึ่งประกอบด้วย ส่วนหลักๆคือ ส่วนการประมวลผลและหน่วยความจำการรับสัญญาณจากวงจรหรืออุปกรณ์ภายนอกเพื่อประมวลผล และการส่งสัญญาณที่ประมวลผลแล้ว ไปควบคุมอุปกรณ์หรือวงจรภายนอกตามโปรแกรมที่เราเขียนไว้ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับของไมโครคอนโทรลเลอร์ และการออกแบบวงจรเพิ่มเติมให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวอย่างเช่น การแปลงค่า ดิจิตอล เป็นอนาล็อก หรือ อนาล็อกเป็นดิจิตอล ในรูปของสัญญาณขาออก เพื่อใช้ประโยชน์ในสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ผล หรือนำค่าสัญญาณ เพื่อไปใช้ในวงจรภายนอกเพื่อสั่งงานอุปกรณ์ให้ทำงานหรือหยุดทำงานตามโปรแกรมที่ได้สร้างไว้ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

อาร์ดูโน้ (Arduino) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดหนึ่ง ที่ถูกพัฒนาให้มีการใช้งาน และการเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ง่ายขึ้นและเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นการใช้งาน โดยตัวของ อาร์ดูโน้ เองถูกพัฒนาและต่อยอดอย่างรวดเร็วเนื่องจากการพัฒนาแบบเปิดจึงมีตัวอย่างและโครงการที่พัฒนาจาก อาร์ดูโน้อย่างแพร่หลาย

2.3.1 การศึกษาความสามารถและคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์

อาร์ดูโน้ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดหนึ่งในตระกูล เอวีอาร์ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับคำศัพท์และส่วนประกอบที่เกี่ยวกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับความหมายของความสามารถซึ่งประกอบด้วย

ก. หน่วยประมวลผลกลาง เป็นส่วนประกอบหลักในไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีหน้าที่ในการทำงานเกี่ยวกับการประมวลผลเพื่อตอบสนองกับโปรแกรมที่ได้เขียนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยขนาดความจำคือตัวกำหนดความละเอียดในการประมวลผล ซึ่งมีหน่วยเป็นบิต

ข. หน่วยความจำ ประกอบไปด้วย หน่วยความจำชั่วคราว คือ ชนิดของหน่วยความจำรองในการเก็บข้อมูลก่อนที่จะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผลหลักคือ หน่วยประมวลผลกลาง และข้อมูลจะมีการรับและล้างอยู่ตลอดโดยจะทำงานขนาดที่มีไฟเลี้ยงเท่านั้น หน่วยความจำโปรแกรม มีหน้าที่ในการเก็บโปรแกรมที่เขียนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเป็นคำสั่งในการประมวลผลของหน่วยประมวลผลกลาง

ค. ช่องรับสัญญาเข้าและออก แบบดิจิทัล เป็นช่องของการรับส่งสัญญาที่เป็นดิจิทัลที่ส่งค่าจากวงจรมานอกหรืออุปกรณ์ตัวรับรู้ ที่ทำการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำไปประมวลผล หรือเป็นสัญญาณด้านนอก สำหรับส่งให้อุปกรณ์ที่ต้องการจะควบคุมทำงาน หรือหยุดทำงานตาม โปรแกรมที่ได้เขียนไว้

ง. ช่องสัญญาเข้าแบบอนาล็อก สัญญาขาเข้าที่มีค่าจากวงจรมานอกที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับค่าและนำไปประมวลผลตามโปรแกรมที่ได้เขียนไว้

จ. อุปกรณ์แปลงสัญญาอนาล็อกเป็นดิจิทัล เป็นความสามารถในการแปลงค่าอินพุตที่เป็นสัญญา อนาล็อกเป็นสัญญาดิจิทัลเพื่อเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปประมวลผลเพื่อคำนวณหรือแสดงค่าผ่านอุปกรณ์การแสดงผลภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3.2 การศึกษาเกี่ยวกับการพื้นฐานเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

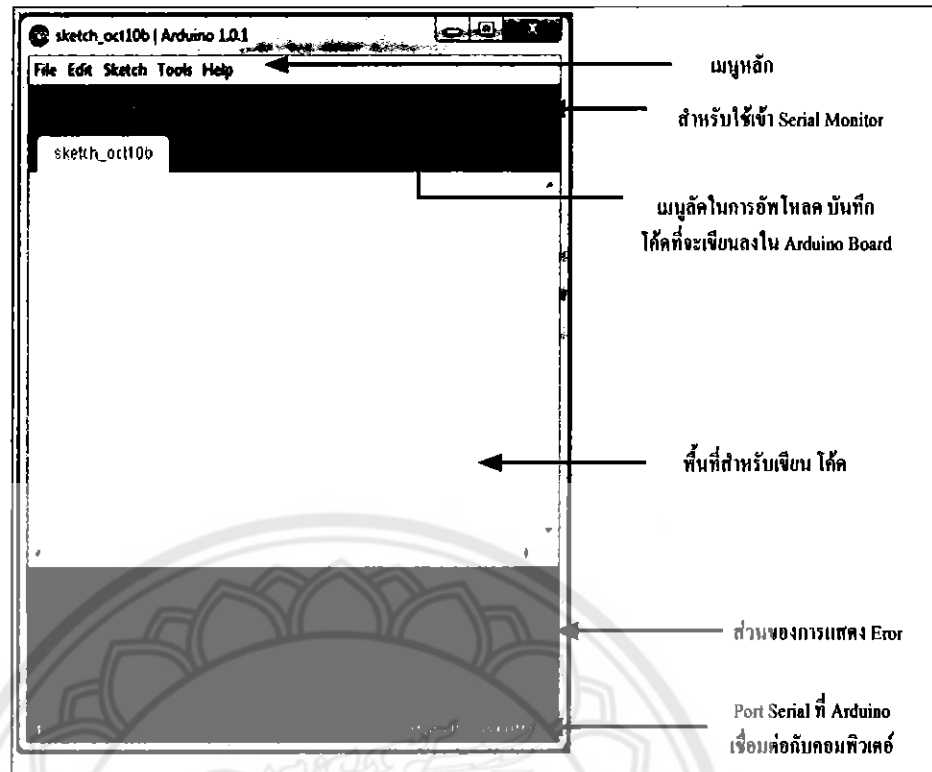
ก. เมนูไฟล์ จะประกอบไปด้วย เมนูในการ บันทึก เปิดไฟล์งานที่ถูกบันทึกไว้ ตัวอย่างของโค้ดที่จะเขียนลงไมโครคอนโทรลเลอร์ คำสั่งเกี่ยวกับการพิมพ์โค้ด เมนูการอัปเดตโปรแกรม

ข. เมนูแก้ไข ประกอบด้วยเมนูเกี่ยวกับการใช้งานในการพิมพ์

ค. เมนูสเก็ทซ์ เป็นเมนูที่ใช้เกี่ยวกับการจัดการไฟล์ก่อนเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบด้วยเมนูในการตรวจสอบโค้ดและเปลี่ยนภาษาซี เป็นภาษาเครื่องก่อนที่จะอัปเดตลงไมโครคอนโทรลเลอร์

ง. เมนูเครื่องมือ ประกอบด้วยเมนูสำหรับการจัดชุดคำสั่ง เลือกชนิดของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เลือกการเชื่อมต่อสำหรับการรับและส่งสัญญาดิจิทัลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ และคอมพิวเตอร์

จ. เมนูช่วยเหลือ เมนูสำหรับการช่วยเหลือในการใช้งานโปรแกรม



รูปที่ 2.10 หน้าจอการใช้งานโปรแกรม Arduino 1.0.1

2.3.3 ข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATmega328

สำหรับการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในโครงการนี้มีคุณสมบัติดังนี้

- ก. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำงานแบบ 8 บิต ตระกูล เอวีอาร์
- ข. สามารถใช้แรงดันจากบอร์กระดับแรงดัน 5 โวลต์ และ 3.3 โวลต์
- ค. มีพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต จำนวน 14 พอร์ต ซึ่งมี 6 พอร์ตเป็นแบบ PWM
- ง. มีพอร์ตอนาล็อกอินพุต 6 พอร์ต
- จ. มีอุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์
- ฉ. ความจำชั่วคราวขนาด 32 กิโลไบต์
- ช. ความจำโปรแกรมขนาด 1 กิโลไบต์
- ซ. สัญญาณนาฬิกา 16 เมกะเฮิร์ตซ์

2.4 โปรแกรมแมทแลป

โปรแกรมแมทแลป เป็นโปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้งานทางวิศวกรรมศาสตร์ หรือวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีคำสั่งและฟังก์ชันที่ช่วยในการทำคำนวณค่าพร้อมทั้งคำสั่งในการจัดการทางคณิตศาสตร์ การแก้ปัญหาค่าที่ซับซ้อน รวมถึงการสร้างกราฟและจัดเก็บข้อมูลที่รับจากผู้ใช้งานเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลตามคำสั่งที่ได้เขียนโดยผู้ใช้งานเอง

ส่วนของการเขียนโปรแกรมสำหรับการประกาศตัวแปร คำสั่งในการคำนวณ ซึ่งมีหลากหลายในการเลือกใช้ไม่ว่าจะเป็นคำสั่งคำนวณพื้นฐาน การคำนวณผ่านคำสั่งโปรแกรมที่เขียนในรูปแบบ ชุดคำสั่งวน การใช้คำสั่งเพื่อคำนวณด้วยเอ็มไฟล์ เพื่อให้มีตัวเลือกในการใช้งานและความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหาได้มากขึ้น รวมทั้งสร้างกราฟจากข้อมูลที่ป้อนจากผู้ใช้งานหรือสามารถทำงานร่วมการส่งข้อมูลสำหรับ อาร์คูโน ได้ผ่านการสื่อสารแบบอนุกรม

หน้าต่างส่วนต่อประสานกราฟกับผู้ใช้ ระบบการพัฒนาการรูปแบบใช้งานของโปรแกรมแมทแลป เพื่อสร้างรูปแบบโปรแกรมที่คำนวณโดยคำสั่งจากโปรแกรมแมทแลป ให้มีการใช้งานง่ายและสะดวกขึ้น



บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

การทำงานของเครื่องวัดและวิเคราะห์คุณลักษณะกระแส-แรงดัน ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำพื้นฐาน สามารถแบ่งส่วนการทำงานของเครื่องวัดออกเป็น 3 ส่วนหลักๆคือ

วงจรวัดที่ใช้ในโครงการจะประกอบด้วย วงจรภาคจ่ายไฟ วงจรสำหรับสร้างสัญญาณแรงดันอ้างอิง วงจรวัดไดโอด วงจรวัดทรานซิสเตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างวงจรวัดและคอมพิวเตอร์เพื่อจะนำข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์ในส่วนของโปรแกรมที่ใช้งานผ่านส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมแมทแลบในโครงการนี้

ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน สร้างจากโปรแกรมแมทแลบทำหน้าที่เป็นหน้าต่างการใช้งานในจอคอมพิวเตอร์เพื่อแสดง ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลที่ได้รับจากไมโครคอนโทรลเลอร์



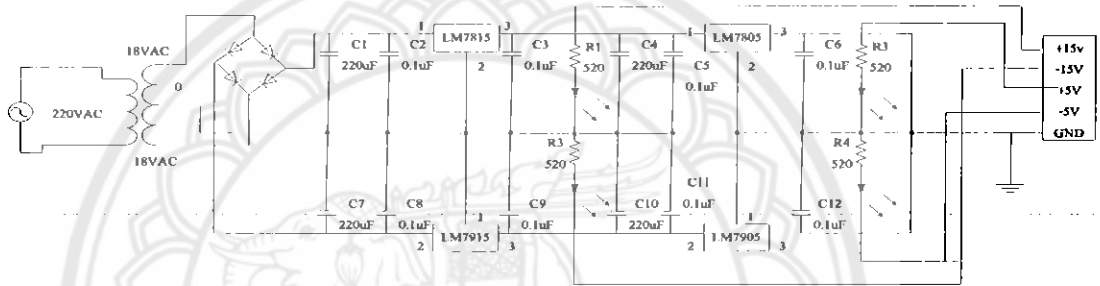
รูปที่ 3.1 แผนผังการรับส่งข้อมูลของระบบ

3.1 วงจรวัดที่ใช้ในโครงการ

การออกแบบวงจรวัดในโครงการนี้ สามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ วงจรภาคจ่ายไฟและวงจรที่ใช้สำหรับสร้างแรงดันอ้างอิง

3.1.1 วงจรภาคจ่ายไฟ

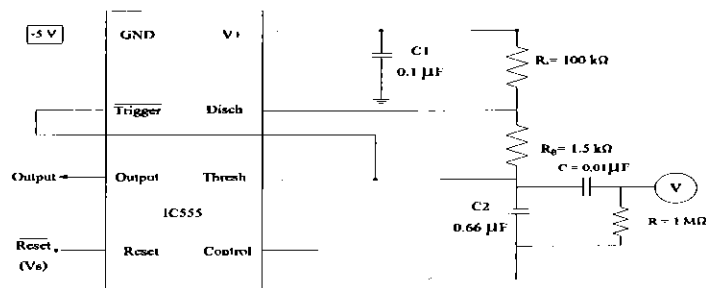
ในโครงการนี้ได้ทำการสร้างวงจรภาคจ่ายไฟระดับ แรงดัน ± 15 โวลต์กระแสตรง และ ± 5 โวลต์กระแสตรง เพื่อให้เครื่องวัดสามารถใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์กระแสสลับได้



รูปที่ 3.2 วงจรภาคจ่ายไฟ

3.1.2 วงจรสำหรับสร้างแรงดันอ้างอิง

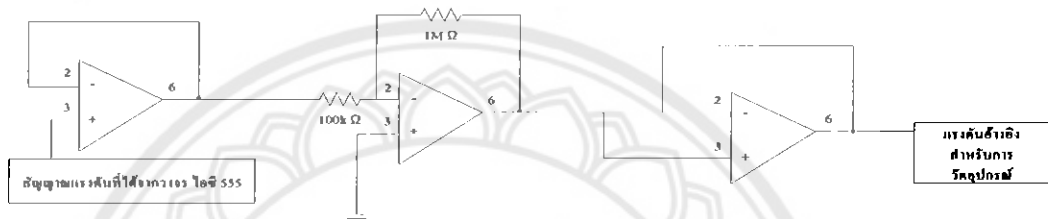
การสร้างแรงดันอ้างอิงเพื่อทำการจ่ายแรงดันให้กับ ไดโอด หรือ ทรานซิสเตอร์ เริ่มจากการสร้างสัญญาณแรงดันอ้างอิงด้วย ไอซี หมายเลข NE555 แรงดันที่นำมาใช้ในโครงการนี้คือแรงดันที่ตกคร่อมตัวประจุที่ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ โดยสัญญาณแรงดันที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณฟันเลื่อย ซึ่งนำมาเป็นสัญญาณแรงดันอ้างอิงในการวัด



รูปที่ 3.3 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงจาก ไอซี หมายเลข NE555

3.1.3 วงจรตามสัญญาณแรงดันและวงจรถยายสัญญาณแรงดันจากออปแอมป์

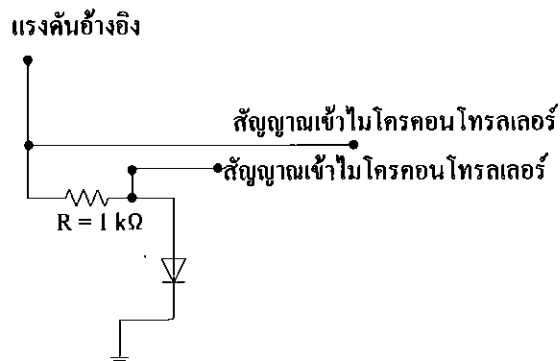
เนื่องจากสัญญาณแรงดันอ้างอิงที่ได้ มีขนาดของสัญญาณ ไม่เพียงพอที่จะทำการวัด อุปกรณ์จึงต้องมีการสร้างวงจรถยายสัญญาณ โดยใช้ ออปแอมป์มาขยายสัญญาณให้มีขนาดที่เพียงพอต่อการนำมาวัดอุปกรณ์ และมีการใช้วงจรตามสัญญาณแรงดันที่สร้างจากออปแอมป์ เพื่อให้ค่าสัญญาณแรงดันด้านออกมีค่าเท่ากับสัญญาณแรงดันด้านเข้า



รูปที่ 3.4 วงจรตามสัญญาณแรงดันและวงจรถยายสัญญาณแรงดันจากออปแอมป์

3.3.4 วงจรวัดไดโอด

สัญญาณแรงดันที่นำมาขยายเรียบร้อยแล้ว ซึ่งมีขนาดของสัญญาณแรงดันที่เพียงพอกับการวัดอุปกรณ์ในโครงการนี้ โดยสำหรับ ไดโอดแล้วเราใช้สัญญาณแรงดันอ้างอิงเป็นสัญญาณขาเข้า และทำการต่อตัวต้านทานอนุกรมกับไดโอด เพื่อทำการวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านในวงจร โดยนำแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานนั้นมาหาค่ากระแสที่ไหลผ่าน ซึ่งค่ากระแสที่ได้นั้นจะเป็นกระแสที่ไหลผ่าน ไดโอดเช่นกัน นำค่ากระแสและแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดมาสร้างกราฟคุณลักษณะ กระแส-แรงดัน พร้อมแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยผ่านส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

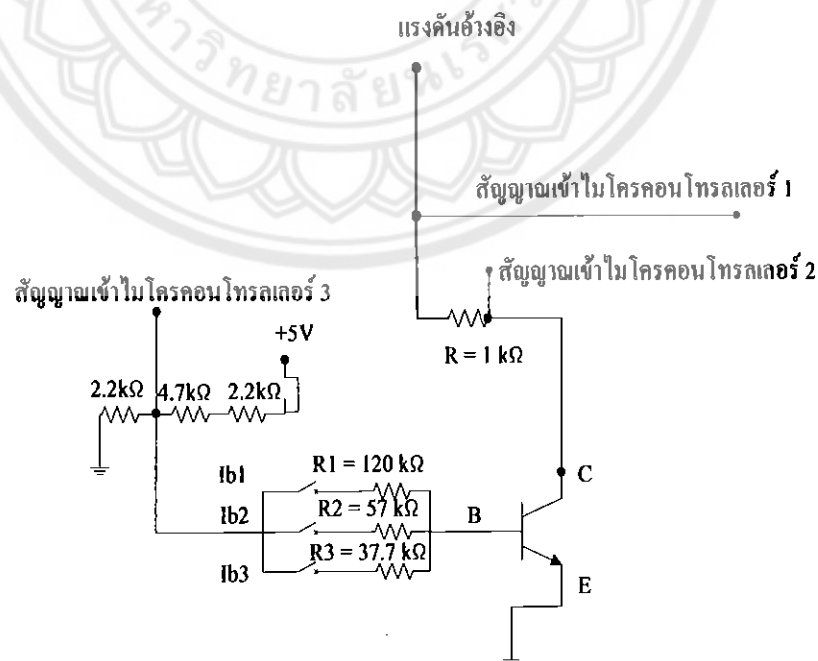


รูปที่ 3.5 วงจรวัดไดโอด

3.3.5 วงจรวัดทรานซิสเตอร์

สำหรับการวัดทรานซิสเตอร์นั้น จำเป็นต้องมีการกระตุ้นกระแสที่ขั้วเบสของทรานซิสเตอร์ก่อน เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน โดยเราทำการสร้างกระแสกระตุ้นด้วยการนำแหล่งจ่ายไฟมาต่อเข้ากับขั้วเบสของทรานซิสเตอร์ ในโครงงานนี้เราสามารถปรับค่ากระแสที่ไหลผ่านที่ขั้วเบสของทรานซิสเตอร์ได้ทั้งหมด 3 ค่า และนำสัญญาณแรงดันอ้างอิงที่สร้างขึ้นมาเข้ากับขั้วคอลเลกเตอร์ ส่วนขั้วอิมิตเตอร์ลงกราวด์ เมื่อเกิดกระแสเบสแล้วจะมีการนำกระแสที่ขั้วของคอลเลกเตอร์ เราสามารถวัดค่ากระแสคอลเลกเตอร์ได้จากการนำตัวต้านทานมาต่ออนุกรมเข้ากับขั้วคอลเลกเตอร์ แล้วนำค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานนั้นมาหาค่ากระแสที่ไหลผ่านที่ขั้วคอลเลกเตอร์ จากนั้นนำค่ากระแสคอลเลกเตอร์กับค่าแรงดันระหว่างขั้วคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ มาสร้างกราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน ของทรานซิสเตอร์ พร้อมแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ผ่านส่วนคิดคํากับผู้ใช้งาน

การวัดทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี มีส่วนที่ต่างจากชนิด เอ็นพีเอ็น คือ แรงดันที่ป้อนให้ที่ขั้วเบสของทรานซิสเตอร์ วงจรวัดทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น สามารถนำค่าแรงดันที่ได้จากการวัดเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง แต่ทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี ต้องมีการกลับขั้วแรงดันตามด้วยวงจรจากรูป 3.9 ของสัญญาณแรงดันที่วัดได้ก่อนเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถรับค่าสัญญาณแรงดันที่เป็นค่าลบได้

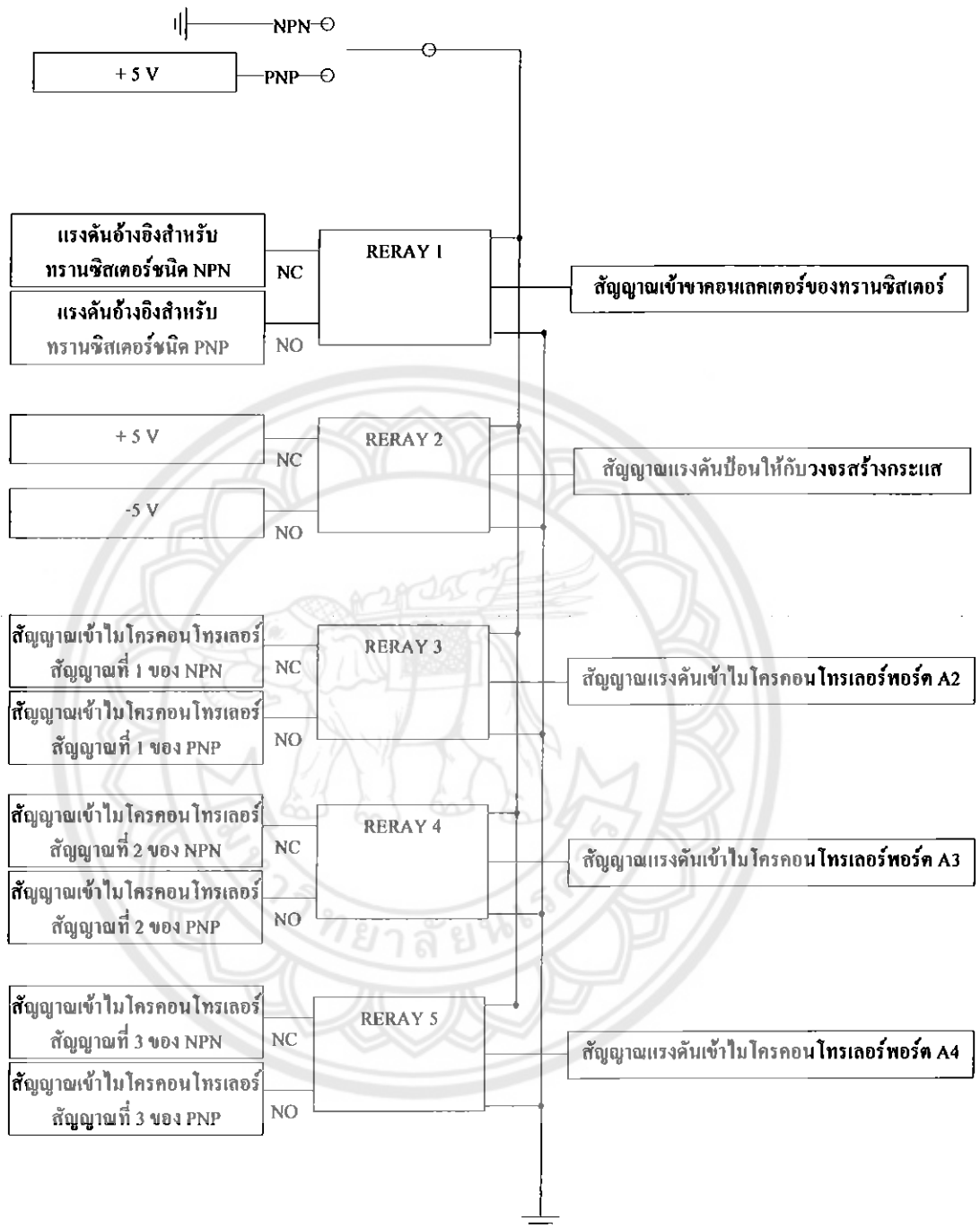


รูปที่ 3.6 วงจรวัดค่ากระแส-แรงดัน สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น

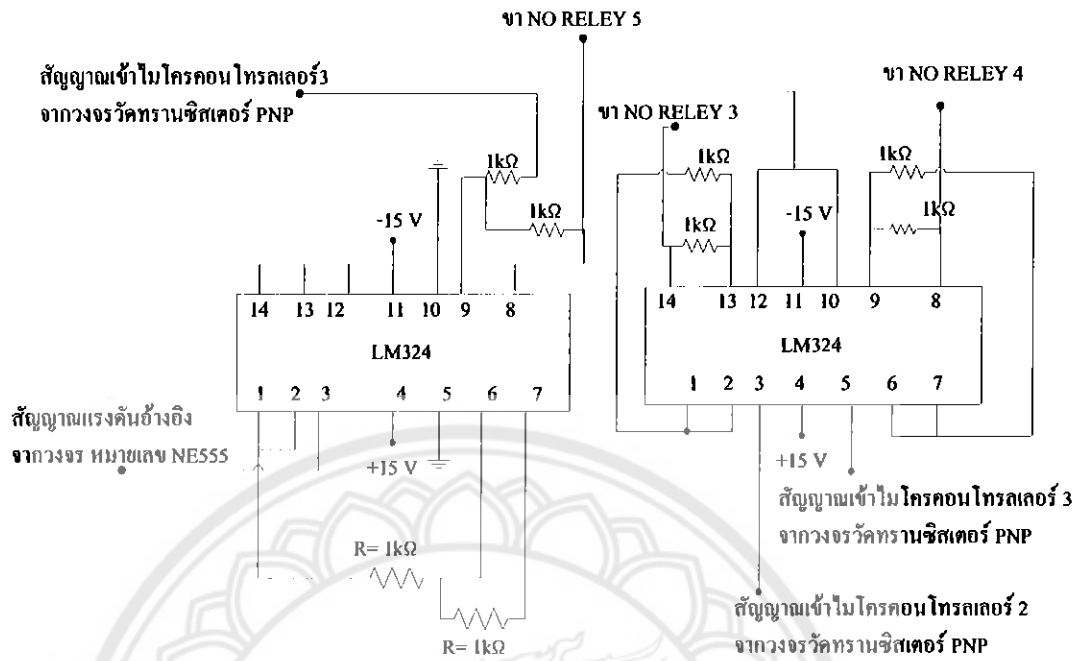


รูปที่ 3.7 วงจรวัดค่ากระแส-แรงดัน สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี

สำหรับการเปลี่ยนการวัดอุปกรณ์ในส่วนของทรานซิสเตอร์จะต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณในการวัดและสัญญาณขาเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์จึงจำเป็นต้องมีสวิตช์ในการเปลี่ยนระหว่างการวัดชนิด เอ็นพีเอ็น และพีเอ็นพี โดยแสดงไว้ในรูปที่ 3.8 ซึ่งเป็นวงจรรีเลย์สำหรับการเปลี่ยนชนิดของทรานซิสเตอร์ที่ทำการวัด



รูปที่ 3.8 วงจรรีเลย์สำหรับการเปลี่ยนการวัดชนิดของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 3.9 วงจรสำหรับกลับขั้วสัญญาณแรงดันในการวัดทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี

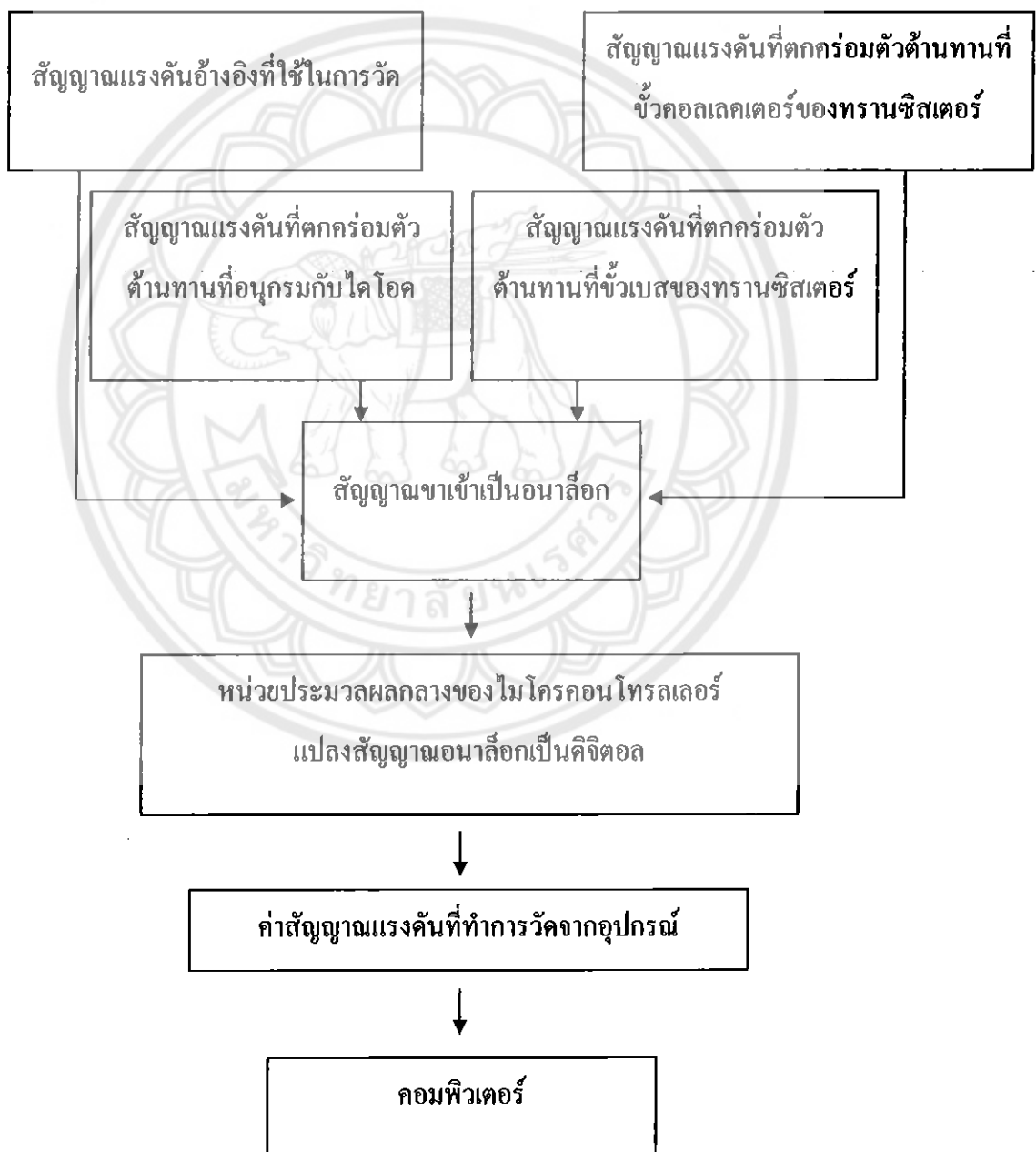


รูปที่ 3.10 ภาพวงจรรวมของเครื่องมือวัดในโครงการ

3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวกลางระหว่าง วงจรวัดและส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยมีการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง ยูเอสบี

การนำค่าแรงดันจากวงจรที่เป็นสัญญาณอนาล็อกมาเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำค่าแรงดันมาวิเคราะห์หาค่ากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ที่ทำการวัด แล้วนำผลมาแสดงเป็นกราฟคุณลักษณะ กระแส-แรงดัน ของอุปกรณ์ที่ทำการวัด



รูปที่ 3.11 แผนผังการส่งสัญญาณที่วัดได้ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์

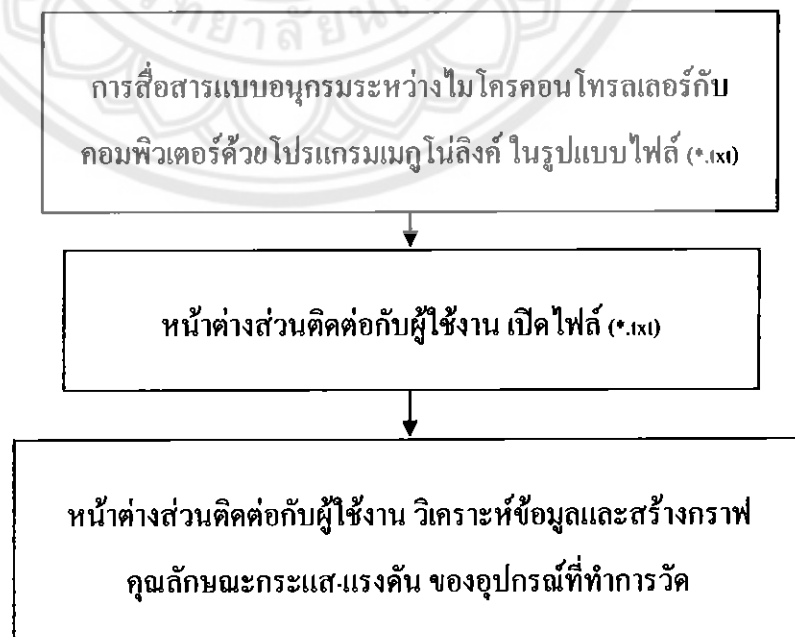
3.3 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน พร้อมแสดง กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน และ ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณจากวงจรวัดที่เป็นสัญญาณแรงดัน มีทั้งหมด 4 สัญญาณ ได้แก่

- ก. สัญญาณแรงดันอ้างอิงที่ใช้ในการวัด ไคโอด หรือ ทรานซิสเตอร์
- ข. สัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับไอโอด
- ค. สัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่อกับขั้วเบสของทรานซิสเตอร์
- ง. สัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่อกับขั้วคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณแรงดันแต่ละสัญญาณจากวงจรวัดที่เป็นสัญญาณอนาล็อกแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยนำค่าที่วัดได้มาประมวลผลผ่านคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างกราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน ของอุปกรณ์ที่ทำการวัด พร้อมนำค่าที่วัดได้มาหาค่าพารามิเตอร์ และแสดงผลผ่านส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

การสร้างกราฟกระแส-แรงดัน โดยใช้โปรแกรมแมทแลป คอมพิวเตอร์จะรับสัญญาณแรงดันที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์และนำค่ามาวิเคราะห์หาค่ากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ที่ทำการวัด เพื่อนำมาสร้างกราฟกระแส-แรงดัน ผ่านชุดคำสั่งในการสร้างกราฟของโปรแกรมแมทแลป ซึ่งทำงานร่วมกับโปรแกรมเมกนูลิงค์ (MegunoLink)



รูปที่ 3.12 แผนผังการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมแมทแลป

บทที่ 4

ผลการทดสอบ และการวิเคราะห์ผล

4.1 การทดลองวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง

จุดประสงค์ในการทดลอง เพื่อวัดค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากวงจรที่สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง

การทดลองที่ 4.1 วัดสัญญาณด้วยออสซิลโลสโคปเพื่อดูแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา 6 ของไอซีหมายเลข NE555



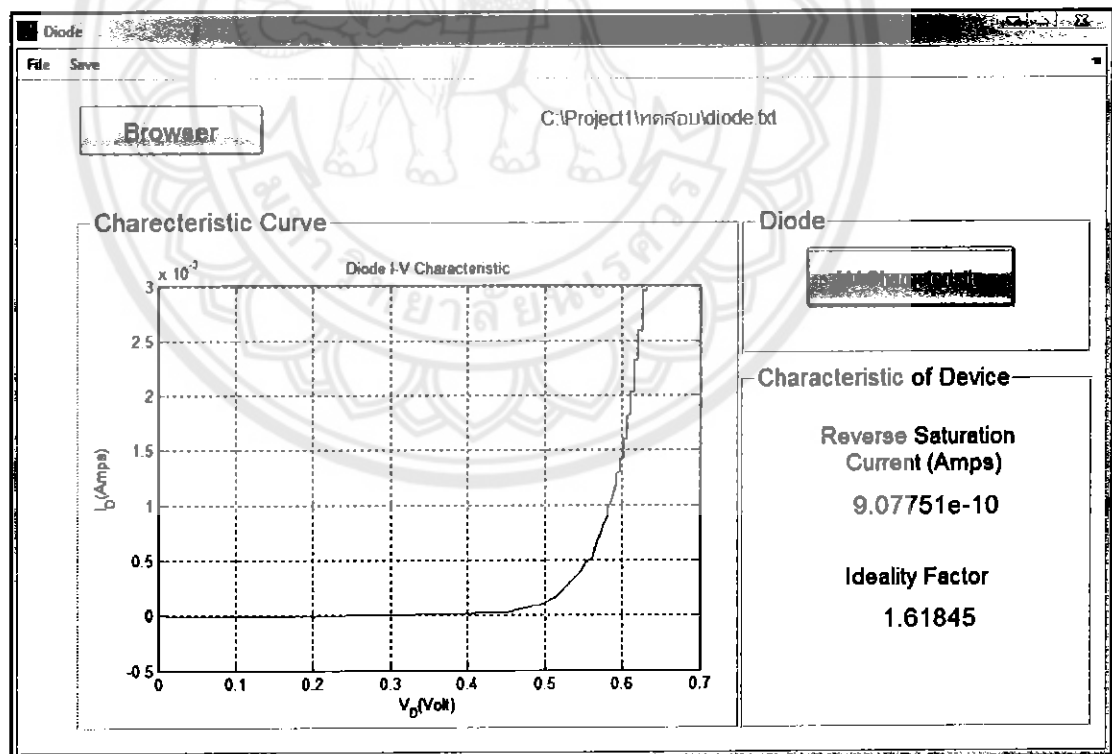
รูปที่ 4.1 รูปสัญญาณที่ออกจากวงจรสร้างสัญญาณอ้างอิง

จากรูปที่ 4.1 สัญญาณแรงดันที่วัดได้มีค่าสูงสุดอยู่ที่ +4 โวลต์ การทดลองวัดสัญญาณแรงดันที่ออกมา พบว่าแรงดันด้านลบหายไป เนื่องจากการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น ไม่สามารถรับสัญญาณแรงดันที่มีค่าติดลบได้ ดังนั้นสัญญาณแรงดันที่วัดได้จากการทดลองนี้เป็นไปตามสัญญาณดังรูปที่ 4.1

4.2 การทดลองวัดและวิเคราะห์ไดโอดหมายเลข 1N4001

จุดประสงค์ในการทดลอง เพื่อทดสอบหาค่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอด โดยการวัดค่าสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับไดโอด ซึ่งใช้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงมาทำการทดสอบ และนำค่าสัญญาณแรงดันที่วัดได้มาวิเคราะห์เพื่อสร้างกราฟของคุณลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ของไดโอด

การทดลองที่ 4.2 การทดสอบวัดค่าสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับไดโอด โดยนำมาวิเคราะห์แล้วแสดงผลผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้งาน



รูปที่ 4.2 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์ผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้งานของไดโอด

จากรูปที่ 4.2 ที่สร้างจากส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน แสดงกราฟกระแส-แรงดัน และค่าพารามิเตอร์ของไดโอด และนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบวัดไดโอดตัวเดียวกันกับเครื่อง Curve Tracer ของ HAMEG รุ่น HM6042



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบวัดไดโอดกับเครื่อง Curve Tracer ของ HAMEG รุ่น HM6042

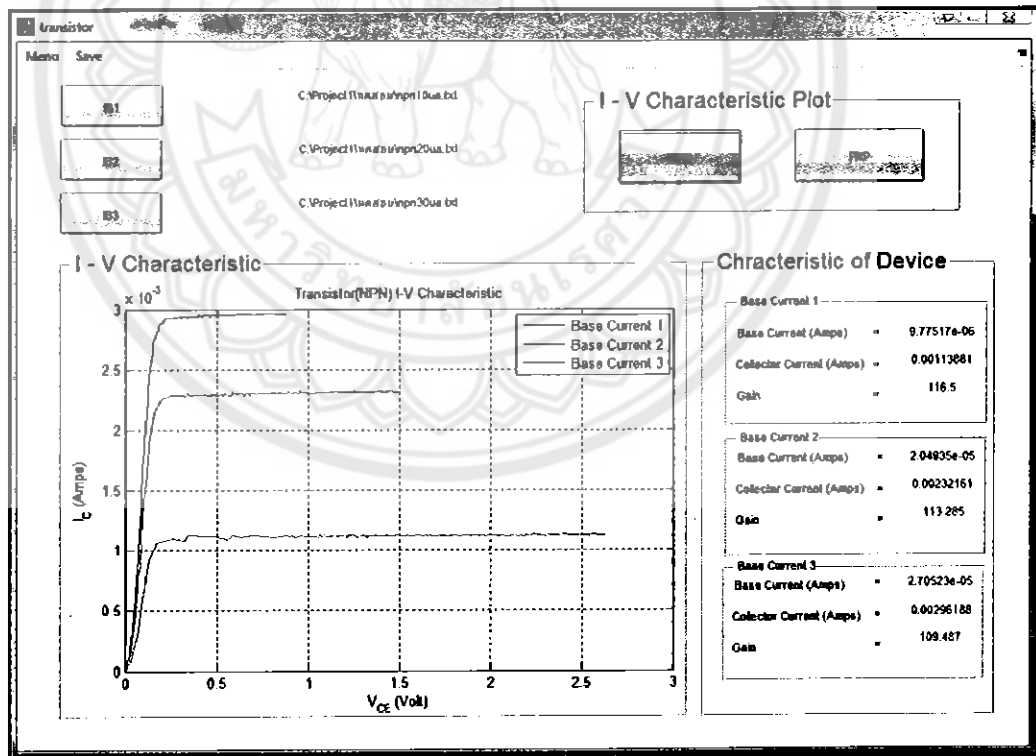
จากรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 พบว่าลักษณะของกราฟที่ได้จากโครงการและเครื่อง Curve Tracer เมื่อทำการเปรียบเทียบมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยทำให้พบข้อจำกัดของโครงการนี้ในเรื่องพิกัดกระแส และมีสัญญาณรบกวนที่ทำให้กราฟไม่เรียบเหมือนกับเครื่อง Curve Tracer

4.3 การทดลองวัดและวิเคราะห์ทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น หมายเลข 2N2222A

จุดประสงค์ในการทดลอง เพื่อวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านที่ขั้วคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ โดยทำการวัดค่าสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่อกับขั้วคอลเลกเตอร์ ซึ่งใช้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงมาทดสอบ โดยมีการกระตุ้นการทำงานของทรานซิสเตอร์ด้วยกระแสเบส และนำค่าสัญญาณที่วัดได้มาวิเคราะห์เพื่อสร้างกราฟของคุณลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ของทรานซิสเตอร์

การทดลองที่ 4.3 การวัดสัญญาณแรงดันเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ของทรานซิสเตอร์ มีดังนี้

- 1) การวัดสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่อกับขั้วคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์
- 2) การวัดสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออยู่กับขั้วเบสของทรานซิสเตอร์



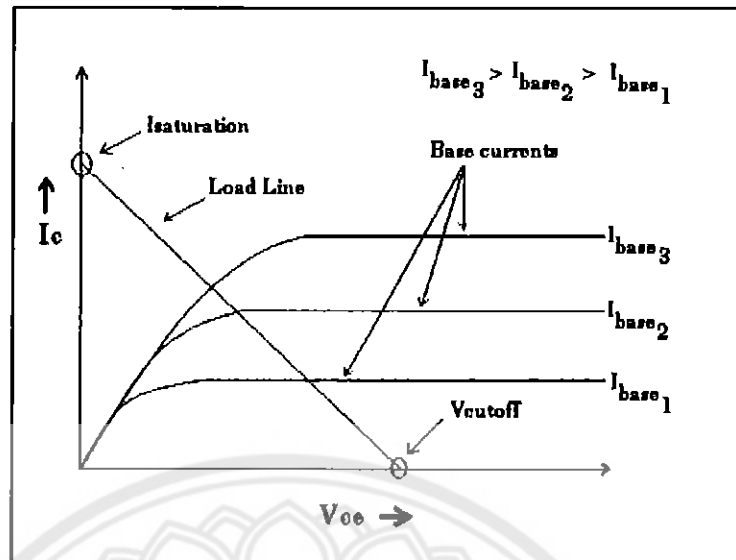
รูปที่ 4.4 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์ผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้งานของทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น หมายเลข 2N2222A

จากรูปที่ 4.4 ที่สร้างจากส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน แสดงกราฟกระแส-แรงดัน และค่าพารามิเตอร์ของ ทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น หมายเลข 2N2222A และนำมาเปรียบเทียบกับกราฟทดสอบวัด ทรานซิสเตอร์ตัวเดียวกันกับเครื่อง Curve Tracer ของ HAMEG รุ่น HM6042



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบวัดทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น หมายเลข 2N2222A กับเครื่อง Curve Tracer ของ HAMEG รุ่น HM6042

จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 พบว่าลักษณะของกราฟทรานซิสเตอร์ที่วัดได้จากโครงการงาน และเครื่อง Curve Tracer มีความแตกต่างกันเนื่องจากผลกระทบของเส้นโหลด โดยเครื่องวัดที่สร้าง ในโครงการงานนี้ ใช้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงคงที่จ่ายให้กับทรานซิสเตอร์ทางด้านขั้วคอลเลกเตอร์ แต่มีการปรับค่ากระแสเบสที่ใช้ในการกระตุ้นทรานซิสเตอร์ต่างกัน จึงทำให้ได้กราฟลักษณะดังรูป ที่ 4.4 และจากรูปที่ 4.6 เมื่อทรานซิสเตอร์ที่นำกระแสที่ค่ากระแสสูง แรงดันจะน้อย และเมื่อ ทรานซิสเตอร์นำกระแสที่ค่ากระแสน้อย แรงดันจะสูง จึงทำให้ค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ขั้ว คอลเลกเตอร์เป็นข้อจำกัดของโครงการงานนี้



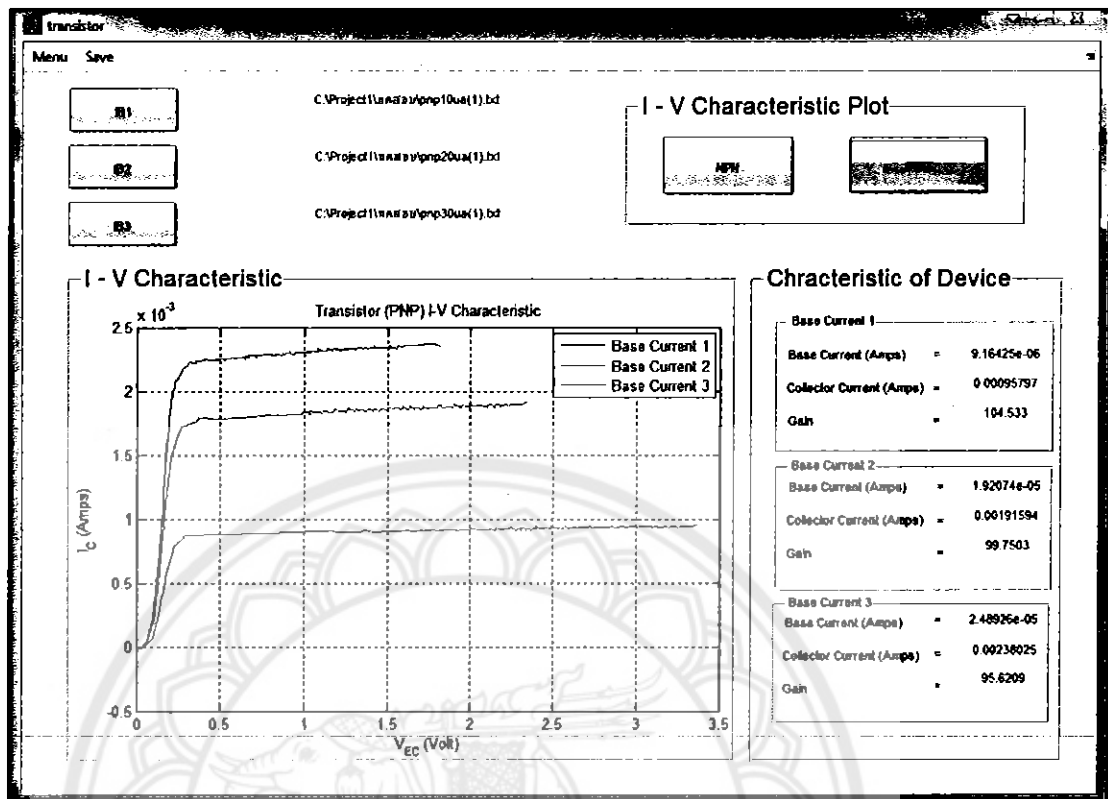
รูปที่ 4.6 ลักษณะของเส้นโหลด(Load line)ในค่ากระแสเบสที่ต่างกัน

4.4 การทดลองวัดและวิเคราะห์ทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี หมายเลข 2N3906

จุดประสงค์ในการทดลอง เพื่อวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านที่ขั้วคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ โดยทำการวัดค่าสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่อกับขั้วคอลเลกเตอร์ ซึ่งใช้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงมาทดสอบ โดยมีการกระตุ้นการทำงานของทรานซิสเตอร์ด้วยกระแสเบส และนำค่าสัญญาณที่วัดได้มาวิเคราะห์เพื่อสร้างกราฟของคุณลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ของทรานซิสเตอร์

การทดลองที่ 4.4 การวัดสัญญาณแรงดันเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ของทรานซิสเตอร์ มีดังนี้

- 1) การวัดสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่อกับขั้วคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์
- 2) การวัดสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออยู่กับขั้วเบสของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 4.7 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์ผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้งานของทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี หมายเลข 2N3906

จากรูปที่ 4.7 ที่สร้างจากส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน แสดงกราฟกระแส-แรงดัน และค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี หมายเลข 2N3906 และนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบวัดทรานซิสเตอร์ตัวเดียวกันกับเครื่อง Curve Tracer ของ HAMEG รุ่น HM6042



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบวัดทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี หมายเลข 2N3906
กับเครื่อง Curve Tracer ของ HAMEG รุ่น HM6042

จากรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 พบว่าลักษณะของกราฟทรานซิสเตอร์ที่วัดได้จากโครงการ
และเครื่อง Curve Tracer มีความแตกต่างกันเนื่องจากผลกระทบของเส้น โหลด เหมือนกันกับการ
ทดลองที่ 4.3

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผล

ในโครงการนี้ได้ทำการสร้างเครื่องมือวัดและโปรแกรมวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติ กระแส-แรงดัน ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานประเภทสารกึ่งตัวนำ โดยในโครงการนี้ทดสอบ วัด ไดโอดหมายเลข 1N4001 ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นหมายเลข 2N2222A และทรานซิสเตอร์ ชนิดพีเอ็นพีหมายเลข 2N2309 พร้อมแสดงผลกับส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานที่เขียนด้วยโปรแกรมแมท แพลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ในส่วนของการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มีการเขียน โปรแกรมด้วยภาษาซี เพื่อควบคุมการรับส่งข้อมูลระหว่างวงจรวัดกับคอมพิวเตอร์ผ่านการติดต่อ แบบอนุกรมด้วยพอร์ท ยูเอสบี ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น อาร์ดูโน้ ที่ใช้ในการรับค่าสัญญาณแรงดันจากวงจรวัดที่เป็นอนาล็อกและเปลี่ยนเป็นดิจิทัลเพื่อส่งค่า สัญญาณแรงดันที่ได้เข้าคอมพิวเตอร์ โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เมกโนลิงค์ ในการรับข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์และแสดงผล ผ่านส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานที่โครงการนี้สร้างขึ้น

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

- 1) ข้อจำกัดของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ไม่สามารถรับค่าสัญญาณแรงดันที่เป็นค่าลบได้ ทำให้ไม่สามารถวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ในขณะที่ไบอัสตาม และไบอัสย้อนกลับของ ไดโอดได้ในคราวเดียว แนวทางการแก้ไข สามารถทำได้โดยการกลับขั้วไดโอดที่ทำการวัด
- 2) ข้อจำกัดเกี่ยวกับปัญหาเรื่องเส้น โหลด เนื่องจากสัญญาณแรงดันที่ใช้อ้างอิงมีค่าคงที่ ในทุกๆ กระแสเบส จึงทำให้กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน ของทรานซิสเตอร์มีลักษณะที่เป็น ผลกระทบจากเส้นโหลด สามารถปรับปรุงได้โดยการเพิ่มแรงดันสำหรับวงจรวัด
- 3) ข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลของสัญญาณแรงดันที่ทำการวัดเพื่อนำมาวิเคราะห์ใช้เวลา ในการเก็บข้อมูลนาน และมีความซับซ้อนในการใช้งานของตัวโปรแกรมที่สร้างขึ้น สามารถพัฒนา โดยการปรับปรุงชุดคำสั่งให้มีความสามารถในการเชื่อมต่อและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเพียง โปรแกรมเดียว

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

จากเครื่องวัดที่สร้างขึ้นในโครงการนี้ สามารถพัฒนาเพื่อทำการวัดทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้าได้ และอุปกรณ์ทางเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ได้ เช่น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพาเวอร์ไดโอด เป็นต้น โดยการเพิ่มระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้น รวมถึงการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการสร้างกระแสเบสให้กับทรานซิสเตอร์ ในส่วนของการวัดไบอัสย้อนกลับสามารถทำได้ โดยใช้หลักการเลื่อนระดับสัญญาณแรงดันให้ขึ้นมาด้านบน และยังสามารถพัฒนาในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งานให้มีการใช้งานที่สะดวกยิ่งขึ้น ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์



เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกชัย มະการ. เรียนรู้เข้าใจใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล AVR ด้วย ARDUINO. กรุงเทพฯ: บริษัท อีทีที จำกัด, 2552
- [2] ลัญจกร วุฒิสัทติกุลกิจ. MATLAB การประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- [3] บริษัท อีทีที จำกัด. เอกสารประกอบการใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์. สืบค้นเมื่อ 7 มกราคม 2556, จาก <http://www.etteam.com/product2009/ET-PIC/man%20ET-BASE%20dsPIC30.pdf>
- [4] ขงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง. อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554



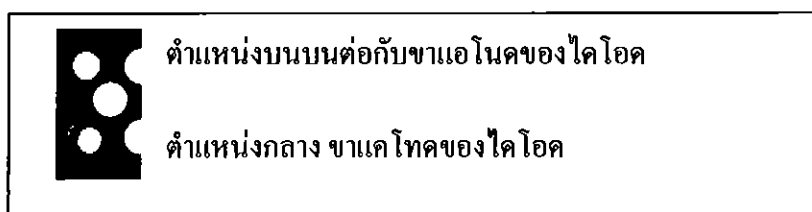
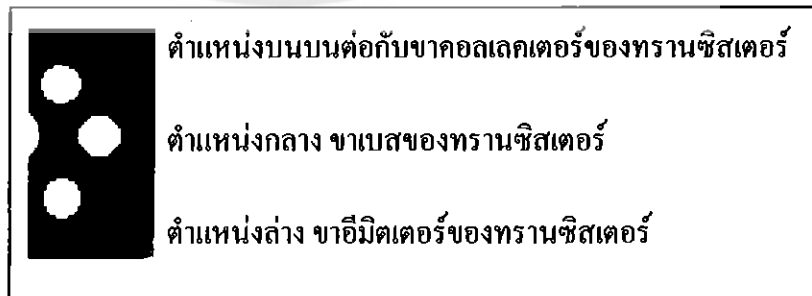
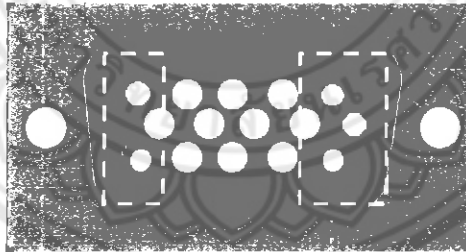
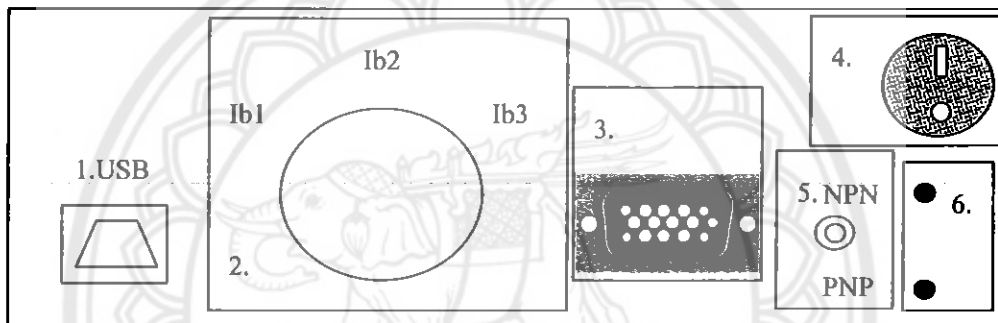


คู่มือการใช้งานอุปกรณ์เครื่องวัดและโปรแกรมวิเคราะห์จากโครงการ

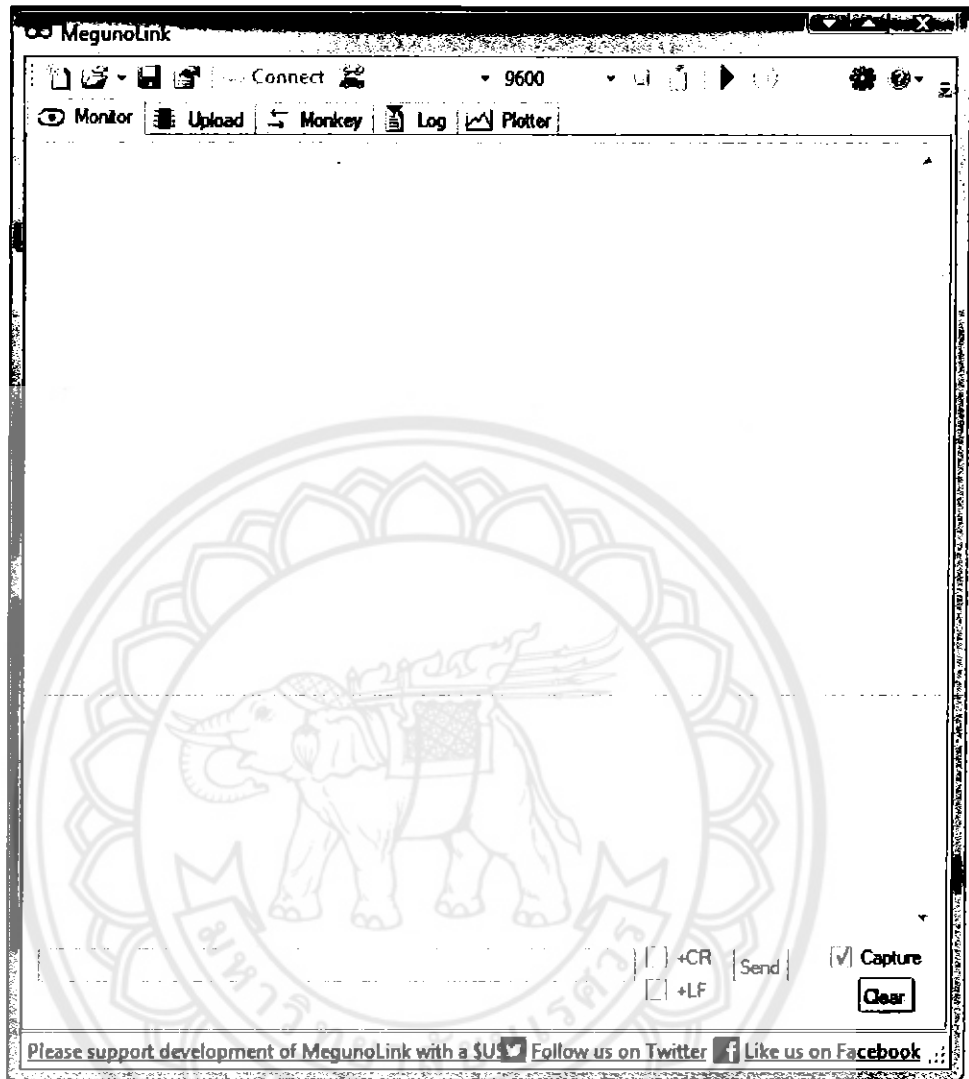
การใช้งานเครื่องวัด

ตำแหน่งของสวิทช์และการเชื่อมต่อค่าน้ำกลอง

1. ช่องต่อ USB เพื่อรับส่งข้อมูลเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์
2. สวิทช์เพื่อปรับระดับกระแสเบสสำหรับวัดทรานซิสเตอร์
3. ช่องในการวัดไดโอดและทรานซิสเตอร์
4. สวิทช์เปิด ปิดเครื่องวัด
5. สวิทช์เลือกการวัดทรานซิสเตอร์แบบ NPN หรือ PNP
6. ไฟแสดงสถานะการวัดทรานซิสเตอร์แบบ NPN (สีแดง) และ PNP (สีเขียว)



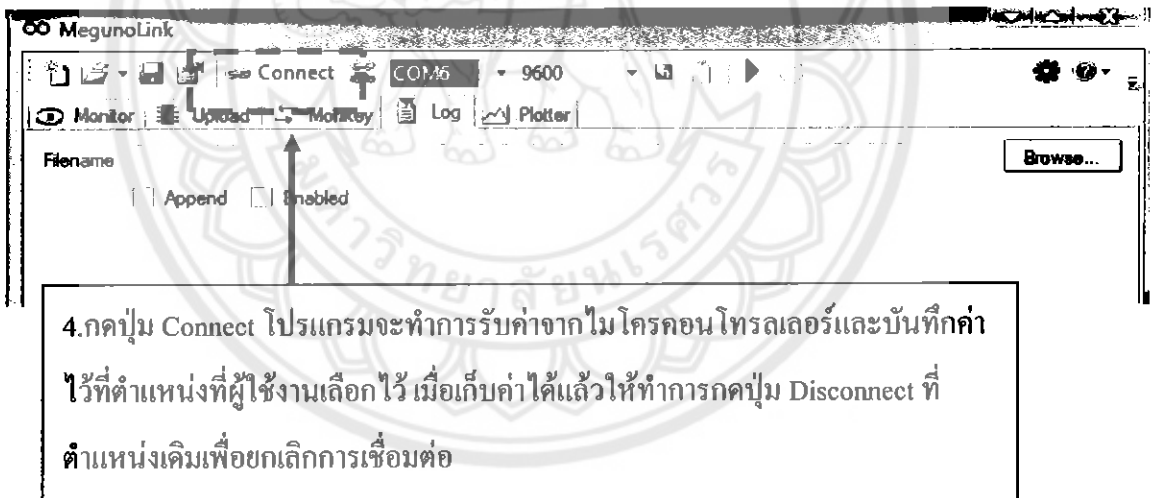
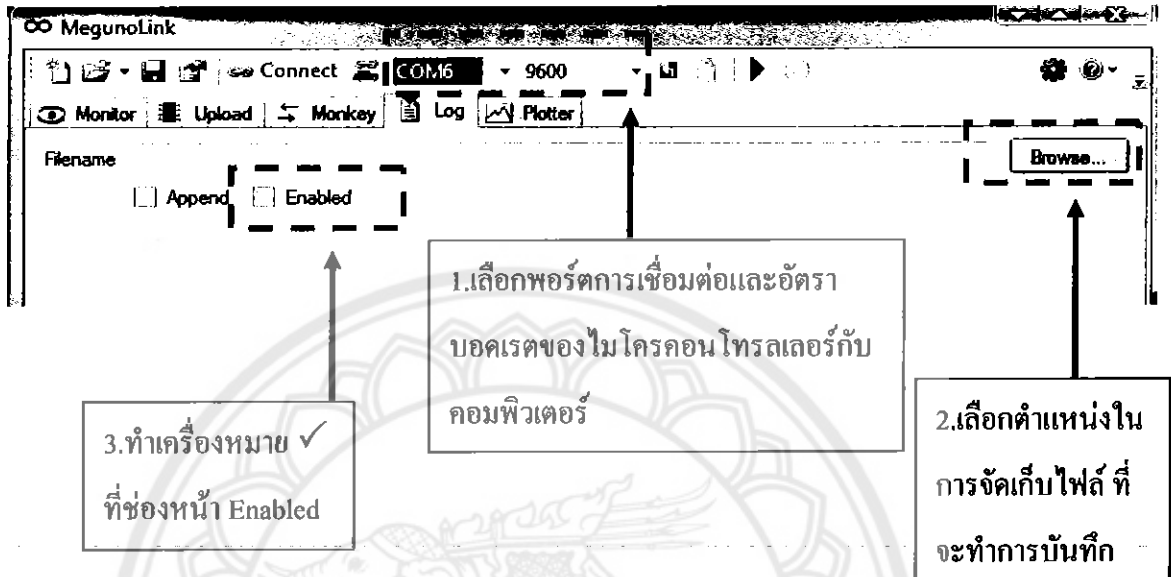
การนำข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป เมกนูลิงค์ (Megunolink)



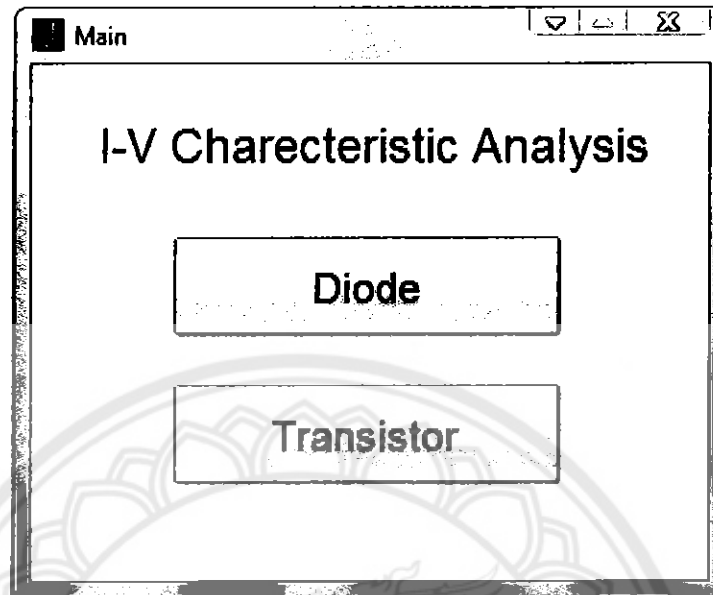
รูปที่ ก.1 หน้าจอส่วนต่างๆของโปรแกรมเมกนูลิงค์

1. การรับค่าพารามิเตอร์ไฟล์ *.txt สำหรับนำไปใช้กับโปรแกรมที่โครงการสร้างขึ้น

ทำการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ และตรวจสอบพอร์ตการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์จากนั้นทำตามขั้นตอนที่ ในรูปภาพ



2. วิธีใช้งานส่วนโปรแกรมการติดต่อกับผู้ใช้งานสร้างโดยโปรแกรมแม่แบบ

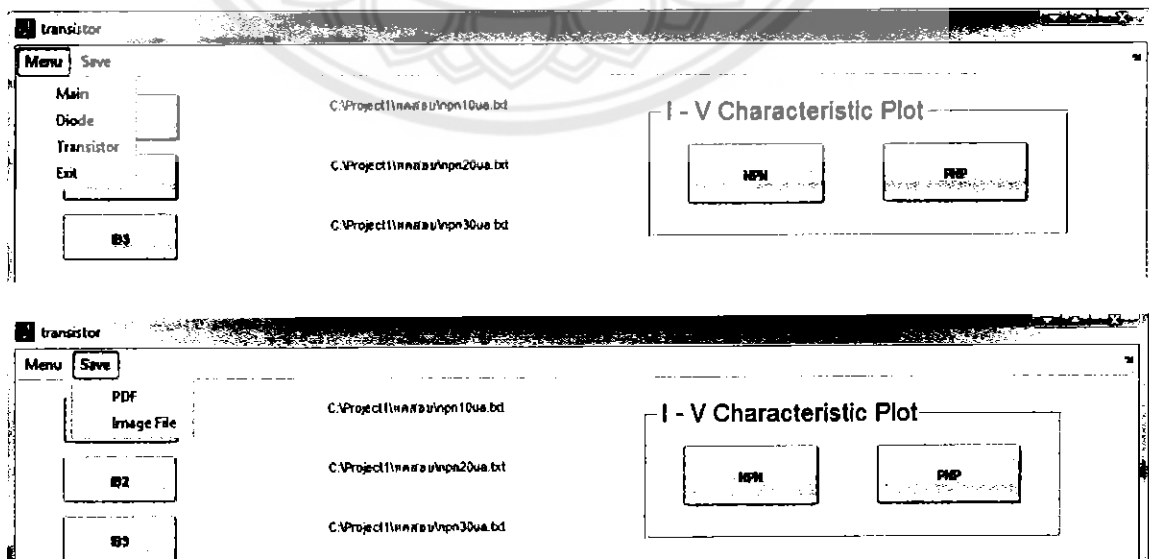


รูปที่ ก.2 หน้าจอการใช้งานโปรแกรมหลัก

ในส่วนของ โปรแกรมหน้าแรกที่ปรากฏคือเมนูสำหรับการเลือกว่าจะทำการเลือกทดสอบอุปกรณ์ชนิดใด และหน้าต่างเมนูที่สร้างไว้แบ่งเป็น

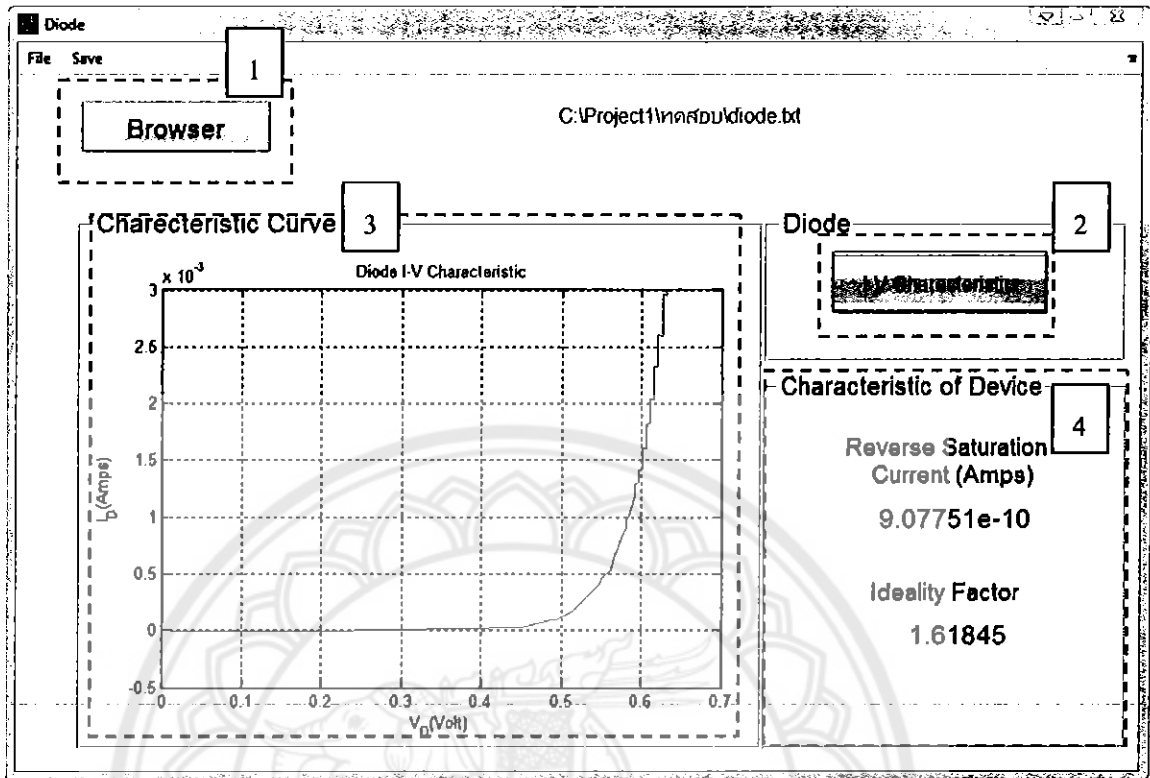
ก. เมนูทั่วไปในการเลือกการวัด

ข. เมนูสำหรับการบันทึกไฟล์



รูปที่ ก.3 แสดงเมนูในการใช้งานของโปรแกรม

ก. การวิเคราะห์ค่าไดโอดผ่านโปรแกรม

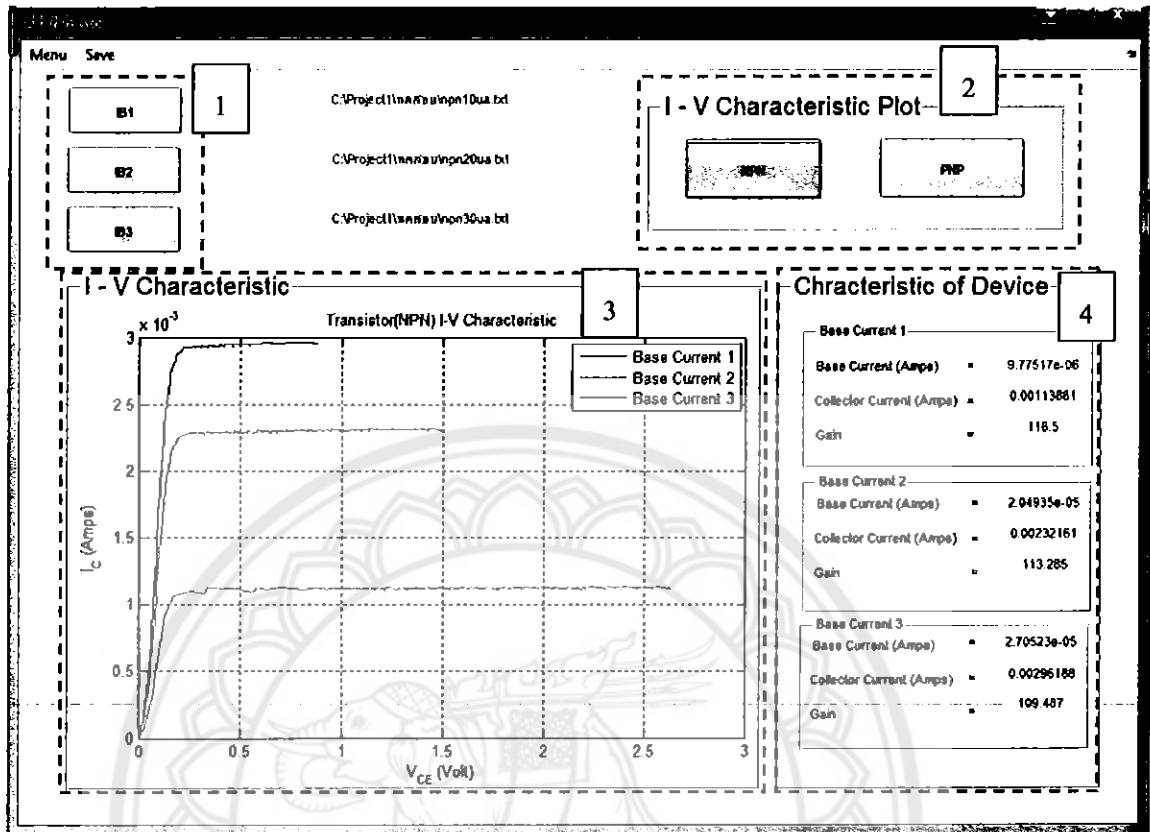


รูปที่ ก.4 แสดงส่วนการใช้งานในการวิเคราะห์ไดโอด

จากรูปที่ 5 แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

1. ตำแหน่งการเลือกไฟล์ *.txt เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟ ลักษณะสมบัติกระแสแรงดันของอุปกรณ์วัด
2. ตำแหน่งในการสั่งงานให้โปรแกรมวิเคราะห์ สร้างกราฟ และแสดงค่าพารามิเตอร์ของไดโอดที่ทำการวัด
3. บริเวณในการแสดงกราฟคุณลักษณะสมบัติ กระแส-แรงดัน ของไดโอดที่ทำการวัด
4. บริเวณในการแสดงค่าพารามิเตอร์ของไดโอดที่ทำการวัด

ข. การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ผ่านโปรแกรม



รูปที่ ก.5 แสดงส่วนการใช้งานในการวิเคราะห์ไดโอด

จากรูปที่ 6 แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

1. ตำแหน่งการเลือกไฟล์ *.txt เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟ ลักษณะสมบัติกระแสแรงดันของอุปกรณ์วัด จำเป็นต้องเลือกค่ากระแสเบสให้ครบทั้ง 3 ค่าและเป็นค่าเดียวกับที่ปรับไว้ในเครื่องวัดของโครงการงาน
2. ตำแหน่งในการสั่งงานให้โปรแกรมวิเคราะห์ สร้างกราฟ และแสดงค่าพารามิเตอร์ของไดโอดที่ทำกรวัด เลือกชนิดของทรานซิสเตอร์ที่นำข้อมูลเข้า แบบ NPN หรือ PNP
3. บริเวณในการแสดงกราฟคุณลักษณะสมบัติ กระแส-แรงดัน ของทรานซิสเตอร์ที่ทำกรวัด
4. บริเวณในการแสดงค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ที่ทำกรวัด



รหัสต้นฉบับเพื่อสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้โดยใช้แม่ทแปล

ส่วนเมนูหลัก Main

```

function varargout = Main(varargin)

gui_Singleton = 1;

gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Main_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @Main_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [], ...
                  'gui_Callback', []);

if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function Main_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);

function varargout = Main_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
Diode;
close(gcf)

function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
transistor;
close(gcf)

```

ส่วนการวิเคราะห์ไดโอด

```

function varargout = Diode(varargin)

gui_Singleton = 1;

gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Diode_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @Diode_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [], ...
                  'gui_Callback', []);

if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

-

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function Diode_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
guidata(hObject, handles);
function varargout = Diode_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function diode_plot_Callback(hObject, eventdata, handles)
X = importdata(handles.fullpathname,');
handles.X=X;
X=X(2:end-1,:);
X=sort(X);
VRef = X(:,1);
Vd = X(:,2);
handles.Vd=Vd;
Vr = VRef-Vd;

```

```

handles.Vr=Vr;
Ir=Vr/1000;
handles.Ir=Ir;
plot(Vd,Ir);
title('Diode I-V Characteristic')
xlabel('V_{D}(Volt)')
ylabel('I_{D}(Amps)')
grid on
vd=X(500:end,2);
vr=X(500:end,1);
ir=vr-vd;
id=ir/1000;
vd = vd;
id = id;
vt = 25.9e-3;
lnid=log(id);
vd=vd(100:end);
lnid=lnid(100:end);
fitresult = polyfit (vd,lnid,1);
a = fitresult(1);
b = fitresult(2);
Indifit = (a*vd) + b ;
I0=exp(b)
eta = 1./(a*vt)
set(handles.text8,'String',I0);
set(handles.text10,'String',eta);
function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function checkbox2_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

function checkbox3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
[filename pathname] = uigetfile({'*.txt'}, 'File selector');
fullpathname = strcat(pathname, filename);
text = fileread(fullpathname);
set(handles.text3, 'String', fullpathname);
handles.fullpathname=fullpathname;
guidata(hObject,handles);
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
button = questdlg('Do you want to quit?', ...
    'Exit Dialog', 'Yes', 'No', 'No');
switch button
    case 'Yes',
        disp('Exit RGB SpecAnal');
        save
        close(ancestor(hObject,'figure'))
    case 'No',
        quit cancel;
end
function lbl_x_ButtonDownFcn(hObject, eventdata, handles)
function lbl_x_DeleteFcn(hObject, eventdata, handles)
function text8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
function pushbutton8_Callback(hObject, eventdata, handles)
function diode_Callback(hObject, eventdata, handles)
Diode;
close(gcf)
function file_Callback(hObject, eventdata, handles)

```



```

function transistor_Callback(hObject, eventdata, handles)
transistor;
close(gcf)
function savepdf_Callback(hObject, eventdata, handles)
[f p]=uiputfile('*.pdf','Save as PDF');
newFig=figure;
axes1Object=copyobj(handles.axes1,newFig);
print(newFig,'-dpdf',[p f]);
function exit_Callback(hObject, eventdata, handles)
button = questdlg('Do you want to quit?', ...
    'Exit Dialog','Yes','No','No');
switch button
    case 'Yes',
        disp('Exit RGB SpecAnal');
        save
        close(ancestor(hObject,'figure'))
    case 'No',
        quit cancel;
end

function axes1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
function Untitled_1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function image_Callback(hObject, eventdata, handles)
[f p]=uiputfile('*.bmp','Save as bmp');
newFig=figure;
axes1Object=copyobj(handles.axes1,newFig);
print(newFig,'-dbmp',[p f]);
function main_Callback(hObject, eventdata, handles)
Main;
close(gcf)

```

ส่วนการวิเคราะห์ทรานซิสเตอร์

```

function varargout = transistor(varargin)

gui_Singleton = 1;

gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @transistor_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @transistor_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);

if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function transistor_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;

function varargout = transistor_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function ib1_Callback(hObject, eventdata, handles)
[filename1 pathname1] = uigetfile({'*.txt'}, 'File selector');
fullpathname1 = strcat(pathname1, filename1);
text = fileread(fullpathname1);
set(handles.text1, 'String', fullpathname1);
handles.fullpathname1 = fullpathname1;
guidata(hObject, handles);

function ib3_Callback(hObject, eventdata, handles)
[filename3 pathname3] = uigetfile({'*.txt'}, 'File selector');

```

```

fullpathname3 = strcat(pathname3, filename3);
text = fileread(fullpathname3);
set(handles.text3, 'String',fullpathname3);
handles.fullpathname3=fullpathname3;
guidata(hObject,handles);
function ib2_Callback(hObject, eventdata, handles)
[filename2 pathname2] = uigetfile({'*.txt'},'File selector');
fullpathname2 = strcat(pathname2, filename2);
text = fileread(fullpathname2);
set(handles.text2, 'String',fullpathname2);
handles.fullpathname2=fullpathname2;
guidata(hObject,handles);
function npn_Callback(hObject, eventdata, handles)
X1=importdata(handles.fullpathname1,');
X1=sort(X1)
VR1=X1(:,3)
Vce1=X1(:,4)
Vce1=Vce1
Vb1=X1(:,5)
VC1=VR1-Vce1
IC1=VC1/1000
IB1=Vb1/120e3
Ic1=max(IC1)
Ib1=max(IB1)
g1=Ic1/Ib1

X2=importdata(handles.fullpathname2,');
X2=sort(X2)
VR2=X2(:,3)
Vce2=X2(:,4)
Vce2=Vce2
Vb2=X2(:,5)

```

$$V_{C2} = V_{R2} - V_{ce2}$$

$$I_{C2} = V_{C2} / 1000$$

$$I_{B2} = V_{b2} / 57e3$$

$$I_{c2} = \max(I_{C2})$$

$$I_{b2} = \max(I_{B2})$$

$$g_2 = I_{c2} / I_{b2}$$

```
X3=importdata(handles.fullpathname3,');
```

```
X3=sort(X3)
```

```
VR3=X3(:,3)
```

```
Vce3=X3(:,4)
```

```
Vce3=Vce3
```

```
Vb3=X3(:,5)
```

```
VC3=VR3-Vce3
```

```
IC3=VC3/1000
```

```
IB3=Vb3/43e3
```

```
Ic3=max(IC3)
```

```
Ib3=max(IB3)
```

```
g3=Ic3/Ib3
```

```
plot(Vce1,IC1,'b');
```

```
hold on
```

```
plot(Vce2,IC2,'r');
```

```
hold on
```

```
plot(Vce3,IC3,'m');
```

```
title('Transistor(NPN) I-V Characteristic')
```

```
xlabel('V_{CE} (Volt)')
```

```
ylabel('I_{C} (Amps)')
```

```
grid on
```

```
legend('Base Current 1','Base Current 2','Base Current 3')
```

```

set(handles.Ib1,'String',Ib1);
set(handles.Ib2,'String',Ib2);
set(handles.Ib3,'String',Ib3);
set(handles.Ic1,'String',Ic1);
set(handles.Ic2,'String',Ic2);
set(handles.Ic3,'String',Ic3);
set(handles.g1,'String',g1);
set(handles.g2,'String',g2);
set(handles.g3,'String',g3);

hold off

function pnp_Callback(hObject, eventdata, handles)
X1=importdata(handles.fullpathname1,');
X1=sort(X1)
VR1=X1(:,3)
Vce1=X1(:,4)
Vce1=Vce1
Vb1=X1(:,5)
VC1=VR1-Vce1
IC1=VC1/1000
IB1=Vb1/120e3
Ic1=max(IC1)
Ib1=max(IB1)
g1=Ic1/Ib1

X2=importdata(handles.fullpathname2,');
X2=sort(X2)
VR2=X2(:,3)
Vce2=X2(:,4)
Vce2=Vce2
Vb2=X2(:,5)
VC2=VR2-Vce2
IC2=VC2/1000

```

```

IB2=Vb2/57e3
Ic2=max(IC2)
Ib2=max(IB2)
g2=Ic2/Ib2
X3=importdata(handles.fullpathname3,',');
X3=sort(X3)
VR3=X3(:,3)
Vce3=X3(:,4)
Vce3=Vce3
Vb3=X3(:,5)
VC3=VR3-Vce3
IC3=VC3/1000
IB3=Vb3/43e3
Ic3=max(IC3)
Ib3=max(IB3)
g3=Ic3/Ib3

plot(Vce1,IC1,'b');
hold on
plot(Vce2,IC2,'r');
hold on
plot(Vce3,IC3,'m');

title('Transistor (PNP) I-V Characteristic')
xlabel('V_{EC} (Volt)')
ylabel('I_{C} (Amps)')
grid on
legend('Base Current 1','Base Current 2','Base Current 3')
set(handles.Ib1,'String',Ib1);
set(handles.Ib2,'String',Ib2);
set(handles.Ib3,'String',Ib3);
set(handles.Ic1,'String',Ic1);

```

```

set(handles.Ic2,'String',Ic2);
set(handles.Ic3,'String',Ic3);
set(handles.g1,'String',g1);
set(handles.g2,'String',g2);
set(handles.g3,'String',g3);

```

hold off

```

function Menu_Callback(hObject, eventdata, handles)
function diode_Callback(hObject, eventdata, handles)
Diode;
close(gcf)
function transistor_Callback(hObject, eventdata, handles)
transistor;
close(gcf)
function savepdf_Callback(hObject, eventdata, handles)
[p]=uiputfile('*.pdf','Save as PDF');
newFig=figure;
axes1Object=copyobj(handles.axes1,newFig);
print(newFig,'-dpdf',[p f]);
function axes1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
function exit_Callback(hObject, eventdata, handles)
button = questdlg('Do you want to quit?', ...
    'Exit Dialog','Yes','No','No');
switch button
    case 'Yes',
        disp('Exit RGB SpecAnal');
        save
        close(ancestor(hObject,'figure'))
    case 'No',
        quit cancel;
end
function saveim_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```
[f p]=uiputfile('*.*bmp','Save as bmp');  
newFig=figure;  
axes1Object=copyobj(handles.axes1,newFig);  
print(newFig,'-dbmp',[p f]);  
function main_Callback(hObject, eventdata, handles)  
Main;  
close(gcf)
```





```
int sensor0;
int sensor1;
int sensor2;
int sensor3;
int sensor4;
void setup() {
  Serial.begin(9600); // initialize serial communication at 9600 bits per second:
  void loop () {
    sensor0 = analogRead(A0);
    float voltageR= sensor0 * (5.0 / 1023.0);
    sensor1 = analogRead(A1);
    float currentD = sensor1 * (5.0 / 1023.0) ;
    sensor2 = analogRead(A2);
    float VR = sensor2 * (5.0 / 1023.0) ;
    sensor3 = analogRead(A3);
    float currentC = sensor3 * (5.0 / 1023.0) ;
    sensor4 = analogRead(A4);
    float currentB = sensor4 * (5.0 / 1023.0) ;
    delayMicroseconds(1);
    Serial.print(voltageR, 5);
    Serial.print(" , ");
    Serial.print(currentD, 5);
    Serial.print(" , ");
    Serial.print(VR, 5);
    Serial.print(" , ");
    Serial.print(currentC, 5);
    Serial.print(" , ");
    Serial.print(currentB, 5);
    Serial.println();
  }
}
```



รายละเอียดของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno (Atmega328P)

Features

- High Performance, Low Power AVR[®] 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions - Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4K/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - Write/Erase Cycle: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TOFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 8-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TOFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
 - 1.8 - 5.5V for ATmega48PA/88PA/168PA/328P
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
 - 0 - 20 MHz @ 1.8 - 5.5V
- Low Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C for ATmega48PA/88PA/168PA/328P:
 - Active Mode: 0.2 mA
 - Power-down Mode: 0.1 µA
 - Power-save Mode: 0.75 µA (including 32 kHz RTC)



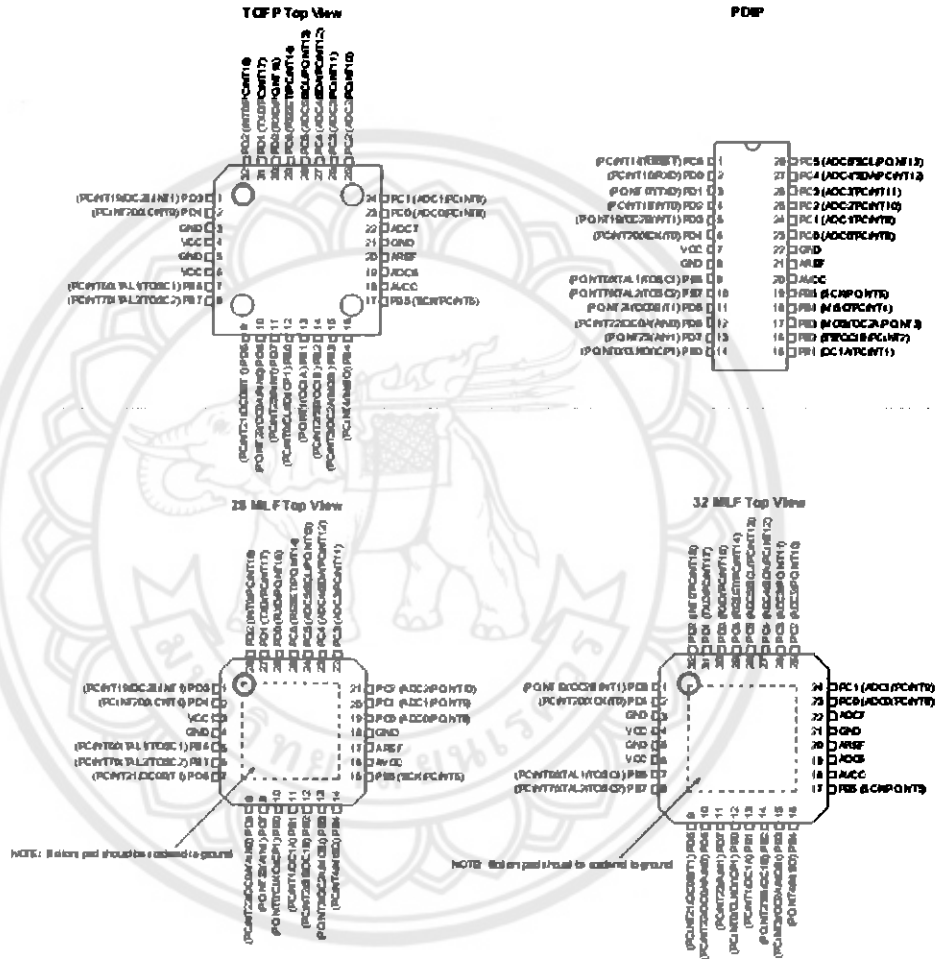
8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 4/8/16/32K
Bytes In-System
Programmable
Flash

ATmega48PA
ATmega88PA
ATmega168PA
ATmega328P

ATmega48PA/88PA/168PA/328P

1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48PA/88PA/168PA/328P



ATmega48PA/88PA/168PA/328P

1.1 Pin Descriptions

- 1.1.1 VCC**
Digital supply voltage.
- 1.1.2 GND**
Ground.
- 1.1.3 Port B (PB7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2**
Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.
- Depending on the clock selection fuse settings, PB6 can be used as input to the Inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.
- Depending on the clock selection fuse settings, PB7 can be used as output from the Inverting Oscillator amplifier.
- If the Internal Calibrated RC Oscillator is used as chip clock source, PB7..6 is used as TOSC2..1 input for the Asynchronous Timer/Counter2 if the AS2 bit in ASSR is set.
- The various special features of Port B are elaborated in "Alternate Functions of Port B" on page 82 and "System Clock and Clock Options" on page 26.
- 1.1.4 Port C (PC5:0)**
Port C is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The PC5..0 output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.
- 1.1.5 PC6/RESET**
If the RSTDISBL Fuse is programmed, PC6 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PC6 differ from those of the other pins of Port C.
- If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PC6 is used as a Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a Reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 28-3 on page 318. Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.
- The various special features of Port C are elaborated in "Alternate Functions of Port C" on page 85.
- 1.1.6 Port D (PD7:0)**
Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

ATmega48PA/88PA/168PA/328P

The various special features of Port D are elaborated in "Alternate Functions of Port D" on page 88.

1.1.7 AV_{CC}

AV_{CC} is the supply voltage pin for the A/D Converter, PC3:0, and ADC7:6. It should be externally connected to V_{CC}, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter. Note that PC6:4 use digital supply voltage, V_{CC}.

1.1.8 AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

1.1.9 ADC7:6 (TQFP and QFNMLF Package Only)

In the TQFP and QFNMLF package, ADC7:6 serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

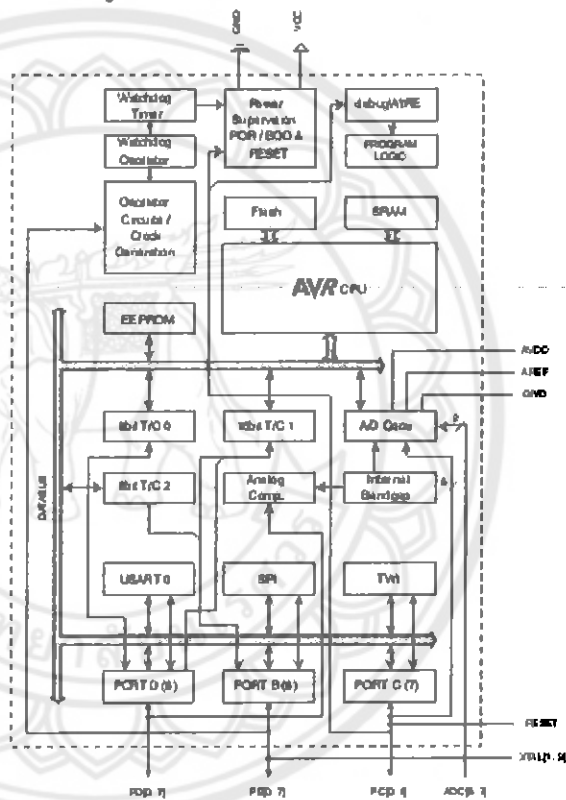
ATmega48PA/88PA/168PA/328P

2. Overview

The ATmega48PA/88PA/168PA/328P is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega48PA/88PA/168PA/328P achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

2.1 Block Diagram

Figure 2-1. Block Diagram



The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting



ATmega48PA/88PA/168PA/328P

architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega48PA/88PA/168PA/328P provides the following features: 4K/8K bytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 256/512/512/1K bytes EEPROM, 512/1K/1K/2K bytes SRAM, 23 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, three flexible Timer/Counters with compare modes, internal and external interrupts, a serial programmable USART, a byte-oriented 2-wire Serial Interface, an SPI serial port, a 6-channel 10-bit ADC (8 channels in TOFP and QFN/MLF packages), a programmable Watchdog Timer with internal Oscillator, and five software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, USART, 2-wire Serial Interface, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset. In Power-save mode, the asynchronous timer continues to run, allowing the user to maintain a time base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except asynchronous timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low power consumption.

The device is manufactured using Atmel's high density non-volatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed In-System through an SPI serial interface, by a conventional non-volatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The Boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega48PA/88PA/168PA/328P is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATmega48PA/88PA/168PA/328P AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C Compilers, Macro Assemblers, Program Debugger/Simulators, In-Circuit Emulators, and Evaluation kits.

2.2 Comparison Between ATmega48PA, ATmega88PA, ATmega168PA and ATmega328P

The ATmega48PA, ATmega88PA, ATmega168PA and ATmega328P differ only in memory sizes, boot loader support, and interrupt vector sizes. Table 2-1 summarizes the different memory and interrupt vector sizes for the three devices.

Table 2-1. Memory Size Summary

Device	Flash	EEPROM	RAM	Interrupt Vector Size
ATmega48PA	4K Bytes	256 Bytes	512 Bytes	1 instruction word/vector
ATmega88PA	8K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	1 instruction word/vector
ATmega168PA	16K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	2 instruction words/vector
ATmega328P	32K Bytes	1K Bytes	2K Bytes	2 instruction words/vector

ATmega88PA, ATmega168PA and ATmega328P support a real Read-While-Write Self-Programming mechanism. There is a separate Boot Loader Section, and the SPM instruction can only execute from there. In ATmega48PA, there is no Read-While-Write support and no separate Boot Loader Section. The SPM instruction can execute from the entire Flash.



ภาคผนวก จ

รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข LM324

มหาวิทยาลัยนเรศวร



LM124
LM224 - LM324

LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE GAIN BANDWIDTH : 1.3MHz
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375 μ A
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 5mV max. (for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A which feature 3mV max.)
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE :
SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V
DUAL SUPPLIES : \pm 1.5V TO \pm 15V

DESCRIPTION

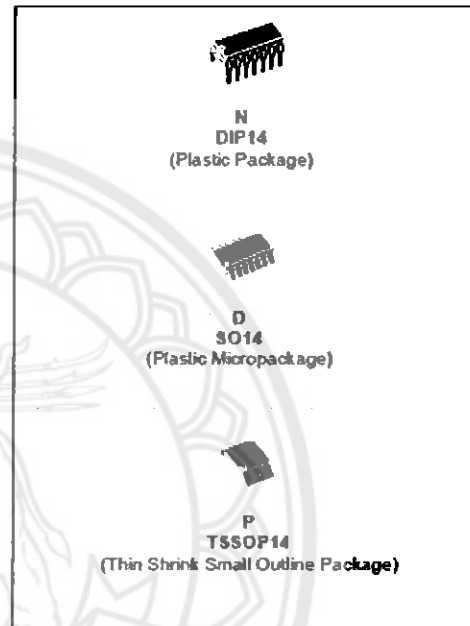
These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers. They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

ORDER CODE

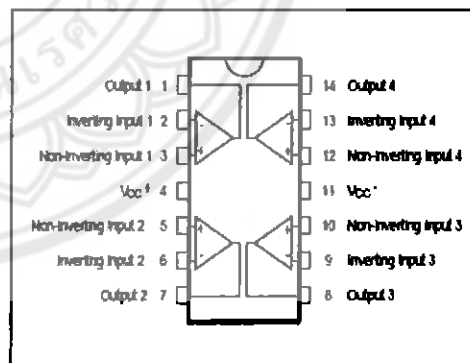
Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM124	-55°C, +125°C	•	•	•
LM224	-40°C, +105°C	•	•	•
LM324	0°C, +70°C	•	•	•

Example : LM224N

N = Dual In Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

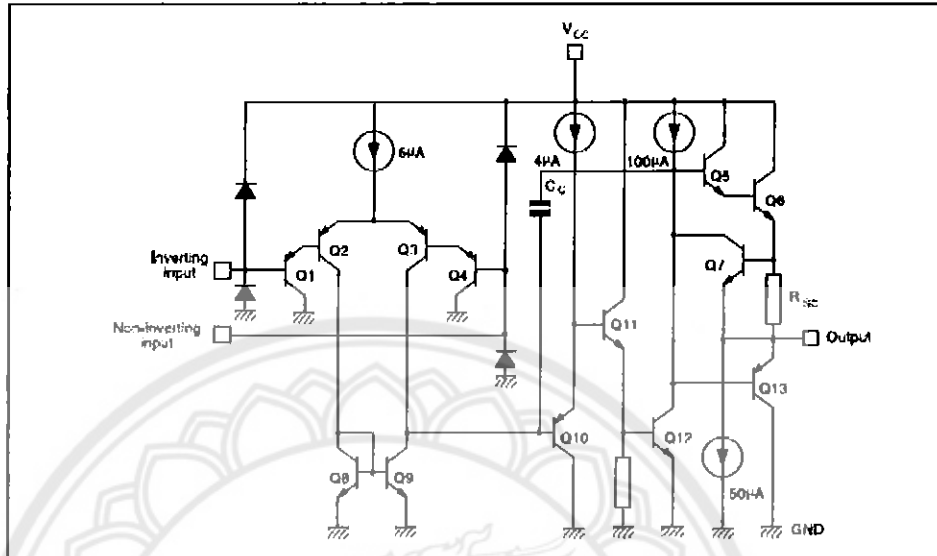


PIN CONNECTIONS (top view)



LM124-LM224-LM324

SCHEMATIC DIAGRAM (1/4 LM124)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM124	LM224	LM324	Unit
V_{CC}	Supply voltage		± 16 or 32		V
V_i	Input Voltage		-0.3 to +32		V
V_{id}	Differential Input Voltage ¹⁾		+32		V
P_{tot}	Power Dissipation	500	500	500	mW
			400	400	mW
	Output Short-circuit Duration ²⁾		Infinite		
I_{in}	Input Current ³⁾	50	50	50	mA
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range		-65 to +150		°C

1. Either or both input voltages must not exceed the magnitude of V_{CC} or V_{EE} .
2. Short-circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating if $V_{CC} > 15V$. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V_{CC} . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
3. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the V_{CC} voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

LM124-LM224-LM324

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC} = +5V$, $V_{CC} = \text{Ground}$, $V_O = 1.4V$, $T_{amb} = +25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{IO}	Input Offset Voltage - note 1) $T_{amb} = +25^\circ C$		2	5	mV
	LM324 $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			7 7 9	
I_{IO}	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	30 100	nA
I_{IB}	Input Bias Current - note 2) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	150 300	nA
A_{VS}	Large Signal Voltage Gain $V_{CC} = +15V$, $R_L = 2k\Omega$, $V_O = 1.4V$ to $11.4V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	100		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) $V_{CC} = 5V$ to $30V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	65 65	110		dB
I_{CC}	Supply Current, all Amp, no load $T_{amb} = +25^\circ C$ $V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +30V$ $V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +30V$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		0.7 1.5 0.8 1.5	1.2 3 1.2 3	mA
V_{IOM}	Input Common Mode Voltage Range $V_{CC} = +30V$ - note 3) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	0 0		$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 2$	V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_L \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 60	80		dB
I_{SOURCE}	Output Current Source ($V_{ID} = +1V$) $V_{CC} = +15V$, $V_O = +2V$	20	40	70	mA
I_{SINK}	Output Sink Current ($V_{ID} = -1V$) $V_{CC} = +15V$, $V_O = +2V$	10	20		mA
	$V_{CC} = +15V$, $V_O = +0.2V$	12	50		μA
V_{OH}	High Level Output Voltage $V_{CC} = +30V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $R_L = 2k\Omega$	28 28	27		V
	$T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $R_L = 10k\Omega$	27 27	28		
	$V_{CC} = +5V$, $R_L = 2k\Omega$ $T_{amb} = +25^\circ C$	3.5			
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	3			

LM124-LM224-LM324

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{OL}	Low Level Output Voltage ($R_L = 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	20 20	mV
SR	Slew Rate $V_{CC} = 15V, V_I = 0.5 \text{ to } 3V, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF, \text{ unity Gain}$		0.4		V/ μs
GBP	Gain Bandwidth Product $V_{CC} = 30V, f = 100kHz, V_n = 10mV, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF$		1.3		MHz
THD	Total Harmonic Distortion $f = 1kHz, A_v = 20dB, R_L = 2k\Omega, V_o = 2V_{pp}, C_L = 100pF, V_{CC} = 30V$		0.015		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz, R_s = 100\Omega, V_{CC} = 30V$		40		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
DV_{IO}	Input Offset Voltage Drift		7	30	$\mu V/^\circ C$
DI_{IO}	Input Offset Current Drift		10	200	$pA/^\circ C$
V_{O1}/V_{O2}	Channel Separation - note 4) $1kHz \leq f \leq 20kHz$		120		dB

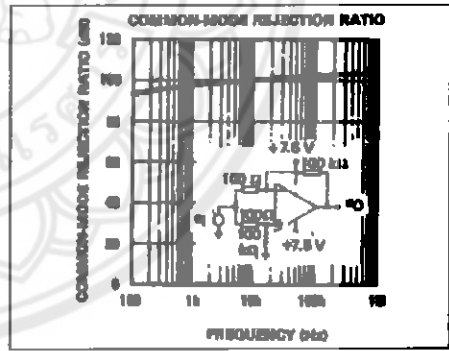
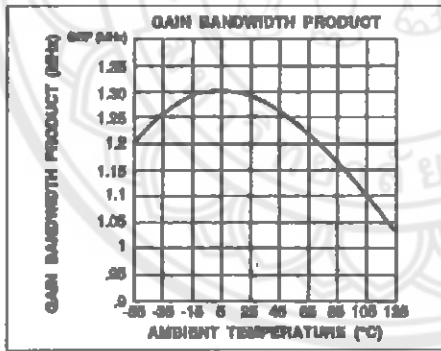
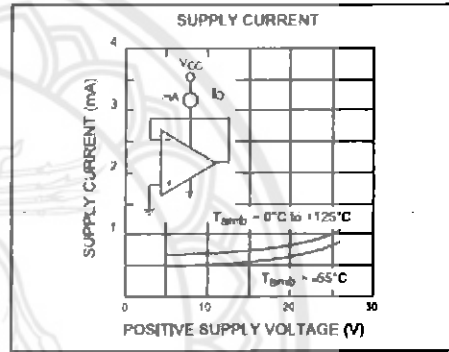
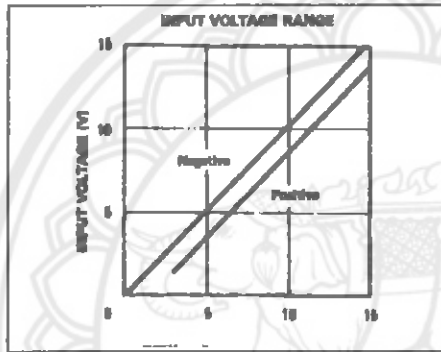
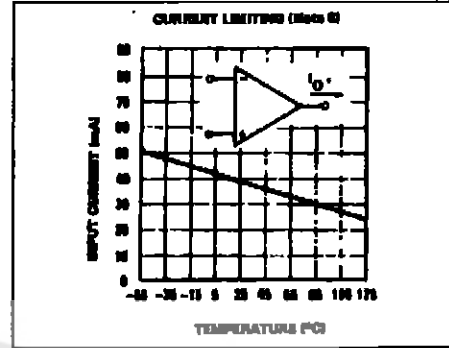
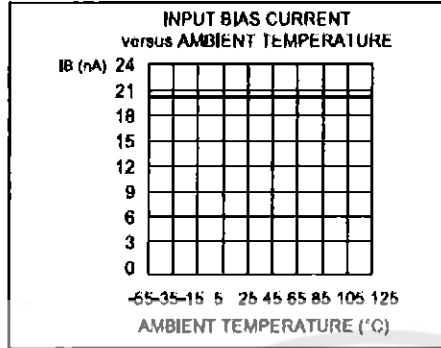
1. $V_o = 1.4V, R_s = 0\Omega, 5V \leq V_{CC} \leq 30V, 0 < V_o < V_{CC} - 1.5V$

2. The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

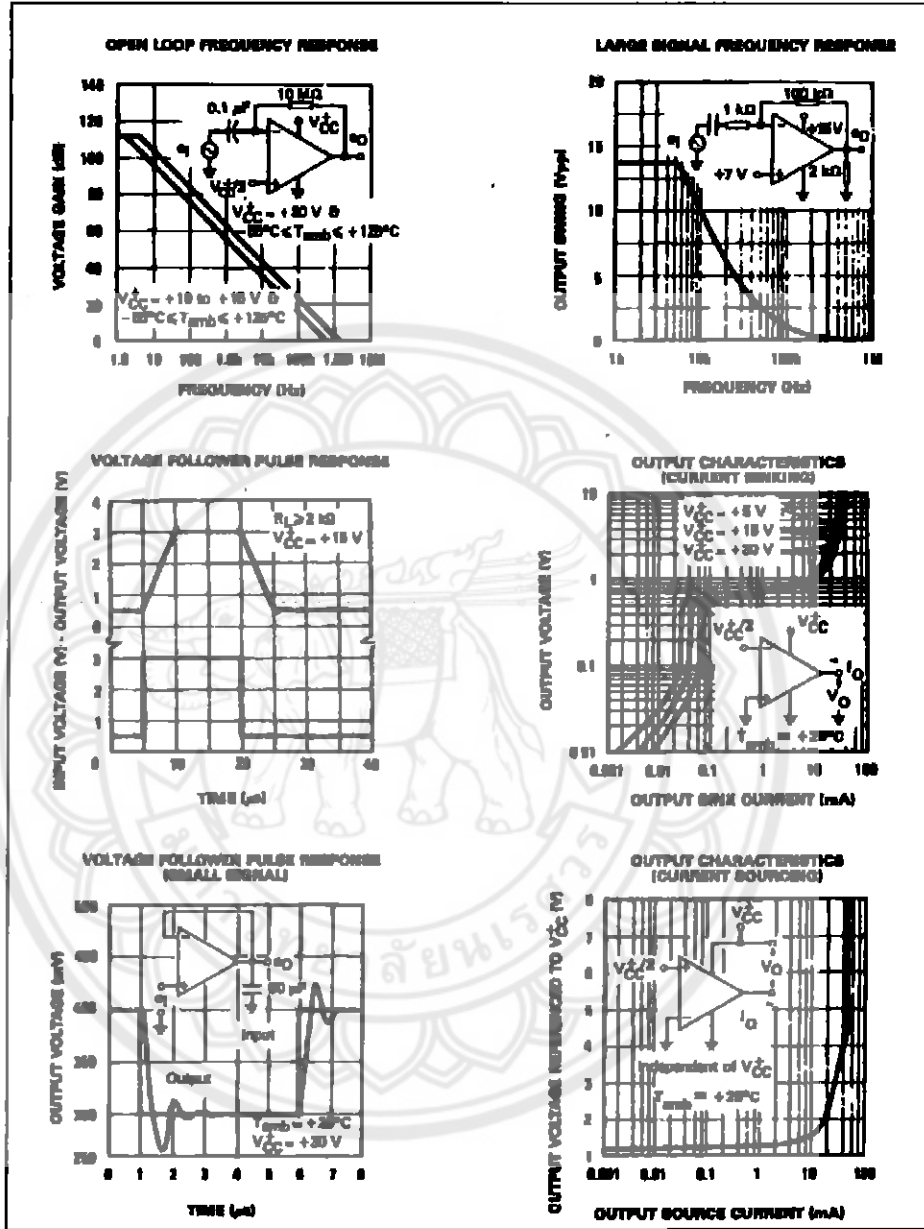
3. The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC} - 1.5V$, but either or both inputs can go to $\pm 32V$ without damage.

4. Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

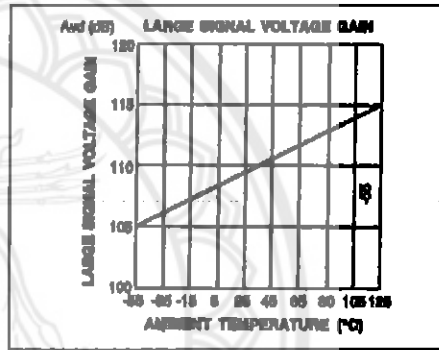
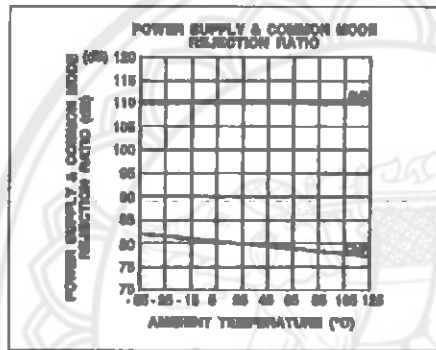
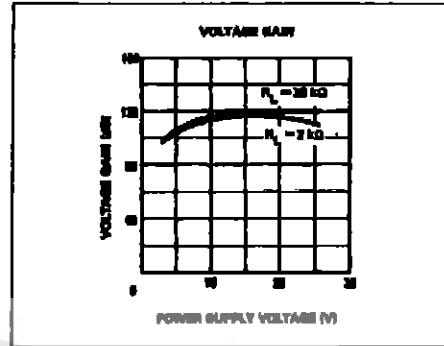
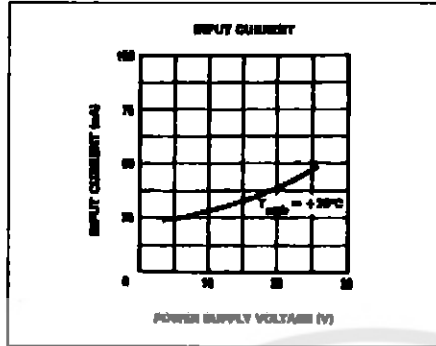
LM124-LM224-LM324



LM124-LM224-LM324

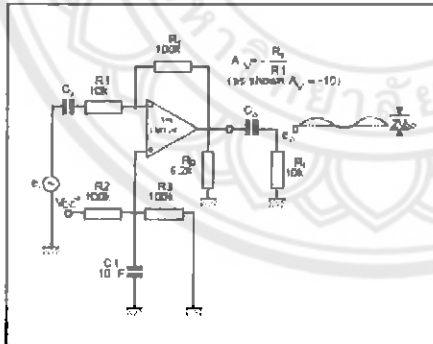


LM124-LM224-LM324

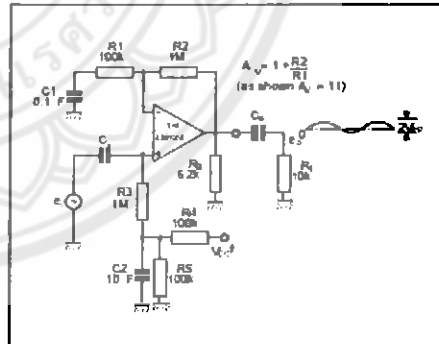


TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

AC COUPLED INVERTING AMPLIFIER



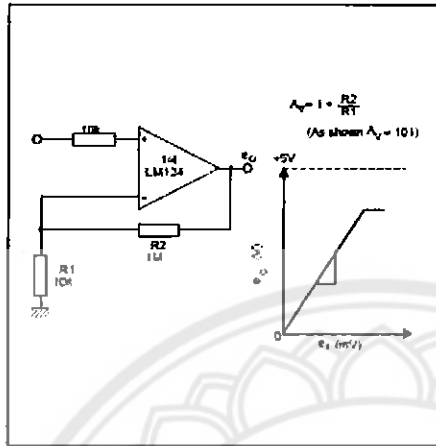
AC COUPLED NON INVERTING AMPLIFIER



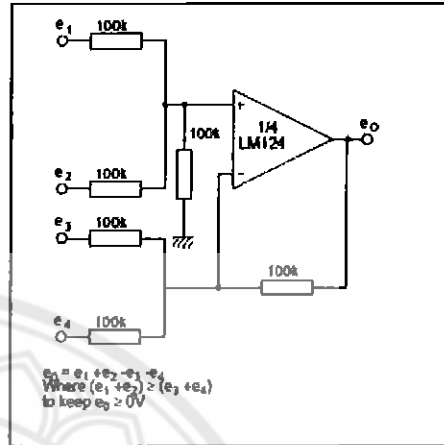
LM124-LM224-LM324

TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

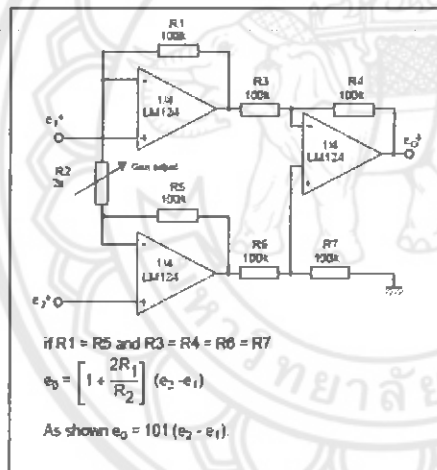
NON-INVERTING DC GAIN



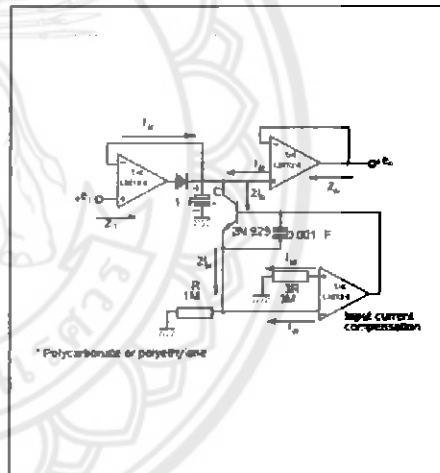
DC SUMMING AMPLIFIER



HIGH INPUT Z ADJUSTABLE GAIN DC INSTRUMENTATION AMPLIFIER



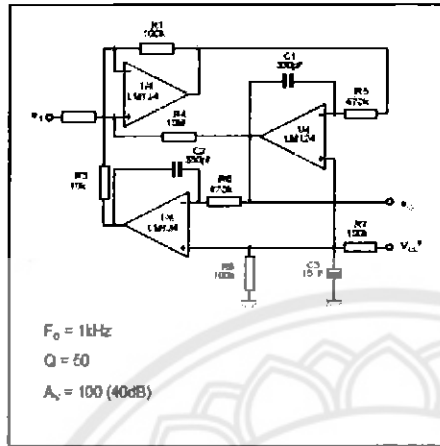
LOW DRIFT PEAK DETECTOR



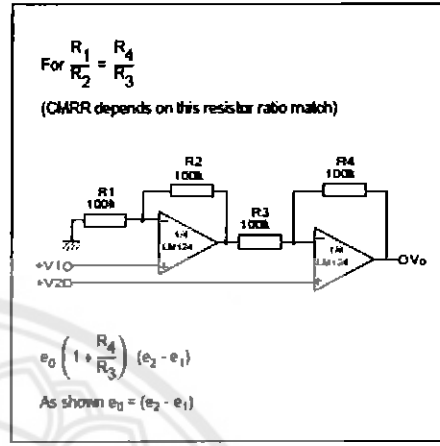
LM124-LM224-LM324

TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

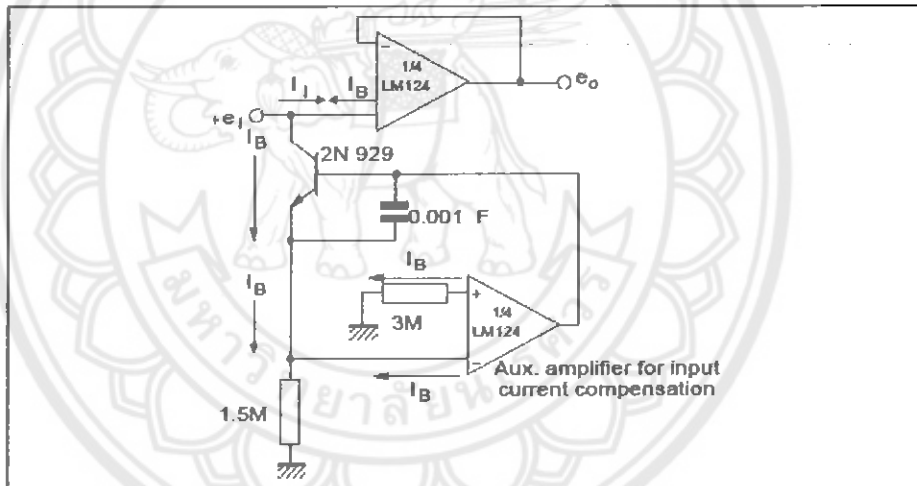
ACTIVE BANDPASS FILTER



HIGH INPUT Z, DC DIFFERENTIAL AMPLIFIER



USING SYMMETRICAL AMPLIFIERS TO REDUCE INPUT CURRENT (GENERAL CONCEPT)



LM124-LM224-LM324

MACROMODEL

** Standard Linear Ics Macromodels, 1993.

** CONNECTIONS :

- * 1 INVERTING INPUT
- * 2 NON-INVERTING INPUT
- * 3 OUTPUT
- * 4 POSITIVE POWER SUPPLY
- * 5 NEGATIVE POWER SUPPLY

.SUBCKT LM124 1 3 2 4 5 (analog)

.MODEL MDTH D IS=1E-8 KF=3.104131E-15
CJO=10F

* INPUT STAGE

CIP 2 5 1.000000E-12
CIN 1 5 1.000000E-12
EIP 10 5 2 5 1
EIN 16 5 1 5 1
RIP 10 11 2.600000E+01
RIN 15 16 2.600000E+01
RIS 11 15 2.003862E+02
DIP 11 12 MDTH 400E-12
DIN 15 14 MDTH 400E-12
VOFP 12 13 DC 0
VOFN 13 14 DC 0
IPOL 13 5 1.000000E-05
CPS 11 15 3.783376E-09
DINN 17 13 MDTH 400E-12

VIN 17 5 0.000000E+00

DINR 15 18 MDTH 400E-12

VIP 4 18 2.000000E+00

FCP 4 5 VOFP 3.400000E+01

FCN 5 4 VOFN 3.400000E+01

FIBP 2 5 VOFP 2.000000E-03

FIBN 5 1 VOFP 2.000000E-03

* AMPLIFYING STAGE

FIP 5 19 VOFP 3.600000E+02

FIN 5 19 VOFP 3.600000E+02

RG1 19 5 3.652997E+06

RG2 19 4 3.652997E+06

CC 19 5 6.000000E-09

DOPM 19 22 MDTH 400E-12

DONM 21 19 MDTH 400E-12

HOPM 22 28 VOUT 7.500000E+03

VIPM 28 4 1.500000E+02

HONM 21 27 VOUT 7.500000E+03

VINM 5 27 1.500000E+02

EOUT 26 23 19 5 1

VOUT 23 5 0

ROUT 26 3 20

COUT 3 5 1.000000E-12

DOP 19 25 MDTH 400E-12

VOP 4 25 2.242230E+00

DON 24 19 MDTH 400E-12

VON 24 5 7.922301E-01

.ENDS

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC}^+ = +15V$, $V_{CC}^- = 0V$, $T_{amb} = 25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Conditions	Value	Unit
V_{IO}		0	mV
A_{vd}	$R_L = 2k\Omega$	100	V/mV
I_{OC}	No load, per amplifier	350	μA
V_{ICM}		-15 to +13.5	V
V_{OH}	$R_L = 2k\Omega$ ($V_{CC}^+ = 15V$)	+13.5	V
V_{OL}	$R_L = 10k\Omega$	5	mV
I_{oS}	$V_O = +2V$, $V_{CC} = +15V$	+40	mA
GBP	$R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$	1.3	MHz
SR	$R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$	0.4	V/ μs



ภาคผนวก ฉ

รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข NE555

มหาวิทยาลัยนเรศวร



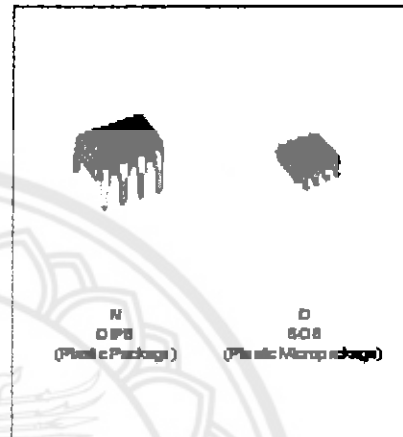
NE555
SA555 - SE555

GENERAL PURPOSE SINGLE BIPOLAR TIMERS

- LOW TURN OFF TIME
- MAXIMUM OPERATING FREQUENCY GREATER THAN 500kHz
- TIMING FROM MICROSECONDS TO HOURS
- OPERATES IN BOTH ASTABLE AND MONOSTABLE MODES
- HIGH OUTPUT CURRENT CAN SOURCE OR SINK 200mA
- ADJUSTABLE DUTY CYCLE
- TTL COMPATIBLE
- TEMPERATURE STABILITY OF 0.005% PER°C

DESCRIPTION

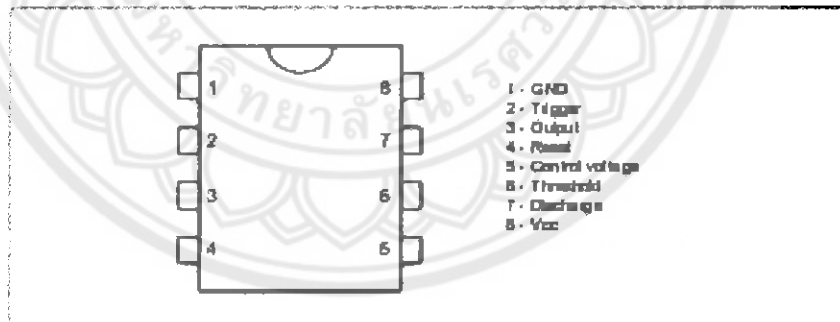
The NE555 monolithic timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays or oscillations. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and one capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and the duty cycle are both accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output structure can source or sink up to 200mA. The NE555 is available in plastic and ceramic minidip packages and in a 8-lead micro package and in metal can package version.



ORDER CODES

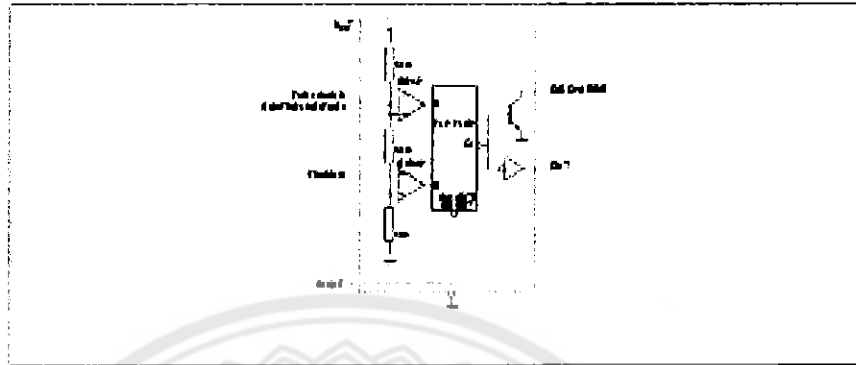
Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
NE555	0°C, 175°C	*	*
SA555	-55°C, 125°C	*	*
SE555	-55°C, 125°C	*	*

PIN CONNECTIONS (top view)

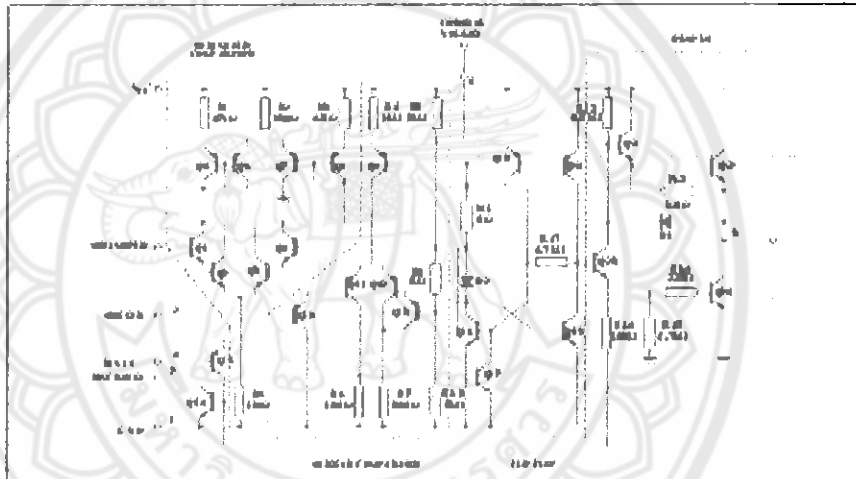


NE 555/S A 555/S E 555

BLOCK DIAGRAM



SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	18	V
T_{oper}	Operating Free Air Temperature Range	For NE 555 -40 to 100 For SA 555 S -55 to 125	$^{\circ}$ C
T_j	Junction Temperature	150	$^{\circ}$ C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to 150	$^{\circ}$ C



NE555/SA555/E555

OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	NE555	NE555 - SA555	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	4.5 to 18	4.5 to 18	V
$V_{in}, V_{inP}, V_i, V_{max}$	Maximum Input Voltage	V_{CC}	V_{CC}	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_{amb} = +25^{\circ}C, V_{CC} = +5V$ to $+15V$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	NE555			NE555 - SA555			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
I_{CC}	Supply Current (Note 1)							mA
	Low State $V_{CC} = +15V$		3	8	3	8		
	High State $V_{CC} = 5V$		10	12	10	13		
	Timing Error (nonstable) (R_A, R_B in 100k Ω , $C = 0.1\mu F$)		0.5	2	1	3		%
	Initial Accuracy - (note 2)		30	100	30	100		ppm/ $^{\circ}C$
	Drift with Temperature		0.05	0.2	0.1	0.5		%/V
	Drift with Supply Voltage							
	Timing Error (stable) ($R_A, R_B = 1k\Omega$ to 100k Ω , $C = 0.1\mu F$, $V_{CC} = +15V$)			1.5		2.25		%
	Initial Accuracy - (note 2)			50		150		ppm/ $^{\circ}C$
V_{CC}	Control Voltage Level $V_{CC} = +15V$ $V_{CC} = 5V$	3.8 2.9	10 3.33	10.4 3.8	9 2.8	10 3.33	11 4	V
	V_P	Threshold Voltage $V_{CC} = +15V$ $V_{CC} = 5V$	8.4 2.7	10 3.33	10.8 4	8.8 2.4	10 3.33	11.2 4.2
I_B	Threshold Current - (note 3)		0.1	0.25	0.1	0.25		μA
V_{TR}	Trigger Voltage $V_{CC} = +15V$ $V_{CC} = 5V$	4.8 1.45	8 1.87	8.2 7.9	4.5 1.1	8 1.87	8.8 2.2	V
	I_{TR}	Trigger Current ($V_{TR} = 0V$)		0.5	0.9	0.5	2.0	μA
V_{RES}	Reset Voltage - (note 4)	0.4	0.7	1	0.4	0.7	1	V
I_{RES}	Reset Current $V_{RES} = +0.4V$ $V_{RES} = 0V$		0.1 0.4	0.4 1	0.1 0.4	0.4 1.5		mA
	V_{OL}	Low Level Output Voltage $V_{CC} = +15V, I_{OL} = 10mA$		0.1	0.15	0.1	0.25	
$I_{OL} = 50mA$			0.4	0.8	0.4	0.75		
$I_{OL} = 100mA$			2	2.2	2	2.5		
$I_{OL} = 200mA$			2.5		2.5			
$V_{CC} = 5V, I_{OL} = 5mA$			0.1	0.25	0.3	0.4		
$I_{OL} = 5mA$			0.05	0.2	0.25	0.35		
V_{OH}	High Level Output Voltage $V_{CC} = +15V, I_{OH} = 200mA$		13	12.5	12.75	12.5		V
	$I_{OH} = 100mA$		13.3		13.3			
	$V_{CC} = 5V, I_{OH} = 100mA$		3	3.3	2.75	3.3		

Notes: 1. Supply current when output at high at specified I_{OL} rates.
 2. Tested at $V_{CC} = +5V$ and $V_{CC} = +15V$.
 3. This I_B determines the minimum value of $R_B + R_A$ for $+15V$ operation (the min. total is $R + 20k\Omega$) and for $5V$ operation the min. total is $3.5k\Omega$.



NE 555/SA 555/SE 555

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	NE555			NE555 - SA555			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
$I_{D(OUT)}$	Discharge Pin Leakage Current (output high) ($V_{OH} = 10V$)		20	100		20	100	nA
$V_{D(OUT)}$	Discharge pin Saturation Voltage (output low) - (note 5) $V_{CC} = +1.5V, I_{D(OUT)} = 15mA$ $V_{CC} = +5V, I_{D(OUT)} = 4.5mA$		180 80	400 200		180 80	400 200	mV
t_r	Output Rise Time		100	200		100	200	ns
t_f	Output Fall Time		100	200		100	200	ns
t_{on}	Turn on Time - (note 6) ($V_{OH} = V_{CC}$)		0.5			0.5		μs

Note 5: No load on output, excessive $I_{D(OUT)}$ current is not allowed, providing the package dissipation rating is not exceeded.
 Note 6: Time measured from a positive going output pulse from 0 to 0.5 V_{CC} into the first half to the drop from high to low of the output (figure 1) is included.

Figure 1: Minimum Pulse Width Required for Triggering

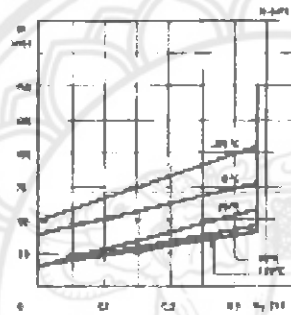


Figure 2: Supply Current versus Supply Voltage

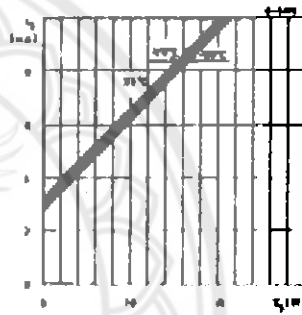


Figure 3: Delay Time versus Temperature

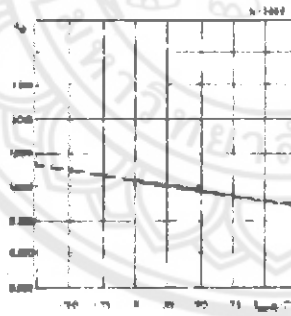


Figure 4: Low Output Voltage versus Output Sink Current

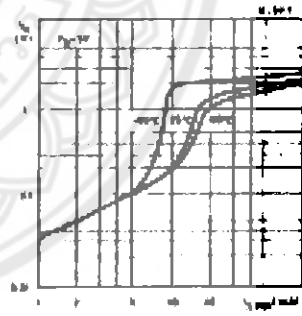


Figure 5 : Low Output Voltage versus Output Sink Current

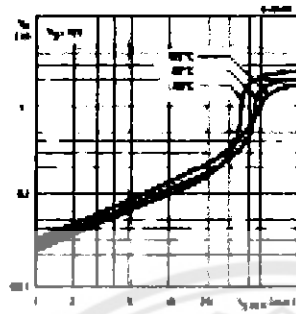


Figure 6 : Low Output Voltage versus Output Sink Current

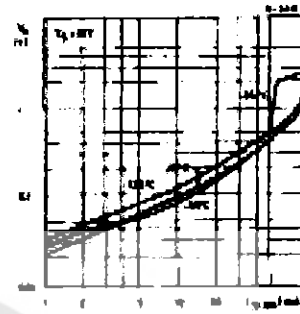


Figure 7 : High Output Voltage Drop versus Output

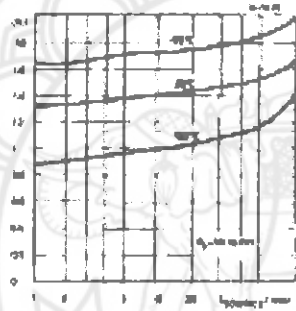


Figure 8 : Delay Time versus Supply Voltage

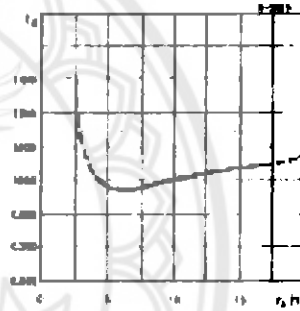
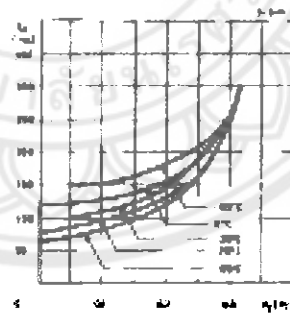


Figure 9 : Propagation Delay versus Voltage Level of Trigger Value



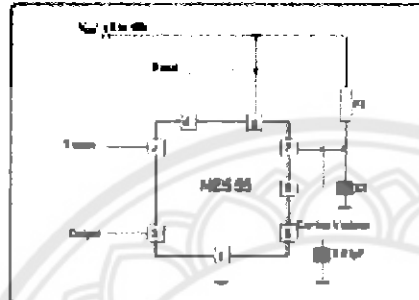
NE 555/S A 555/S E 555

APPLICATION INFORMATION

MONOSTABLE OPERATION

In the monostable mode, the timer functions as a one-shot. Referring to figure 10 the external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer.

Figure 10



The circuit triggers on a negative-going input signal when the level reaches $1/3 V_{cc}$. Once triggered, the circuit remains in this state until the set time has elapsed, even if it is triggered again during this interval. The duration of the output HIGH state is given by $t = 1.1 R_1 C_1$ and is easily determined by figure 12.

Notice that since the charge rate and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply. Applying a negative pulse simultaneously to the reset terminal (pin 4) and the trigger terminal (pin 2) during the timing cycle discharges the external capacitor and causes the cycle to start over. The timing cycle now starts on the positive edge of the reset pulse. During the time the reset pulse is applied, the output is driven to its LOW state.

When a negative trigger pulse is applied to pin 2, the flip-flop is set, releasing the short circuit across the external capacitor and driving the output HIGH. The voltage across the capacitor increases exponentially with the time constant $\tau = R_1 C_1$. When the voltage across the capacitor equals $2/3 V_{cc}$, the comparator resets the flip-flop which then discharges the capacitor rapidly and drives the output to its LOW state.

Figure 11 shows the actual waveforms generated in this mode of operation.

When Reset is not used, it should be tied high to avoid any possible or false triggering.

Figure 11

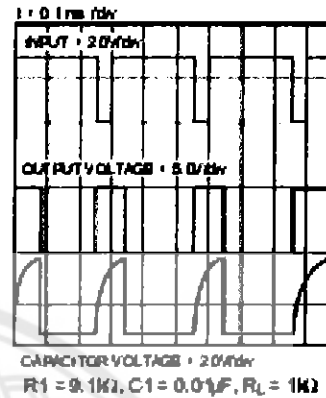
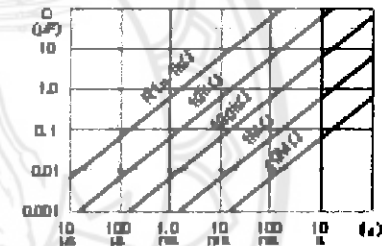


Figure 12



ASTABLE OPERATION

When the circuit is connected as shown in figure 13 (pin 2 and 6 connected) it triggers itself and functions as a multivibrator. The external capacitor charges through R_1 and R_2 and discharges through R_2 only. Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

In the astable mode of operation, C_1 charges and discharges between $1/3 V_{cc}$ and $2/3 V_{cc}$. As in the triggered mode, the charge and discharge times and therefore frequency are independent of the supply voltage.

Figure 13

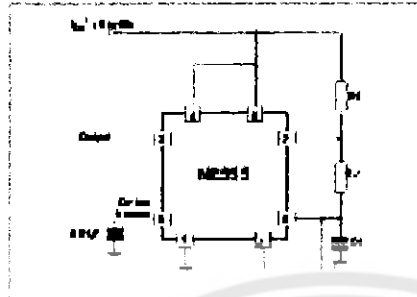


Figure 14 shows actual waveforms generated in this mode of operation.

The charge time (output HIGH) is given by:

$$t_1 = 0.693 (R_1 + R_2) C_1$$

and the discharge time (output LOW) by:

$$t_2 = 0.693 R_2 C_1$$

Thus the total period T is given by:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_1 + 2R_2) C_1$$

The frequency of oscillation is then:

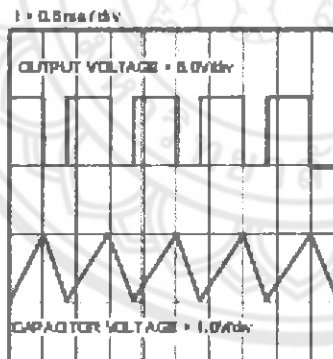
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2) C_1}$$

and may be easily found by figure 15.

The duty cycle is given by:

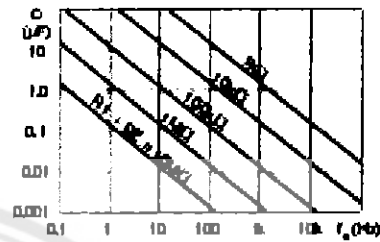
$$D = \frac{R_2}{R_1 + 2R_2}$$

Figure 14



$R_1 = R_2 = 4.7k\Omega, C_1 = 0.1\mu F, R_L = 1k\Omega$

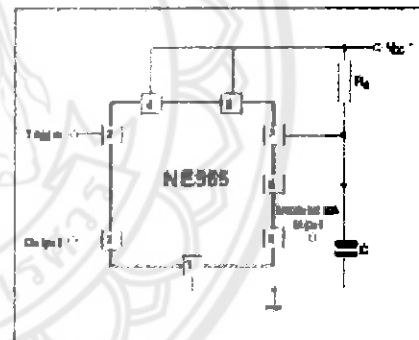
Figure 15: Free Running Frequency versus R_1 , R_2 and C_1



PULSEWIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 16 shows the circuit.

Figure 16: Pulse Width Modulator.



NE 555/S A 555/S E 555

LINEAR RAMP

When the pull up resistor, R_A , in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. Figure 17 shows a circuit configuration that will perform this function.

Figure 17.

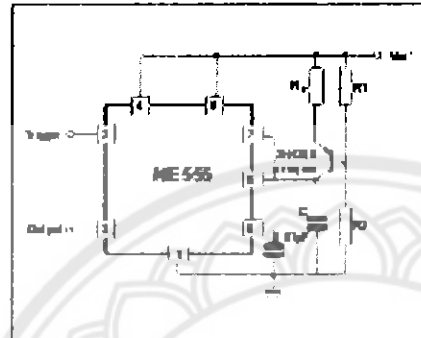
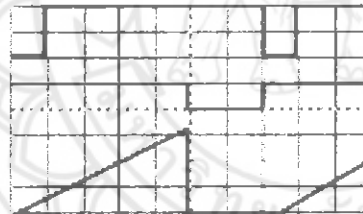


Figure 18 shows wave forms generated by the linear ramp.

The time interval is given by:

$$T = \frac{2/3 V_{CC} R_C (R_A + R_B) C}{R_1 V_{CC} - V_{BE} (R_1 + R_B)} \quad V_{BE} = 0.6V$$

Figure 18 : Linear Ramp.



$V_{CC} = 5V$
 Time = 20ns/DIV
 $R_1 = 47k\Omega$
 $R_2 = 100k\Omega$
 $R_3 = 2.7k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top trace : input 5V/DIV
 Middle trace : output 5V/DIV
 Bottom trace : output 5V/DIV
 Bottom trace : capacitor voltage 1V/DIV

50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle the resistors R_A and R_C may be connected as in figure 19. The time period for the output high is the same as previous.

$t_1 = 0.693 R_A C$

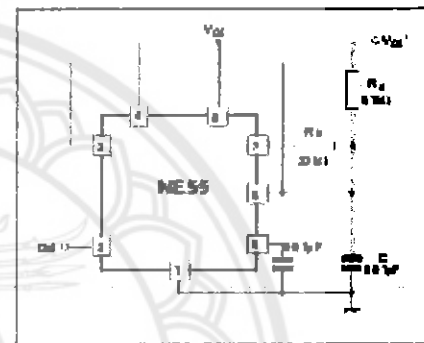
For the output low it is $t_2 =$

$$\left(\frac{R_A R_B}{R_A + R_B} \right) C \ln \left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right]$$

Thus the frequency of oscillation is $f = \frac{1}{t_1 + t_2}$

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater

Figure 19 : 50% Duty Cycle Oscillator.



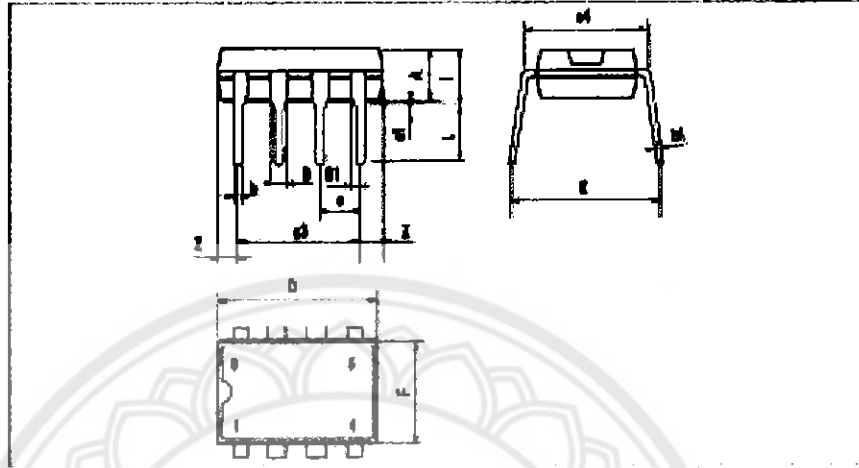
than $1/2 R_A$ because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to $1/3 V_{CC}$ and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is 0.1μF in parallel with 1μF electrolytic.

NE 555/8 A 555/8 E 555

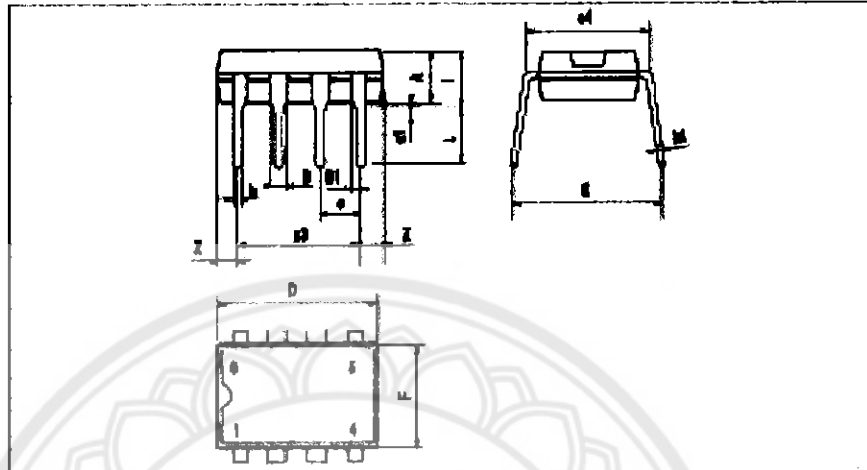
PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC DIP



Dimension	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.13		1.08	0.045		0.042
b	0.388		0.38	0.014		0.012
b1	0.204		0.204	0.008		0.008
C	7.95		8.75	0.313		0.344
D		2.34			0.100	
D3		7.62			0.300	
D4		7.62			0.300	
F			0.5			0.020
I			0.28			0.011
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

NE555/S A555/SE555

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC DIP



Characteristic	MIL standard			Metric		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A	0.51	3.32		0.020	0.131	
B	1.15		1.28	0.045		0.052
b	0.258		0.28	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.19	0.313		0.364
e		2.54			0.100	
m3		7.62			0.300	
m4		7.62			0.300	
P			0.6			0.024
I			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.27			0.050





HRS1(H) Relay

1.COIL DATA

1.1 Nominal Voltage.	3 VAC 1 24 VAC
1.2 Coil Resistance	refer to Table 1
1.3 Operate Voltage	refer to Table 1
1.4 Release Voltage	refer to Table 1
1.5 Nominal Power Consumption	200 to 360 mW



HRS1(H) Relay

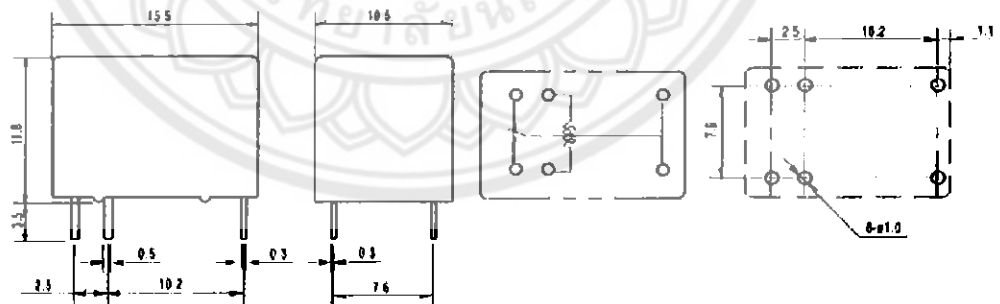
2.CONTACT DATA

2.1 Contact Arrangement	1 Form C
2.2 Contact Material	AuAg
2.3 Contact Rating	1A 24VDC/120VAC
2.4 Max-Switching Voltage	30 VAC/120VAC
2.5 Max-Switching Current	2A
2.6 Max. switching Power	120 VA, 24W
2.7 Contact Resistance (Initial)	100 mΩ at 6 VAC 1A
2.8 Life Expectancy Electrical	100,000 operation at nominal load
Mechanical	10,000,000 operations

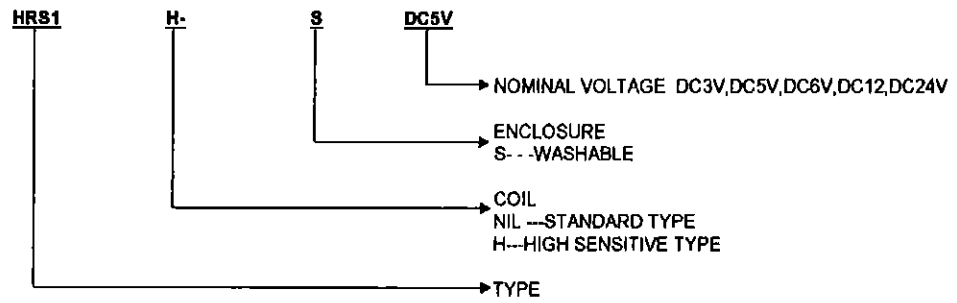
3.GENERAL DATA

3.1 Insulation Resistance	Min. 100mΩ at 500 VDC
3.2 Dielectric Strength	1000 VAC, 1 min between open contact 1,500 VAC, 1 min between contact and coll.
3.3 Operate time	Max. 5 mS
3.4 Release Time	Max. 5 mS
3.5 Temperature Range	-25 to +55
3.6 Shock Resistance	10 G
3.7 Vibration Resistance	10 - 55 Hz, Amplitude 1.5mm

4.DIMENSION (In mm)



5. ORDERING CODE

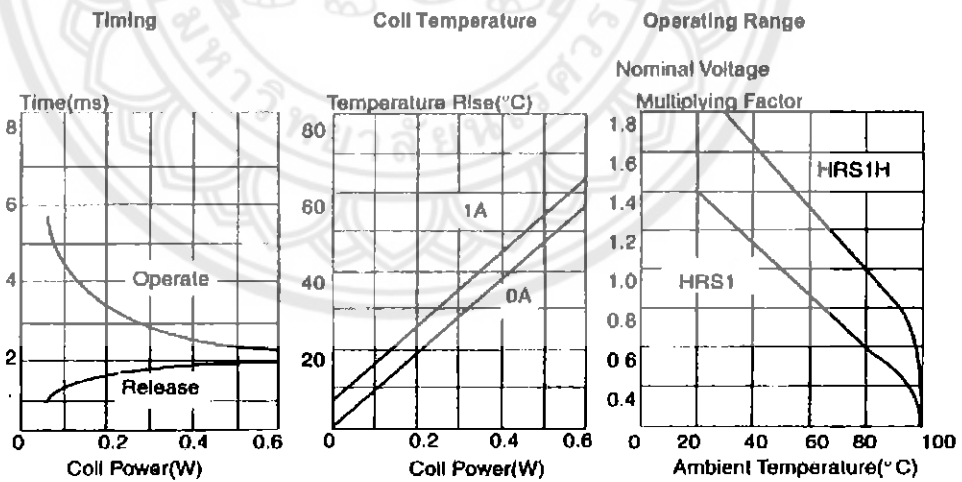


6. COIL DATA CHART

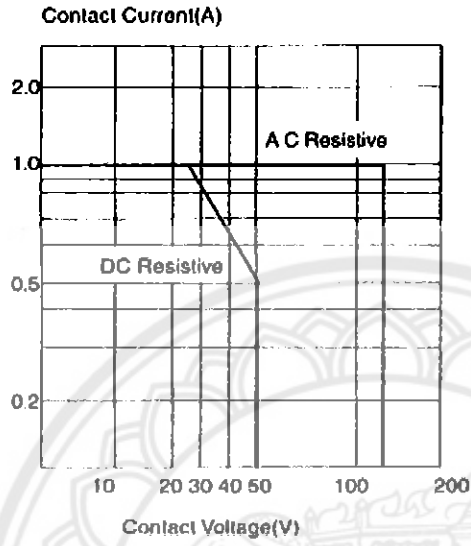
ORDERING CODE	COIL NOMINAL VDC	COIL RESISTANCE +/-10%	OPERATE VOLTAGE VDC	RELEASE VOLTAGE VDC	COIL NOMINAL mW
HRS1-S DC3V	3	25	2.25	0.30	360
HRS1-S DC5V	5	70	3.75	0.50	
HRS1-S DC6V	6	100	4.50	0.60	
HRS1-S DC9V	9	220	6.75	0.90	
HRS1-S DC12V	12	400	9.00	1.20	
HRS1-S DC24V	24	1600	18.00	2.40	200
HRS1H-S DC3V	3	45	2.25	0.30	
HRS1H-S DC5V	5	120	3.75	0.50	
HRS1H-S DC6V	6	180	4.50	0.60	
HRS1H-S DC9V	9	400	6.75	0.90	
HRS1H-S DC12V	12	700	9.00	1.20	
HRS1H-S DC24V	24	2800	18.00	2.40	

Table 1

7. HRS1(H) CHARACTERISTIC DATA



Maximum Switching Power



Life Curve

