สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ถุงมือควบคุมรถจำลอง

RADIO CONTROL CAR USING A GLOVE

นายณัทภพ วัชรากรวุฒิ

นายธิรวุฒิ ก้อนจันต๊ะ

นางสาวปาริฉัตร ศรีปัญญา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119445
วัน,เดือน,ปี - 7 S.A. 2554

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RADIO CONTROL CAR USING A GLOVE

NATTAPROP VACHARAKORNRAWUT

TIRAWUT KONJUNTA

PARICHAT SRIPANYA

THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFULLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IM MECHATRONICS ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ถุงมือควบคุมรถจำลอง
RADIO CONTROL CAR USING A GLOVE

ผู้จัดทำ นายณัฐภพ วัชรากรวุฒิ 50010520
นายถิรวุฒิ ก้อนจันต๊ะ 50010557
นางสาวปาริฉัตร ศรีปัญญา 50010958

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล มณีรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถุงมือควบคุมรถจำลอง

โดย

นายณัฐภพ วัชรากรวุฒิ 50010520

นายถิรวุฒิ ก้อนจันต๊ะ 50010557

นางสาวปาริฉัตร ศรีปัญญา 50010958

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอทฤษฎีและการออกแบบสร้าง ถุงมือควบคุมรถจำลอง วงจรของถุงมือควบคุมรถจำลองดังกล่าวนี้ ประกอบด้วยวงจรหลักสามส่วน คือ วงจรควบคุมโดยใช้ Microcontroller วงจรตัวรับตัวส่งสัญญาณ และวงจรขับมอเตอร์ โดยวงจรควบคุมใช้ Microcontroller ของ Arduino จะทำหน้าที่รับสัญญาณจาก Flex Sensor และ Acceleration Sensor ซึ่งเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และจะส่งสัญญาณที่ได้ไปยังวงจรตัวรับและตัวส่งสัญญาณ จากนั้นวงจรตัวรับและตัวส่งสัญญาณนี้จะส่งสัญญาณให้กับวงจรขับมอเตอร์เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่และทิศทางของรถจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RADIO CONTROL CAR USING A GLOVE

By

Mr. Nattaprop Vacharakornrawut 50010520

Mr. Tirawut Konjanta 50010557

Miss Parichat Sripanya 50010958

Advisor

Asst. Prof. Dr. Noppadol Maneerat

Academic Year 2010

Abstract

This thesis presents theory and construction design of a radio control car using a glove. The circuits used in the car control using a glove consist of three main parts which are Microcontroller, Transmitter, Receiver and Drive Motor Circuits. The Microcontroller Unit (MCU) Circuit, use Arduino, gets input signal from two sensors, Flex Sensor and Acceleration Sensor. These signals are voltage. The signals are send into transmitter and receiver circuits. The output signal from transmitter and receiver circuit is input signal of drive motor circuit to controls car's movement and direction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.นพดล มณีรัตน์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีตลอดเวลาที่ผ่านมา คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบพระคุณอย่างสูง

ขอบคุณพี่และเพื่อนๆ ทุกคนที่สนับสนุนอุปกรณ์ แนะนำการออกแบบวงจรและการเขียนโปรแกรม ช่วยทำแบบจำลองและให้คำปรึกษา รวมทั้งความช่วยเหลืออื่นๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างมากต่อโครงงานนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนงบประมาณที่ขาด ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงงานนี้สำเร็จเสร็จสมบูรณ์ได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นายณัฐภพ วัชรากรวุฒิ

นายถิรวุฒิ ก้อนจันต๊ะ

นางสาวปาริฉัตร ศรีปัญญา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญภาพ IV

สารบัญตาราง IV

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงงาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงานที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ทฤษฎี 3

2.1.1 วิทยุบังคับ 3

2.1.1.1 หลักการทำงานของเครื่องส่งวิทยุบังคับ 3

2.1.1.1.1 ภาคกำเนิดข้อมูลที่ใช้บังคับ (Encoder) 4

2.1.1.1.2 ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (RF Source) 4

2.1.1.1.3 ภาคการผสมคลื่น (Modulation) 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.1.1.3.1 การผสมคลื่นทางความสูง 5

2.1.1.1.3.2 การผสมคลื่นทางความถี่ 5

2.1.1.2 หลักการทำงานของเครื่องรับวิทยุบังคับ 5

2.1.1.2.1 ภาคเลือกรับความถี่ 6

2.1.1.2.2 ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ (Radio Frequency Amplifier) 6

2.1.1.2.3 ภาคกำเนิดความถี่วิทยุ (Radio Frequency Oscillator) 6

2.1.1.2.4 ภาคผสมคลื่น (Mixer) 6

2.1.1.2.5 ภาคขยายความถี่ IF (Intermediate Frequency Amplifier) 7

2.1.1.2.6 ภาคตรวจจับสัญญาณ (Detector) 8

2.1.1.2.7 ภาคถอดรหัสสัญญาณ (Decoder) 8

2.1.2 วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) 8

2.1.2.1 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider) 8

2.1.1.2 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (Loaded Voltage Divider) 9

2.1.3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) 10

2.1.4 วงจรขับมอเตอร์แบบ H-bridge 11

2.1.5 ทรานซิสเตอร์ 13

2.1.5.1 การสร้างทรานซิสเตอร์ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.5.2 การทำงานของทรานซิสเตอร์ 14

2.1.5.2.1 ทรานซิสเตอร์ที่ทำงานเป็นสวิตซ์ 14

2.1.5.2.2 ทรานซิสเตอร์ที่ทำงานเป็นตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ 15

2.1.5.3 การป้อนกระแสไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ 16

2.1.5.4 การจัดไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ 17

2.1.5.5 การทดสอบทรานซิสเตอร์ 18

2.1.5.6 การทดสอบเพื่อหาตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์ 19

2.1.6 คอนเด็นเซอร์หรือคาปาซิเตอร์ (Condensor หรือ Capacitor) 20

2.1.6.1 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ 20

2.1.6.2 การทำงานของตัวเก็บประจุ 20

2.6.1.2.1 การประจุ 21

2.1.6.2.2 การคายประจุ 21

2.1.6.3 ตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ (Capacitor) 22

2.1.6.3.1 ตัวเก็บประจุชนิดคงที่ (Fixed Capacitor) 22

2.1.6.3.1.1 ตัวเก็บประจุแบบกระดาษ 22

(Paper Capacitor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.6.3.1.2 ตัวเก็บประจุแบบไมก้า 22

(Mica Capacitor)

2.1.6.3.1.3 ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก 23

(Ceramic Capacitor)

2.1.6.3.1.4 ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลติก 23

(Electrolytic Capacitor)

2.1.6.3.1.5 ตัวเก็บประจุแบบน้ำมัน 24

(Oil Capacitor)

2.1.6.3.1.6 ตัวเก็บประจุแบบโพลีสไตลีน 24

(Polystyrene Capacitor)

2.1.6.3.1.7 ตัวเก็บประจุแทนทาลัม 25

(Tantalum Capacitor)

2.1.6.3.1.8 ตัวเก็บประจุแบบไมลาร์ 25

(Milar Capacitor)

2.1.6.3.1.9 ตัวเก็บประจุแบบไบโพลาร์ 26

(Bipolar Capacitor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.6.3.1.10 ตัวเก็บประจุแบบโพลีโพรไพลีน (Polypropyrene) 26

2.1.6.3.1.11 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ (Variable Capacitor) 26

2.1.7 ไดโอด (Diode) 27

2.1.7.1 การต่อไดโอด 28

2.1.7.2 รายละเอียดเกี่ยวกับตัวไดโอด 29

2.1.7.3 การใช้งานไดโอด 29

2.1.7.3.1. การใช้เป็นวงจรเรียงกระแสแบบต่างๆ 29

2.1.7.3.2 การใช้ป้องกันกระแสย้อนกลับหรือป้องกันการต่อผิดขั้วของวงจรไฟฟ้า 30

2.1.7.3.3 วงจรทวีแรงดัน 30

2.1.7.3.4 ใช้ในวงจรขลิบสัญญาณทางไฟฟ้า 30

2.1.8 รีเลย์ (Relay) 31

2.1.8.1 การทำงานของรีเลย์ 31

2.1.8.2 ขาของรีเลย์จะประกอบไปด้วยตำแหน่งต่างๆ ดังนี้ 32

2.1.8.3 ข้อคำถึงในการใช้งานรีเลย์ทั่วไป 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2 หลักการทำงาน 33

2.2.1 เซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) 33

2.2.2 เซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor) 34

2.3 โครงสร้างโปรแกรม 36

2.3.1 อธิบายโครงสร้างโปรแกรม 37

บทที่ 3 หลักการออกแบบและขั้นตอนการปฏิบัติงาน 38

3.1 หลักการออกแบบวงจร 38

3.1.1 การออกแบบวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) 38

3.1.1.1 การทดสอบเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) 38

3.1.2 การออกแบบวงจรควบคุมระดับการเอียงของมือ 41

3.1.2.1 การทดสอบเซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor) 41

3.2 หลักการออกแบบถุงมือควบคุมรถจำลอง 44

3.3 หลักการออกแบบการทำงานของตัวรถบังคับจำลอง 46

3.2.1 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน 47

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 48

4.1 บอร์ดทดลองภาคส่ง (TX) 48

4.1.1 ส่วนประกอบบนบอร์ดทดลองภาคส่ง (TX) 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 บอร์ดทดลองภาครับ (RX) 49

4.2.1 ส่วนประกอบบนบอร์ดทดลองภาครับ (RX) 50

4.3 วิธีการทดลอง 51

4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง 52

บทที่ 5 บทวิจารณ์ และ สรุปผล 56

5.1สรุปผลการดำเนินงาน 56

5.1.1 ภาคส่ง 56

5.1.2 ภาครับ 56

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 56

5.3 ประโยชน์ที่ได้จากการทำโครงงาน 57

5.4 แนวทางการพัฒนา 58

ภาคผนวก 56

ภาคผนวก ก 57

ภาคผนวก ข 76

เอกสารอ้างอิง 157

ประวัติผู้จัดทำ 158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ภาคต่างๆ ของเครื่องส่งวิทยุบังคับ 4

รูปที่ 2.2 รูปร่างของคลื่นต่างๆ หลังผ่านการผสมคลื่น 5

รูปที่ 2.3 ผังการทำงานของชุดเครื่องรับ (Receiver) 6

รูปที่ 2.4 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider) 8

รูปที่ 2.5 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (RL) 10

รูปที่ 2.6 วงจรเปรียบเทียบแบบบวก 10

รูปที่ 2.7 วงจรเปรียบเทียบแบบลบ 11

รูปที่ 2.8 H-Bridge switching สภาวะ off 11

รูปที่ 2.9 H-Bridge switching หมุนตามเข็มนาฬิกา 12

รูปที่ 2.10 H-Bridge Switching หมุนทวนเข็มนาฬิกา 12

รูปที่2.11 โครงสร้างทรานซิสเตอร์ PNP โครงสร้างทรานซิสเตอร์ NPN 13

รูปที่2.12 สัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ PNP ทรานซิสเตอร์ NPN 13

รูปที่ 2.13 การสร้างทรานซิสเตอร์ 14

รูปที่ 2.14 สภาวะ ON ของทรานซิสเตอร์ 15

รูปที่ 2.15 ทรานซิสเตอร์ที่ทำงานเป็นตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ 16

รูปที่ 2.16 การไบอัสทรานซิสเตอร์ NPN และ PNP 17

รูปที่ 2.17 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม C- E 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.18 วงจรเบสร่วม C-B 17

รูปที่ 2.19 วงจรคอลเลคเตอร์ร่วม C-C 18

รูปที่ 2.20 การทดสอบทรานซิสเตอร์ด้วยโอห์มมิเตอร์ 19

รูปที่ 2.21 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ 20

รูปที่ 2.22 ขั้นตอนการประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ 21

รูปที่ 2.23 ขั้นตอนการคายประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ 21

รูปที่ 2.24 สัญลักษณ์ตัวเก็บประจุแบบคงที่ 22

รูปที่ 2.25 โครงสร้างและรูปร่างของตัวเก็บประจุแบบกระดาษ (Paper Capacitor) 22

รูปที่ 2.26 โครงสร้างของตัวเก็บประจุแบบไมก้า (Mica Capacitor) 23

รูปที่ 2.27 โครงสร้างและรูปร่างของตัวเก็บประจุแบบเซรามิก (Ceramic Capacitor) 23

รูปที่ 2.28 ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic Capacitor) 24

รูปที่ 2.29 ตัวเก็บประจุแบบน้ำมัน (Oil Capacitor) 24

รูปที่ 2.30 ตัวเก็บประจุแบบโพลีสไตลีน (Polystyrene Capacitor) 24

รูปที่ 2.31ตัวเก็บประจุแทนทาลัม (Tantalum Capacitor) 25

รูปที่ 2.32 ตัวเก็บประจุแบบไมลาร์ (Milar Capacitor) 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.33 ตัวเก็บประจุแบบไบโพลาร์ (Bipolar Capacitor) 26

รูปที่ 2.34 ตัวเก็บประจุแบบโพลีโพรไพลีน (Polypropyrene) 26

รูปที่ 2.35 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ 27

รูปที่ 2.36 สัญลักษณ์ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ 27

รูปที่ 2.37 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด 28

รูปที่ 2.38 ตัวไดโอดจะแสดงขีดสีขาวซึ่งแสดงสัญลักษณ์ของขา K 28

รูปที่ 2.39 รูปวงจรการต่อแบบไบอัสต่างๆ 28

รูปที่ 2.40 แรงดันตกคร่อมไดโอด 29

รูปที่ 2.41 การต่อวงจรเรียงกระแส 30

รูปที่ 2.42 การต่อไดโอดเพื่อป้องกันการต่อไฟผิดขั้ว 30

รูปที่ 2.43 วงจรทวีแรงดันแบบหนึ่ง 30

รูปที่ 2.44 วงจรขลิบสัญญาณแบบหนึ่ง 31

รูปที่ 2.45 รีเลย์และสัญลักษณ์ของรีเลย์ 31

รูปที่ 2.46 สภาวะการทำงานของรีเลย์ 31

รูปที่ 2.47 ตำแหน่งขา และ ด้านบนจะแสดงรายละเอียดการใช้งาน 32

รูปที่ 2.48 เซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) 33

รูปที่ 2.49 วงจรของเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.50 โครงสร้างพื้นฐานของมิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Accelerometer) 34

รูปที่ 2.51 เซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor) 35

รูปที่ 2.52 แผนผัง Flowchart การเขียนโปรแกรม 36

รูปที่ 3.1 การทดสอบเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) 38

รูปที่ 3.2 การทดสอบเซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor) 41

รูปที่ 3.3 การออกแบบถุงมือบังคับรถ 44

รูปที่ 3.4 การออกแบบการทำงานของตัวรถบังคับ 46

รูปที่ 4.1 บอร์ดทดลองที่ต่อเพื่อรับสัญญาณ Radio Control จากบอร์ดทดลองภาคส่ง (TX) 48

รูปที่ 4.2 บอร์ดทดลองที่ต่อเพื่อประมวลผลจาก Bending Sensor และ Acceleration Sensor เพื่อส่งสัญญาณ Radio Control ไปสู่บอร์ดทดลองภาครับ (RX) 50

รูปที่ 4.3 หลอดไฟ LED จำนวน 3 หลอดแสดงถึงสถานการณ์ทำงานของมอเตอร์ เมื่อการเปลี่ยนแปลงค่าของ Sensor บนบอร์ดภาคส่ง (TX) 52

รูปที่ 4.4 ไฟ LED แสดง สถานะเดินหน้าติดเพียงอย่างเดียว 53

รูปที่ 4.5 ลักษณะการทำงานของบอร์ดภาคส่ง (TX) เพื่อให้มอเตอร์ทำงานเดินหน้าอย่างเดียว 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6 ไฟ LED แสดงสถานะ เดินหน้า และ เลี้ยวขวา 54

รูปที่ 4.7 ลักษณะการทำงานของบอร์ดภาคส่ง (TX) เพื่อให้มอเตอร์ 54
เดินหน้าและเลี้ยวขวา

รูปที่ 4.8 ไฟ LED แสดงสถานะ เดินหน้า และ เลี้ยวซ้าย 55

รูปที่ 4.9 ลักษณะการทำงานของบอร์ดภาคส่ง (TX) เพื่อให้มอเตอร์ 55
ทำงานเดินหน้าและเลี้ยวซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมุมและค่าความต้านทานของ เซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) ด้านหน้า (มีลวดลาย) 39

ตารางที่ 3.2 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมุมและค่าความต้านทานของ เซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) ด้านหลัง (ด้านที่มีตัวหนังสือ) 39

ตารางที่ 3.3 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมุม และค่าความต่างศักย์ของ เซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor) เมื่อเอียงไปทางซ้าย 41

ตารางที่ 3.4 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมุม และค่าความต่างศักย์ของ เซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor) เมื่อเอียงทางด้านขวา 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากยุคสมัยที่เปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว เทคโนโลยีต่างๆ มีความก้าวหน้ามากขึ้นในทุกด้านโดยเฉพาะการแพทย์ ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นว่าควรนำความรู้ที่เรียนมานำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์ที่จะอำนวยความสะดวก ง่ายต่อการใช้งาน และให้ความเพลิดเพลินกับผู้ป่วยที่ต้องเข้ารับการกายภาพบำบัด

รถบังคับเป็นของเล่นชนิดหนึ่ง ที่เป็นที่นิยมอย่างมากซึ่งหากนำของเล่นมาประยุกต์เข้ากับการกายภาพบำบัดจะสามารถสร้างความเพลิดเพลินให้กับผู้ป่วยมากกว่าการทำกายภาพบำบัดแบบธรรมดา ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงดัดแปลงให้ใช้งานง่ายและมีประโยชน์มากขึ้น โดยปรับเปลี่ยนจากการบังคับด้วยรีโมทให้เป็นถุงมือบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ จากแนวคิดดังกล่าวจึงกลายมาเป็นที่มาของโครงงานนี้ ซึ่งก็คือ “ CAR CONTROL USING A GLOVE ”

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. สามารถนำความรู้ที่เรียนมาประยุกต์กับแนวคิดใหม่ๆ เกิดเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สะดวกต่อการใช้งาน และฝึกทักษะของผู้เล่นให้พัฒนาดียิ่งขึ้น
2. เพื่อความแปลกใหม่ในวงการของเล่นเด็ก และเป็นโครงงานที่คาดว่าจะมีการพัฒนาและศึกษาต่อไปในอนาคตเพื่อนำไปปรับใช้ในด้านการแพทย์ โดยจะทำเป็นเครื่องช่วยบำบัดผู้ที่ต้องการทำกายภาพบำบัด นอกจากนั้นยังให้ความสนุก เพลิดเพลินกับผู้ป่วยอีกด้วย

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษาทฤษฎีวิทยุบังคับเบื้องต้น ตลอดจนหลักการทำงานของเครื่องส่งและเครื่องรับของวิทยุบังคับ
2. ศึกษาวงจรควบคุมมอเตอร์ด้วยเทคนิค H-Bridge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ศึกษาการทำงานของถุงมือ เพื่อให้มีความสามารถควบคุมบอร์ดทดลองและแสดงผลได้ตามลักษณะการเคลื่อนไหวของมือที่กำหนดไว้

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงงาน

รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการใช้ในโครงงาน เขียนโปรแกรมและสร้างบอร์ดทดลองวงจรที่สามารถให้ผลการทดลองโดยเปรียบเทียบด้วยไฟสัญญาณ LED ทั้ง 3 ดวง โดยมีการบังคับเลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และเดินหน้า รวมถึงทั้งบอร์ดทดลองวงจรของตัวรถ จากนั้นกัดลายวงจรตัวรถจำลองและถุงมือ ทำการทดสอบ ปรับแต่งและแก้ไข

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการทำงานที่เกี่ยวข้อง

จากที่ได้กล่าวในบทที่ 1 แล้วว่า ก่อนที่จะมีการออกแบบและสร้างระบบควบคุมตัวรถจำลองนั้น จำเป็นต้องศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ที่จำเป็นของระบบควบคุมที่สนใจให้เข้าใจเสียก่อน พบว่าระบบควบคุมตัวรถจำลองนั้นมีส่วนที่สำคัญหลายส่วน ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงเนื้อหาที่ควรจะศึกษาก่อนนำไปออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของตัวรถจำลองและการออกแบบถุงมือควบคุมรถจำลอง ซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีวิทยุบังคับ วงจรที่ใช้ในการควบคุมตัวรถจำลอง รวมถึงรายละเอียดโครงสร้างโปรแกรม

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 วิทยุบังคับ

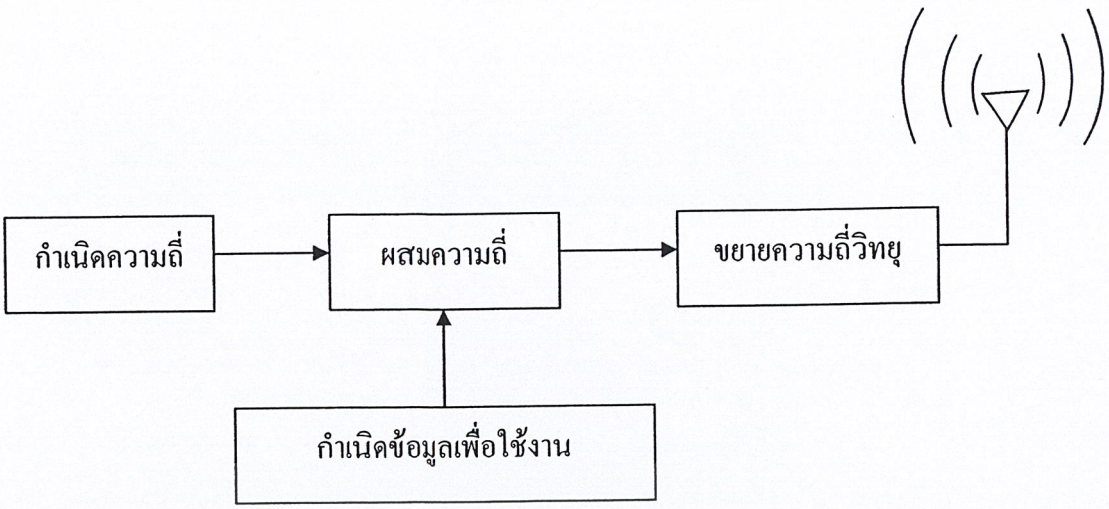
วิทยุบังคับ 1ชุด จะต้องประกอบด้วยเครื่องส่งและเครื่องรับเครื่องส่งจะเป็นตัวกำเนิดสัญญาณควบคุม สำหรับส่งออกไปควบคุมทางด้านภาครับ โดยอาศัยคลื่นวิทยุเป็นตัวกลาง ในการนำสัญญาณควบคุมไปยังเครื่องรับ ทางด้านเครื่องรับจะแยกเอาสัญญาณควบคุมออกจากคลื่นวิทยุโดยการถอดรหัส แล้วส่งไปยังเซอร์โวมอเตอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณควบคุมให้เป็นพลังงานกลในการเคลื่อนไหวอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องการบังคับ วิทยุบังคับที่ใช้บังคับอุปกรณ์ได้หลายอย่างเรียกว่า วิทยุบังคับหลายแชนแนล จะต้องมีเซอร์โวมอเตอร์หลายตัวตามไปด้วย

2.1.1.1 หลักการทำงานของเครื่องส่งวิทยุบังคับ

สำหรับเครื่องส่งอาจแบ่งได้ตามลักษณะของการผสมคลื่น (Modulation) เป็นวิธีการที่เครื่องส่งนำเอาสัญญาณข่าวสาร (ภาพ เสียง ข้อมูล) ไปผสมกับคลื่นพาหะความถี่สูง แล้วส่งไปยังเครื่องรับจะต้องประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1.สัญญาณข่าวสาร (Signal Frequency) 2.สัญญาณคลื่นพาห์ (Carrier Signal) 3.ตัวผสมสัญญาณ (Modulator or Mixer)

เครื่องส่งวิทยุเครื่องหนึ่งจะแบ่งเป็นภาคต่างๆ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ภาคต่างๆ ของเครื่องส่งวิทยุบังคับ

จากรูปที่ 2.1 แบ่งภาคต่างๆ ของเครื่องส่งได้ดังนี้

2.1.1.1.1 ภาคกำเนิดข้อมูลที่ใช้บังคับ (Encoder)

เมื่อกดสวิตซ์หรือสับสวิตซ์เพื่อบังคับจากเครื่องส่ง จะกำเนิดขบวนการของพัลซ์ จะนำสัญญาณควบคุมส่งไปผสมกับสัญญาณความถี่วิทยุ (RF Signal) ต่อไปในภาคผสมคลื่น

2.1.1.1.2 ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (RF Source)

ในภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ หัวใจสำคัญที่กำเนิดความเที่ยงตรงของความถี่ที่ส่งออกอากาศไป คือ ผลึกแร่บังคับความถี่ที่เรียกว่า คริสตัล (Crystal) ซึ่งอยู่ในวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิดผลิตความถี่ด้วยผลึกแร่ เมื่อได้สัญญาณ RF ออกจากวงจรออสซิลเลเตอร์ จะต้องส่งไปผสมกับสัญญาณควบคุมที่กำเนิดมาแล้ว โดยมีวงจรผสมกับสัญญาณเป็นภาคผสมคลื่น (Modulation) แล้วขยายสัญญาณทั้งหมดให้มีกำลังแรงขึ้น เพื่อป้อนเข้าสู่สายอากาศแล้วส่งออกอากาศต่อไป

2.1.1.1.3 ภาคการผสมคลื่น (Modulation)

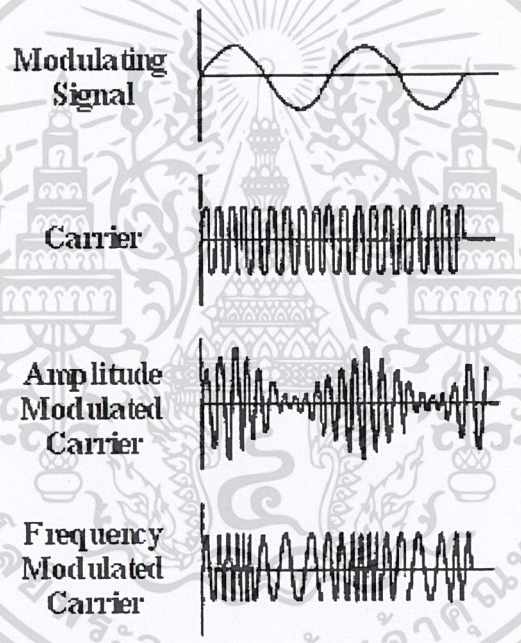
สัญญาณควบคุมไม่สามารถไปได้ไกล ส่วนสัญญาณความถี่วิทยุ (RF:Audio Frequency) สามารถเดินทางไปได้ไกลมาก ดังนั้นถ้าต้องการให้สัญญาณควบคุมการเดินทางไปได้ไกลจะต้องมีการผสมคลื่นพาหะ (Carrier) เป็นตัวนำพาสัญญาณควบคุมไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นคือ จะต้องมีการผสมคลื่น (Modulation) การผสมคลื่นเรียกว่าการมอดูเลชั่น (Modulation) ที่นิยมจะมีการผสมคลื่นอยู่ 2 แบบ คือ

2.1.1.1.3.1 การผสมคลื่นทางความสูง คือ แอมปลิจูดมอดดูเลชัน (AM : Amplitude Modulation) หมายถึง เมื่อนำความถี่เสียงมาผสมกับความถี่วิทยุแล้ว ความแรงของความถี่วิทยุจะเปลี่ยนแปลงตามความแรงของความถี่เสียงที่นำไปผสม

2.1.1.1.3.2 การผสมคลื่นทางความถี่ คือ ฟรีเควนซีมอดูเลชัน (FM : Frequency Modulation) หมายถึง เมื่อนำความถี่เสียง (AF) มาผสมกับความถี่วิทยุ (RF) ความถี่เสียงจะไปควบคุมให้ความถี่ของคลื่นวิทยุเปลี่ยนแปลงตามความถี่เสียง

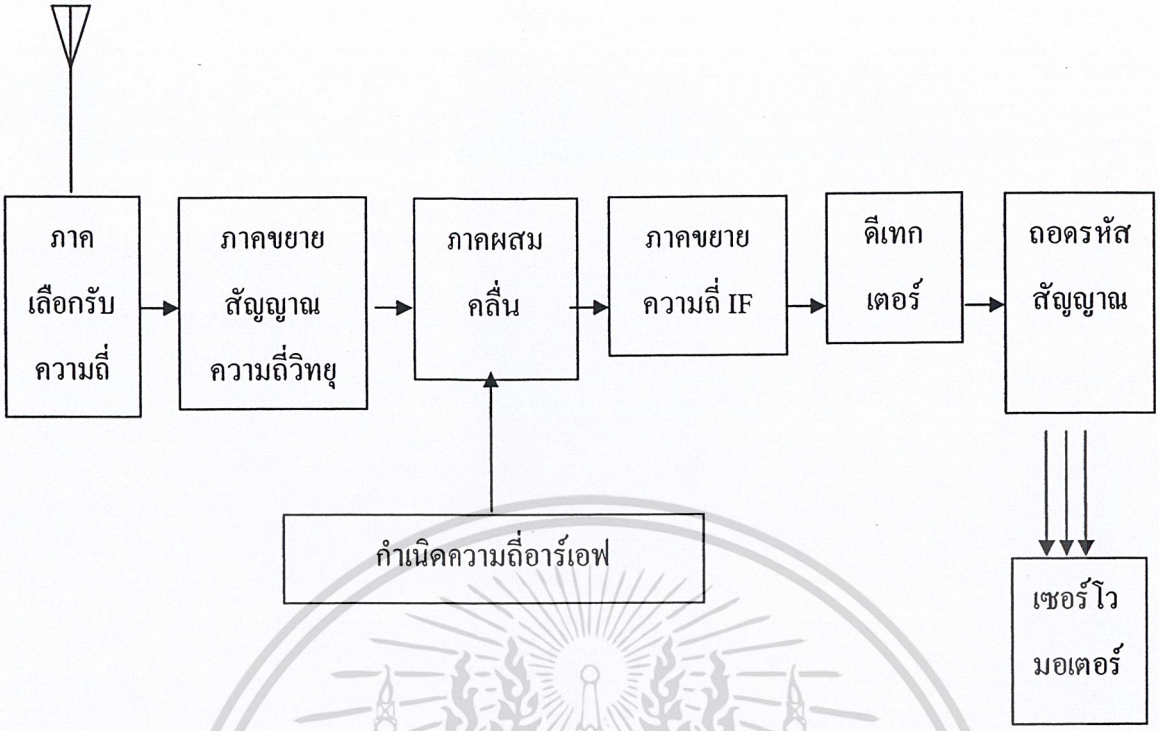


รูปที่ 2.2 รูปร่างของคลื่นต่างๆ หลังผ่านการผสมคลื่น

2.1.1.2 หลักการทำงานของเครื่องรับวิทยุบังคับ

ในรูปที่ 2.3 เมื่อสัญญาณวิทยุจากเครื่องส่งมาเข้าสายอากาศเครื่องรับ จะผ่านขั้นตอนต่างๆ ในเครื่องรับโดยเริ่มจากการขยายสัญญาณนั้นให้มีขนาดสูงขึ้น ผสมกับความถี่จากวงจรออสซิลเลเตอร์ได้เป็นความถี่ (Intermediate Frequency : IF) ผ่านภาคขยายที่มีเซรามิกฟิลเตอร์จนไปถึงภาคดีเทกเตอร์ (Detector) จากนั้นจึงส่งเข้าไอซีที่ทำหน้าที่เป็นดีโค้ดเดอร์ (Decoder) ถอดรหัสสัญญาณเพื่อส่งออกไปยังเซอร์โวและมอเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ผังการทำงานของชุดเครื่องรับ (Receiver)

สรุปภาคต่างๆ ในเครื่องรับพอสังเขปดังนี้

2.1.1.2.1 ภาคเลือกรับความถี่

วงจรเลือกรับความถี่จะต้องเลือกความถี่ที่ต้องการเข้ามาในเครื่องรับวิทยุได้วงจรเลือกความถี่เรียกว่าวงจรจูนเนอร์ (Tunner) วงจรนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ คือขดลวด (L) และคาปาซิเตอร์ (C)

2.1.1.2.2 ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ (Radio Frequency Amplifier)

เมื่อสัญญาณวิทยุเดินทางผ่านอากาศมากระทบกับสายอากาศ ซึ่งเป็นสายตัวนำเส้นเดียว จะผ่านวงจรที่ทำให้เกิดการแมตช์ระหว่างสายอากาศกับด้านอินพุตของวงจรขยายความถี่สูงได้มากที่สุด จากนั้นสัญญาณวิทยุจะถูกขยายให้มีกำลังสูงขึ้นที่วงจรขยายนี้เพื่อให้เพียงพอในการผสมกับสัญญาณจากวงจร Radio Frequency Amplifier (RF) ออสซิลเลเตอร์ในภาคผสมคลื่นต่อไป

2.1.1.2.3 ภาคกำเนิดความถี่วิทยุ (Radio Frequency Oscillator)

เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิดควบคุมความถี่ด้วยแร่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณความถี่ที่ต่างจากความถี่ของเครื่องส่งวงจรจะสร้างความถี่ขึ้นมาเพียงความถี่เดียว แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ที่สร้างขึ้นจะแตกต่างกว่าความถี่ที่รับเข้ามา 455 KHz เสมอแล้วส่งต่อไปยังภาคผสมคลื่น

2.1.1.2.4 ภาคผสมคลื่น (Mixer)

เป็นภาคที่รับเอาสัญญาณวิทยุจากภาคขยายความถี่วิทยุ มาผสมกับสัญญาณจากภาค Radio Frequency (RF) ออสซิลเลเตอร์ที่กำเนิดขึ้นภายในเครื่องรับ แล้วจะได้ผลออกมาเป็นค่าความถี่ของ Intermediate Frequency (IF) ดังนี้

1.วงจรจูนเนอร์ เลือกความถี่ที่ต้องการ (RF)

2.วงจรออสซิลเลเตอร์ คือวงจรที่สร้างความถี่ขึ้นจากเครื่องรับ

การรวมสัญญาณจะนำเอาสัญญาณจากความถี่ (RF : Audio Frequency) ที่เลือกเข้ามาจากวงจรจูนเนอร์และความถี่ที่ผลิตได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ (Osc : Oscillator) นำมาดำเนินการดังนี้

นำสัญญาณทั้ง 2 มารวมกัน คือ จะได้ผลบวก

$$\text{Mixer} = \text{Osc} + \text{RF} \qquad (2.1)$$

นำสัญญาณทั้งสองมาหักล้างกัน คือ จะได้ผลต่าง

$$\text{Mixer} = \text{Osc} - \text{RF} \qquad (2.2)$$

การหักล้างกันหรือผลต่าง จะได้ความถี่กลาง คือ 455 KHz เมื่อดำเนินการเสร็จสมบูรณ์จะออกจากเอาท์พุตของภาคมิกเซอร์ โดยมีเซอร์รามิคฟิลเตอร์ จะกรองความถี่เฉพาะ 455 KHz เท่านั้นที่ผ่านได้ ความถี่ดังกล่าวนี้ คือ ความถี่กลาง (IF) ส่งไปยังภาคขยายความถี่

2.1.1.2.5 ภาคขยายความถี่ IF (Intermediate Frequency Amplifier)

เมื่อได้ความถี่ IF ออกมาจากภาคผสมคลื่น จะถูกส่งมายังภาคขยายความถี่ IF ซึ่งเป็นวงจรขยายชนิดจูนแอมปลิฟายเออร์ จะมีการกำหนดย่านความถี่ที่จะให้ผ่านไปได้เป็นบางความถี่ จะนำเอาความถี่ IF 455 KHz มาดำเนินการขยายสัญญาณให้มีกำลังสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2.6 ภาคตรวจจับสัญญาณ (Detector)

หลังจากได้สัญญาณผสมด้วยข้อมูลออกจากภาคขยาย IF แล้วสัญญาณจะถูกดีเท็กเตอร์ สัญญาณที่ถูกดีเทกออกมาแล้วรูปร่างจะเหมือนกับสัญญาณในภาคกำเนิดข้อมูลหรือเข้ารหัส (Encoder) ของเครื่องส่ง สัญญาณที่ดีเท็กแล้วนี้พร้อมที่จะป้อนเข้าวงจรถอดรหัส (Decoder) ต่อไป ส่วนคลื่นวิทยุจะถูกบายพาสทิ้งสู่กราวด์

2.1.1.2.7 ภาคถอดรหัสสัญญาณ (Decoder)

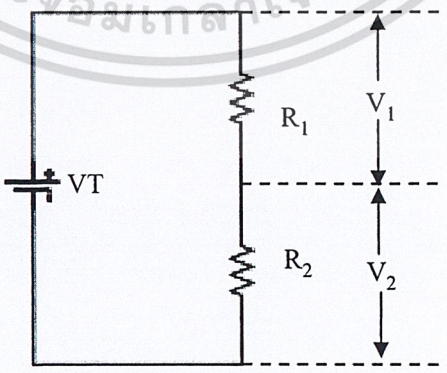
ถือว่าเป็นภาคสำคัญที่สุด ถ้าไม่มีภาคถอดรหัสสัญญาณนี้จะไม่สามารถแยกการควบคุมแต่ละช่องได้ตามที่ต้องการ

2.1.2 วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider)

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า เรียกว่า "โวลต์เตจดีไวเดอร์" (Voltage Divider) ใช้หลักการของวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม (Series Circuit) เนื่องจากวงจรอนุกรมมีแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานหรือโหลดไม่เท่ากันวงจรแบ่งแรงดันแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider) และวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (Loaded Voltage Divider)

2.1.2.1 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider)

วงจรการแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider) คือ วงจรแบบอนุกรมทั่ว ๆ ไปนั่นเอง ซึ่งสามารถที่จะแบ่งแรงดันได้หลายๆ ค่า เพื่อนำไปจ่ายให้กับโหลดที่ต้องการแรงดันในระดับต่างๆที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งทั้งนี้แรงดันที่ถูกแบ่งทั้งหมดจะได้มาจากแหล่งกำเนิดแรงดันเพียงตัวเดียวเท่านั้น วงจรแรงดันแต่ยังไม่ต่อโหลด การคำนวณจึงไม่ต้องนำโหลดมาพิจารณา ดังรูปวงจรที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรจะได้สูตร V1 , V2 ดังนี้

$$V_1 = V_T\left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right) \quad (2.3)$$

$$V_2 = V_T\left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right) \quad (2.4)$$

จากรูปวงจรรูปที่ 2.4 เป็นวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม (Series Circuit) การแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider) ตัวต้านทาน R_1 และ R_2 จะทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งแรงดันไฟฟ้า เพราะแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ไม่เท่ากัน

การหาค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม ถ้าจะใช้สูตรตามหลักการของวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม (Series Circuit) จะทำให้เกิดความยุ่งยากและเสียเวลา ดังนั้นเพื่อการคำนวณที่ง่ายและรวดเร็วขึ้นจึงมีสูตรเฉพาะที่ใช้กับวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีโหลด

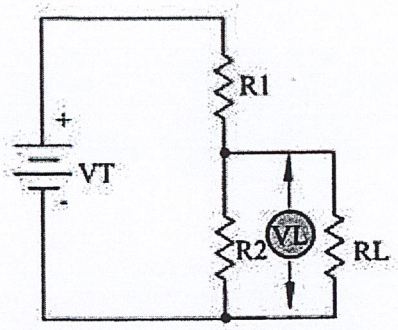
$$V_2 = V_T\left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right) \quad (2.5)$$

$$V_1 = V_T\left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right) \quad (2.6)$$

2.1.1.2 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (Loaded Voltage Divider)

ในวงจรอนุกรมที่คำนวณค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานต่างๆ เมื่อนำเอาโหลด (R_L) มาต่อคร่อมตัวต้านทานตัวใดตัวหนึ่งจะได้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด อย่างไรก็ตามจะต้องมีการคำนวณค่ากระแสของแหล่งจ่ายให้เพียงพอต่อการจ่ายกระแสให้โหลดด้วย เพราะเนื่องจากถ้าโหลดใช้กระแสมาก แรงดันที่จ่ายให้โหลดจะลดลงจากกรณีที่ไม่มีโหลด วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (Loaded Voltage Divider) แสดงดังรูปวงจรที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



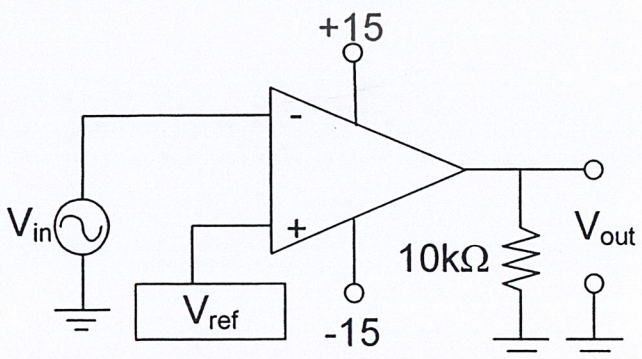
รูปที่ 2.5 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (R_L)

จากรูปวงจรที่ 2.5 มีโหลด (R_L) มาต่อคร่อมอยู่กับตัวต้านทาน R_2 ดังนั้นในการหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่แบ่งมาให้โหลด (R_L) เพื่อการคำนวณที่ง่ายและรวดเร็วขึ้น จึงมีสูตรคำนวณเฉพาะที่ใช้กับวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (R_L) ดังนี้

$$V_L = V_T \left\{ \frac{(R_2 // R_L)}{(R_2 // R_L) + R_1} \right\} \qquad (2.7)$$

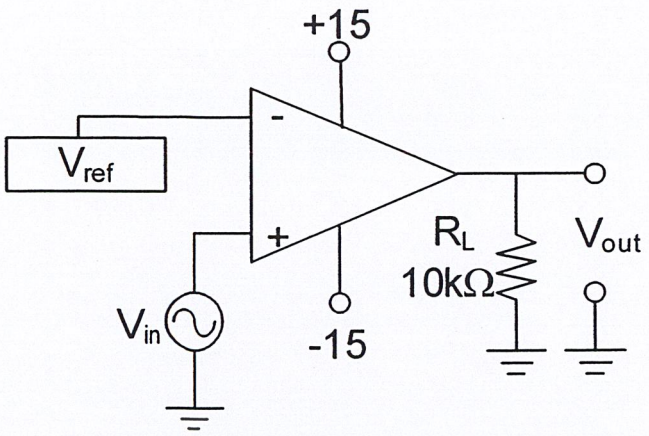
2.1.3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator)

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณเป็นวงจรที่ใช้เปรียบเทียบสัญญาณที่ป้อนให้ที่ขาอินพุทขาหนึ่งกับแรงดันเปรียบเทียบที่ขาอินพุทอีกขาหนึ่ง จากรูปที่ 2.6 และ 2.7 จะสังเกตเห็นว่ารูปที่ 2.6 เป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบบวก โดยที่สัญญาณทางอินพุทขั้วสัญญาณด้านลบ (Inverting Input Terminal) ส่วนแรงดันอ้างอิง (แรงดัน DC) จะเชื่อมเข้ากับขั้วสัญญาณด้านบวก (Non-Inverting Input Terminal)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบบวก

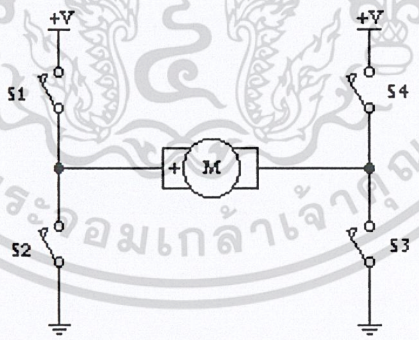


รูปที่ 2.7 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบลบ

จากรูปที่ 2.7 เป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบลบโดยที่สัญญาณทางอินพุทขั้วสัญญาณด้านบวก (Non-Inverting Input Terminal) ส่วนแรงดันอ้างอิง (แรงดัน DC) จะเชื่อมเข้ากับขั้วสัญญาณด้านลบ (Inverting Input Terminal)

2.1.4 วงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge

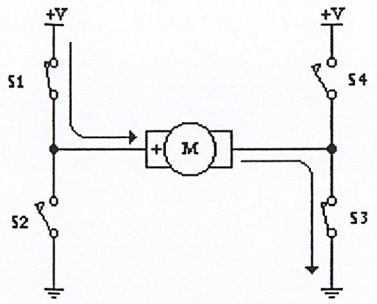
หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching



รูปที่ 2.8 H-Bridge Switching สภาวะ off

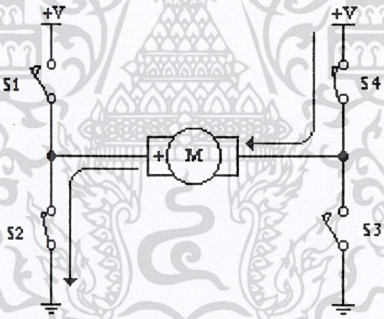
เริ่มจากหลักการของวงจรนั้นจะประกอบไปด้วยสวิทช์ 4 ตัว นั่นก็คือ S1 , S2 , S3 และ S4 ซึ่งในรูปตัวอย่างจะใช้ DC Motor เป็น Load ของวงจรนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 H-Bridge Switching หมุนตามเข็มนาฬิกา

ในสภาวะเริ่มต้นสวิทช์ทุกตัว Off อยู่ก็จะไม่มีอะไรเกิดขึ้นทั้งสิ้น เพราะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่มอเตอร์ (รูปที่ 2.8) และเมื่อทำการ On สวิทช์ S1 และ S3 พร้อมกัน (รูปที่ 2.9) จะเป็นการเชื่อมวงจรทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์จากขั้วบวกของมอเตอร์ไปยังขั้วลบของมอเตอร์จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (จะหมุนแบบตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกานั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของการพันขดลวดภายในมอเตอร์)



รูปที่ 2.10 H-Bridge Switching หมุนทวนเข็มนาฬิกา

และในทางกลับกันถ้าหากทำการ On สวิทช์ S2และS4 พร้อมกัน (รูปที่ 2.10) ก็จะเป็นการเชื่อมวงจรและทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์จากขั้วลบของมอเตอร์ไปยังขั้วบวกของมอเตอร์จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ และเป็นการหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (กลับทิศทางกับกรณีแรก)

สรุปได้ว่า วงจรนี้จะอาศัยสวิทช์ 4 ตัว เพื่อบังคับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์ เพื่อควบคุมให้มอเตอร์หมุนตามทิศทางที่ต้องการ โดยการผลัดกัน On และ Off สวิทช์พร้อมกัน 2 ตัวนั่นเอง

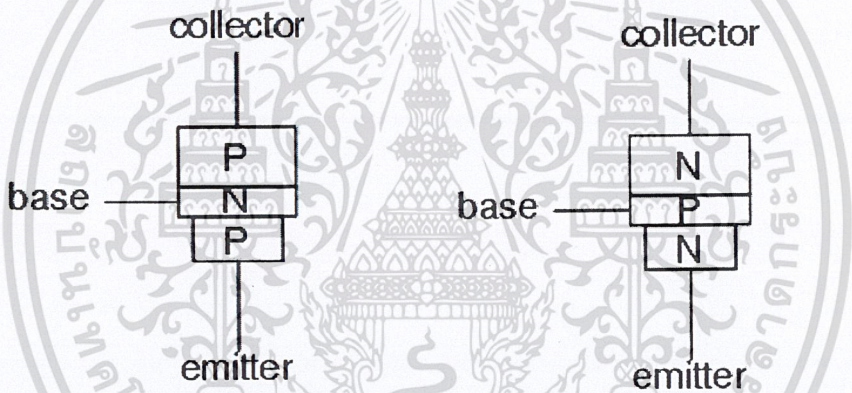
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์สร้างมาจากวัสดุประเภทสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N มารวมกันโดยทำให้เกิดรอยต่อระหว่างเนื้อสารนี่สองรอยต่อ โดยสามารถจัดทรานซิสเตอร์ได้ 2 ชนิด คือ

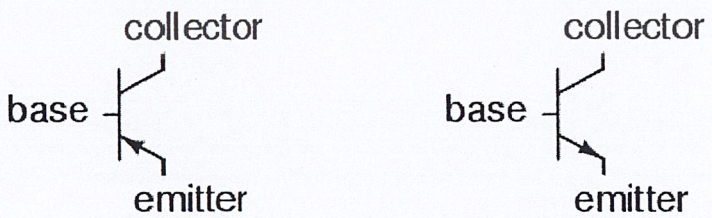
1. ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN
2. ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

รอยต่อจากเนื้อสารทั้ง 3 นี้ มีจุดต่อเป็นขาทรานซิสเตอร์ เพื่อใช้เชื่อมโยงหรือบัดกรีกับอุปกรณ์อื่นดังนั้นทรานซิสเตอร์จึงมี 3 ขา มีชื่อเรียกว่า คอลเลคเตอร์ (สัญลักษณ์ C : Collector) อิมิตเตอร์ (สัญลักษณ์ E : Emitter) และ เบส (สัญลักษณ์ B : Base) รูปร่างโครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ ดังรูปที่ 2.11



(ก.) โครงสร้างทรานซิสเตอร์ PNP (ข.) โครงสร้างทรานซิสเตอร์ NPN

รูปที่ 2.11 โครงสร้างทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN



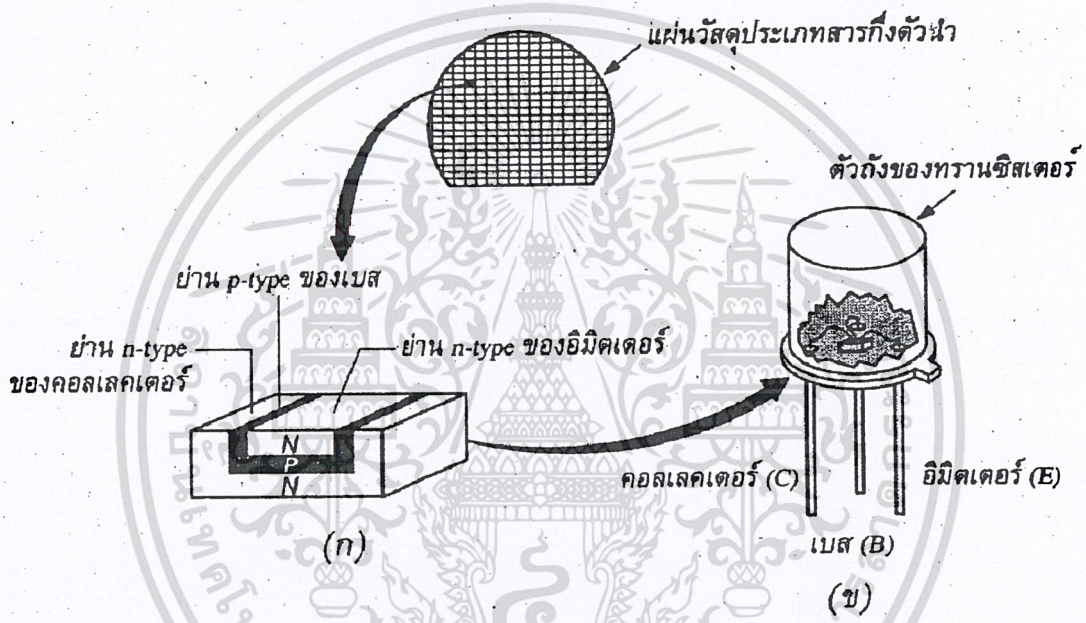
(ก.) ทรานซิสเตอร์ PNP (ข.) ทรานซิสเตอร์ NPN

รูปที่ 2.12 สัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.1 การสร้างทรานซิสเตอร์

การสร้างทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด NPN และ PNP จะทำการเชื่อมส่วนที่ได้รับการโด๊ปที่แตกต่างกันทั้ง 3 ส่วน ด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การแพร่กระจาย ตัวอย่าง เช่น การสร้างทรานซิสเตอร์ประเภท NPN การบวนการสร้างจะเริ่มจากการแพร่กระจายส่วนที่เป็น p-type ของเบสเข้ากับส่วนที่เป็น n-type ของคอลเลคเตอร์ หลังจากส่วนของเบสที่เป็น p-type เริ่มเข้ารูปก็จะทำการแพร่กระจายส่วนที่เป็น n-type ของอิมิตเตอร์ให้เข้ากับส่วนที่เป็น p-type ของเบส ก็จะได้ทรานซิสเตอร์ NPN ที่เสร็จสมบูรณ์ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การสร้างทรานซิสเตอร์

2.1.5.2 การทำงานของทรานซิสเตอร์

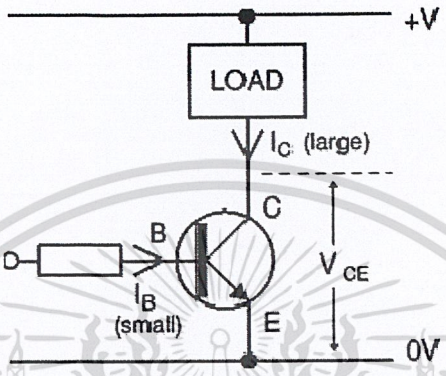
ทรานซิสเตอร์นั้นจะประกอบด้วยไดโอดจำนวน 2 ตัว ได้แก่ เบส - คอลเลคเตอร์ไดโอด และเบส-อิมิตเตอร์ไดโอด โดยเมื่อเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ไดโอดทั้งสองจะต่อกันแบบหลังชนหลัง แต่ถ้าเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ไดโอดทั้งสองจะชี้เข้าไปยังขาเบส

2.1.5.2.1 ทรานซิสเตอร์ที่ทำงานเป็นสวิตช์

การนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานเป็นสวิตช์การปิดเปิดวงจรของทรานซิสเตอร์จะถูกควบคุมโดยเบส-อิมิตเตอร์ไดโอด (B-E) นั่นคือ เมื่อ เบส-อิมิตเตอร์ไดโอด ได้รับไบอัสตรงทรานซิสเตอร์จะอยู่สภาวะ ON แต่ถ้าเบส-อิมิตเตอร์ไดโอดได้รับไบอัสกลับทรานซิสเตอร์ก็จะอยู่ในสภาวะ OF โดยการป้อนกระแสเบส (IB) ให้กับเบสของทรานซิสเตอร์ เพื่อให้รอยต่อระหว่างคอลเลคเตอร์กับ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อิมิตเตอร์นำกระแสได้ และต้องจ่ายกระแสเบสให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสจนอิ่มตัวจะเกิดกระแสไหลผ่านรอยต่อคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์ เปรียบได้ว่าสวิตซ์ระหว่างจุด C และ E ทำงาน เมื่อหยุดปล่อยกระแสเบสให้กับเบสของทรานซิสเตอร์จะไม่สามารถทำงานเป็นสวิตซ์ได้ กระแสคอลเลคเตอร์จะไม่ไหลผ่านรอยต่อไปสู่อิมิตเตอร์ (IC = 0) ขณะนี้ทรานซิสเตอร์จะอยู่ในสภาวะคัตออฟ เปรียบได้ว่าสวิตซ์ระหว่างจุด C และ E เปิดสวิตซ์ระหว่างจุด C และ E เปิดสวิตซ์ทำงานไม่ได้

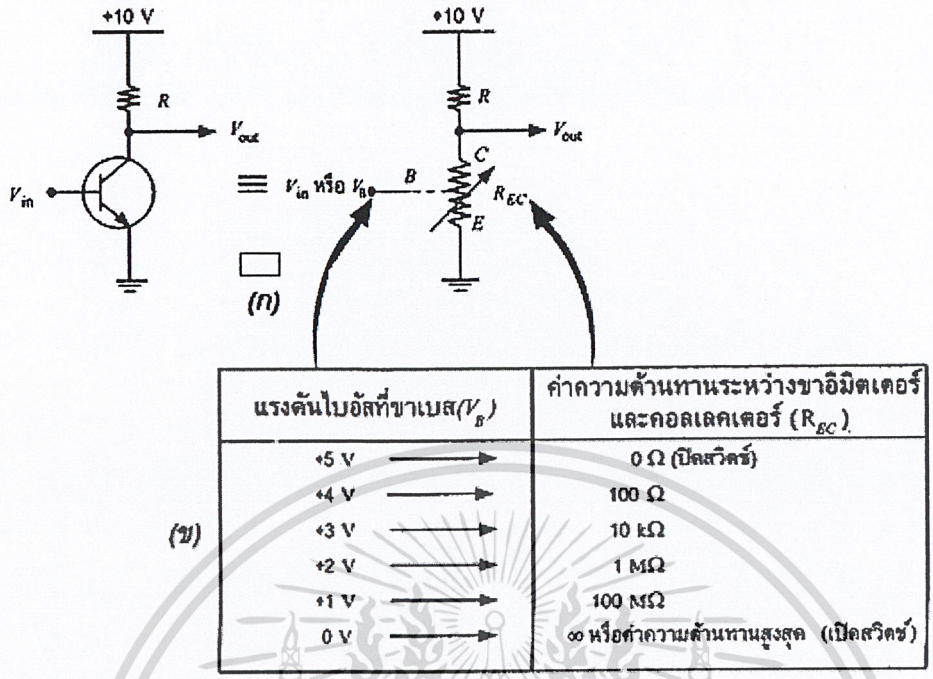


รูปที่ 2.14 แสดงสภาวะ ON-OFF ของทรานซิสเตอร์

2.1.5.2.2 ทรานซิสเตอร์ที่ทำงานเป็นตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้

การใช้งานทรานซิสเตอร์นอกจากจะใช้เป็นสวิตซ์เปิดปิดวงจรแล้วความสามารถด้านอื่นของ ทรานซิสเตอร์ คือ ใช้เป็นตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ โดยมีวงจรสมมูล ดังรูปที่ 2.15 (ก) จากรูปที่ 2.14 ที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้า + 5 V ที่เบสอินพุตทาให้เกิดค่าความต้านทานต่ำระหว่างอิมิตเตอร์และคอลเลคเตอร์ (ปิดสวิตซ์) เมื่อให้แรงดันไฟฟ้า 0 V จ่ายเข้าที่เบสอินพุต กลับทำให้เกิดค่าความต้านทานสูง ระหว่างอิมิตเตอร์และคอลเลคเตอร์ (เปิดสวิตซ์) ตารางในรูปที่ 2.15 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันที่เบสอินพุต (VB) และค่าความต้านทานของอิมิเตอร์-คอลเลคเตอร์ (RC-E) จากตารางจะเห็นว่า ทรานซิสเตอร์ไม่เพียงแต่จะทางานเป็นสวิตซ์เปิกปิดวงจรเท่านั้น จะเห็นได้จาก ถ้าเบสอินพุตได้รับ แรงดันไฟฟ้าในช่วง +5 V ถึง 0 V ทรานซิสเตอร์จะอยู่ในช่วง ON บางส่วนและค่าความต้านทานของอิมิเตอร์-คอลเลคเตอร์ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 จนถึงค่าความต้านทานสูงสุด ตัวอย่างเช่น เมื่อ VB = +4 V จะทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะ ON ไม่เต็มที่ ค่าความต้านทานของอิมิเตอร์-คอลเลคเตอร์ ในกรณีค่อนข้างสูง คือ 100 Ω ถ้าลดแรงดันไฟฟ้าที่เบสอินพุตลดลงเป็น +3 V ค่าความต้านทานของอิมิเตอร์-คอลเลคเตอร์จะเพิ่มขึ้นเป็น 10 kΩ และถ้าแรงดันลดลงที่เบสอินพุตไปอีก (VB) ก็จะทำให้ค่าความต้านทานของอิมิเตอร์-คอลเลคเตอร์เพิ่มมากขึ้น (RC-E) จนกระทั่ง VB = 0 V จะทำให้ RC-E เท่ากับค่าความต้านทานสูงสุด

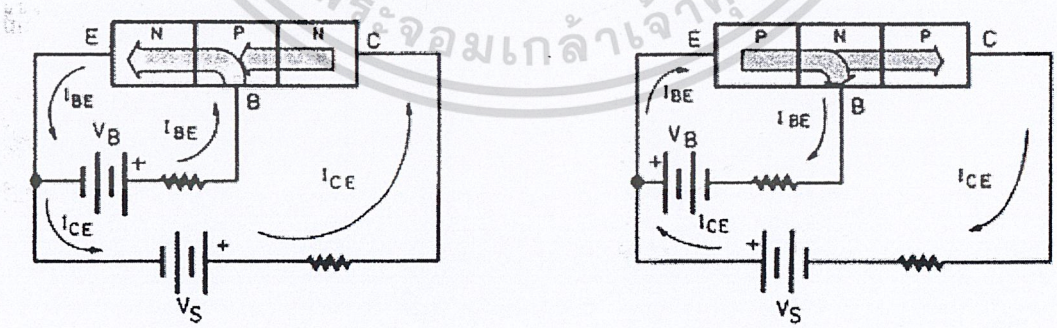
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ทรานซิสเตอร์ที่ทำงานเป็นตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้

2.1.5.3 การป้อนกระแสไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์

จากที่ทราบแล้วว่าไดโอดชนิดรอยต่อ P-N เมื่อได้รับการป้อนกระแสไบอัสตรง จะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้แต่ถ้าได้รับการป้อนกระแสไบอัสกลับ ไดโอดจะแสดงคุณสมบัติต้านการไหลของกระแสไฟฟ้า สำหรับทรานซิสเตอร์ก็เช่นเดียวกัน จะต้องได้รับการป้อนไบอัสที่เหมาะสมจึงจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ถูกต้อง



(ก.) การไบอัสทรานซิสเตอร์ NPN (ข.) การไบอัสทรานซิสเตอร์ PNP

รูปที่ 2.16 การไบอัสทรานซิสเตอร์ NPN และ PNP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

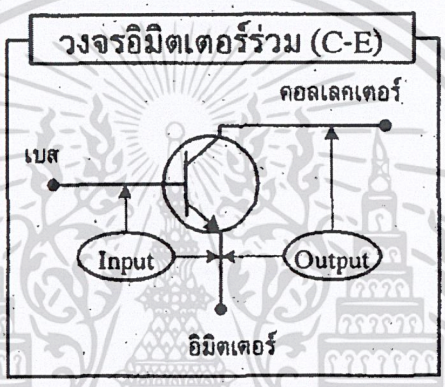
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จะเห็นได้ว่า ขาเบสและอิมิตเตอร์ได้รับการไบอัสตรง ขณะที่ขาเบสและคอลเลคเตอร์ได้รับการไบอัสกลับ เพราะว่าขาเบสกับขาอิมิตเตอร์เป็นวงจรอินพุต และขาเบสกับคอลเลคเตอร์เป็นวงจรเอาท์พุต

2.1.5.4 รูปแบบการต่อใช้งานของทรานซิสเตอร์

ถึงแม้ว่าทรานซิสเตอร์จะถูกนำไปใช้งานในวงจรต่างๆ มากมาย แต่วงจรเหล่านั้นก็ยังสามารถที่จะจัดแยกออกเป็นกลุ่มได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

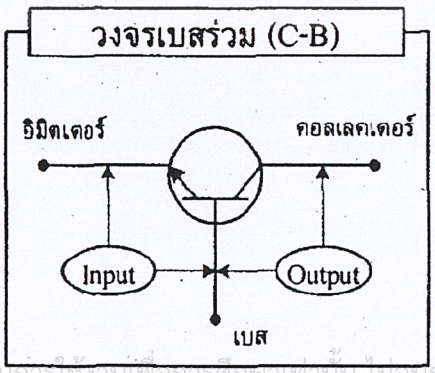
1. วงจรอิมิตเตอร์ร่วม C- E (Common - Emitter)



รูปที่ 2.17 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม C- E

สัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้ามาระหว่างขาเบส และขาอิมิตเตอร์ ในขณะที่สัญญาณเอาต์พุตจะปรากฏระหว่างขาคอลเลคเตอร์และขาอิมิตเตอร์ จากการจัดรูปแบบของวงจรในลักษณะนี้ จะเห็นว่าสัญญาณอินพุตจะเป็นตัวควบคุมกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ซึ่งก็จะเป็นการควบคุมกระแสคอลเลคเตอร์ ซึ่งเป็นเอาต์พุตของวงจรด้วย ส่วนขาอิมิตเตอร์จะขาร่วม (Common)

2. วงจรเบสร่วม C-B (Common - Base)



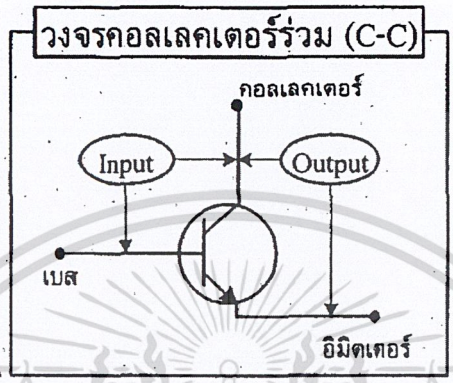
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 วงจรเบสร่วม C-B

119445

สัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้าระหว่างขาอิมิตเตอร์และขาเบส โดยสัญญาณเอาต์พุตจะไปปรากฏร่อมอยู่ระหว่างขาคอลเลคเตอร์และขาเบส ส่วนขาเบสของวงจรรูปแบบนี้จะใช้เป็นขาร่วม (Common) ให้กับทั้งอินพุตและเอาต์พุต

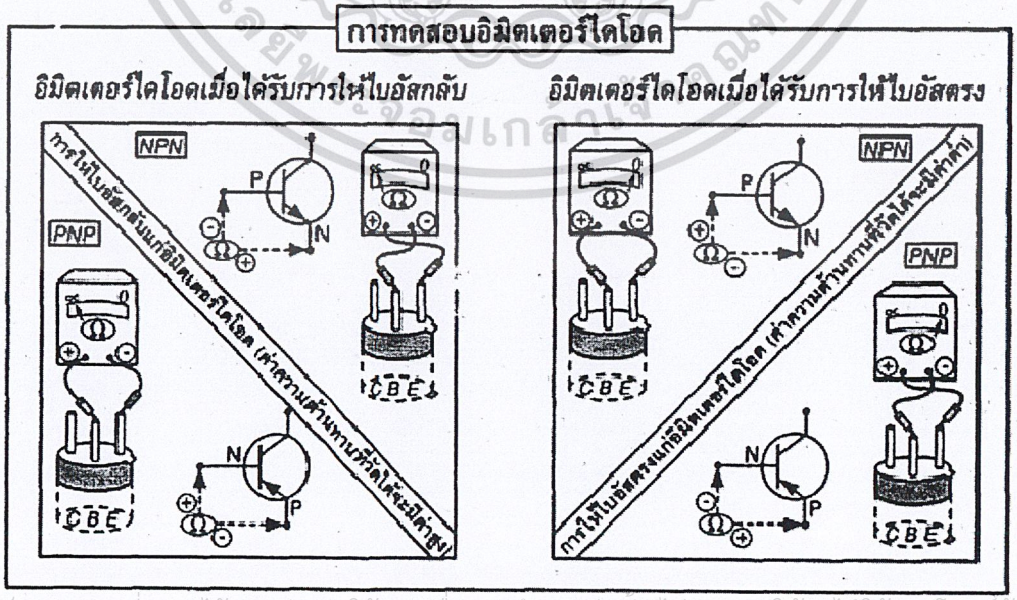
3. วงจรคอลเลคเตอร์ร่วม C-C (Common – Collector)



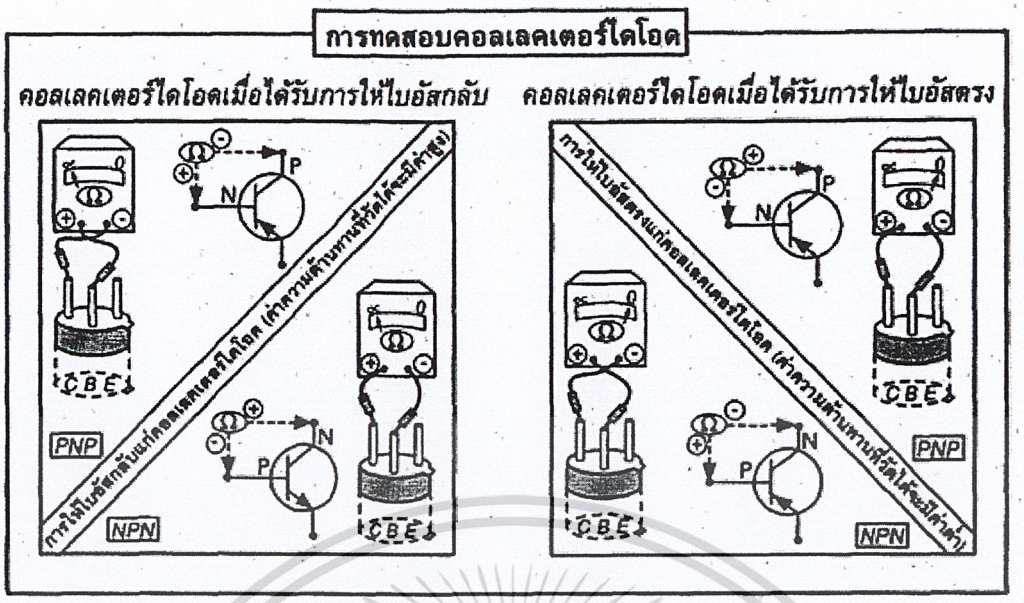
รูปที่ 2.19 วงจรคอลเลคเตอร์ร่วม C-C

โดยสัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้ามาระหว่างขาเบส และขาคอลเลคเตอร์ส่วนสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะไปปรากฏร่อมขาอิมิตเตอร์ และขาคอลเลคเตอร์โดยจะใช้ขาคอลเลคเตอร์เป็นขาร่วม (Common) ของทั้งอินพุตและเอาต์พุต

2.1.5.5 การทดสอบทรานซิสเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 การทดสอบทรานซิสเตอร์ด้วยโอห์มมิเตอร์

ความผิดพลาดที่เกิดจากทรานซิสเตอร์ที่พบเสมอคือ การจัดวงจร และการเปิดวงจรระหว่างรอยต่อของสารกึ่งตัวนำของทรานซิสเตอร์ จากรูปที่ 2.20 จะเห็นว่า ถ้าให้ไบอัสกลับแก่อิมิตเตอร์ไดโอดและคอลเลคเตอร์ไดโอดของทรานซิสเตอร์ ความต้านทานจะมีค่าสูง แต่ถ้าความต้านทานมีค่าต่ำให้สันนิษฐานว่ารอยต่อระหว่างขาของทรานซิสเตอร์เกิดลัดวงจร ในทำนองเดียวกันถ้าไบอัสตรงแล้ววัดค่าความต้านทานได้สูงก็ให้สันนิษฐานว่ารอยต่อระหว่างขาเกิดลัดวงจร

2.1.5.6 การทดสอบเพื่อหาตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์

ในการพิสูจน์หาตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์ เพื่อความสะดวกจะต้องพลิกด้านที่เป็นขาของทรานซิสเตอร์ขึ้น จากนั้นให้สังเกตว่าขาใดที่อยู่ในตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดของปลายขอบ (เดือย) ที่ยื่นออกมาจากตัวถัง ซึ่งขานั้นจะเป็นขาอิมิตเตอร์ เมื่อได้ขาอิมิตเตอร์แล้วก็สามารถสันนิษฐานได้ว่า ขาที่อยู่ด้านตรงกันข้ามเป็นขาคอลเลคเตอร์ และขาที่อยู่ตรงกลางเป็นขาเบส ถึงแม้ว่าการพิสูจน์หาตำแหน่งต่างๆ ของขาทรานซิสเตอร์ด้วยวิธีนี้ส่วนใหญ่จะได้ผลที่ถูกต้อง แต่ในบางกรณีตำแหน่งขาเบสก็ไม่จำเป็นที่จะต้องอยู่ระหว่างขาอิมิตเตอร์และขาคอลเลคเตอร์ ตัวอย่างเช่น ตำแหน่งขาของทรานซิสเตอร์อาจวางตำแหน่งแบบ E-C-B (อิมิตเตอร์-คอลเลคเตอร์-เบส) แทนที่จะเป็น E-B-C (อิมิตเตอร์-เบส- คอลเลคเตอร์) ดังนั้นเพื่อความถูกต้องและแน่นอนควรตรวจสอบจากคู่มือทรานซิสเตอร์จากบริษัทผู้ผลิต ในกรณีที่ไม่มีคู่มือก็สามารถใช้โอห์มมิเตอร์ทดสอบหาชนิดของทรานซิสเตอร์ (NPN หรือ PNP) และตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์ได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกขาตำแหน่งกลาง แล้วสมมุติให้เป็นขาเบส จากนั้นนำสายวัด (-) ของโอห์มมิเตอร์มาแตะที่ขาเบส ส่วนสายวัด (+) ให้นำมาแตะกับสองขาที่เหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ถ้าความต้านทานที่อ่านได้จากการแตะขาทั้งสองมีค่าต่ำ สรุปได้ทันทีว่า ขาที่ตำแหน่งกลางเป็นขาเบส และทรานซิสเตอร์ที่ทาการวัดนี้เป็นชนิด PNP

3. สำหรับขาอิมิตเตอร์ คือขาที่อยู่ใกล้ตำแหน่งขอบ (เดือย) และขาที่เหลือคือขาคอลเลคเตอร์นั่นเอง

4. ถ้าความต้านทานที่อ่านได้มีค่าสูงให้สลับสายวัด

5. ถ้าความต้านทานที่อ่านได้จากการแตะขาทั้งสองมีค่าต่ำ สรุปได้ทันที ขาตำแหน่งกลางคือขาเบส และเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

6. ถ้าหากว่าความต้านทานต่ำไม่ปรากฏในทั้งสองกรณี ให้เปลี่ยนเลือกขาอื่นเป็นขาเบส แล้วทำตามขั้นตอนเดิม

2.1.6 คอนเด็นเซอร์หรือคาปาซิเตอร์ (Condensor หรือ Capacitor)

คอนเด็นเซอร์หรือคาปาซิเตอร์ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เก็บประจำไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้าให้กับวงจร

2.1.6.1 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ

ประกอบด้วยแผ่นโลหะที่ทำเป็นแผ่นเพลต 2 แผ่นมาวางชิดกันมีฉนวนที่ผลิตมาจากวัสดุต่างชนิดกันมากั้นกลางแผ่นตัวนำทั้งสองข้างเรียกว่า " ไดอิเล็กตริก "

รูปที่ 2.21 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ

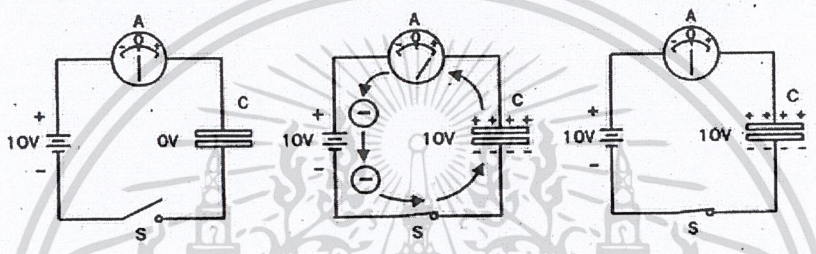
2.1.6.2 การทำงานของตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุมีสภาวะการทำงานอยู่ 2 สภาวะ คือ ประจุ (Charge) และ คายประจุ (Discharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.2.1 การประจุ

การเก็บประจุ คือ การเก็บอิเล็กตรอนไว้ที่แผ่นเพลตของตัวเก็บประจุ ซึ่งอธิบายโดยละเอียดดังในรูปที่ 2.22 (ก.) เมื่อนำแบตเตอรี่อื่นๆ ต่อกับตัวเก็บประจุ อิเล็กตรอนจากขั้วลบของแบตเตอรี่ จะเข้าไปรวมกันที่แผ่นเพลต ทำให้เกิดประจุลบขึ้นและยังส่งสนามไฟฟ้าไป ผลักอิเล็กตรอนของแผ่นเพลตตรงข้าม (เหมือนกับนำแผ่นแม่เหล็กที่มีขั้ว เหมือนกันมาใกล้กันมันก็จะผลักกัน) ซึ่งโดยปกติในแผ่นเพลตจะมีประจุเป็น + และ - ปะปนกันอยู่ เมื่ออิเล็กตรอนจากแผ่นเพลตนี้ถูกผลักให้หลุดออกไปแล้วจึงเหลือประจุบวกมากกว่าประจุลบ ยิ่งอิเล็กตรอนถูกผลักออกไปมากเท่าไร แผ่นเพลตนั้นก็จะเป็นบวกมากขึ้นเท่านั้น (เมื่อเทียบกับอีกด้าน)

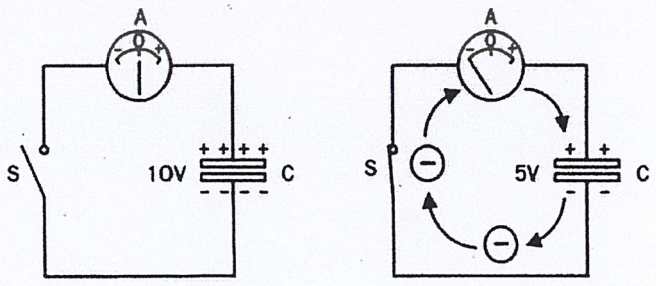


(ก.) ยังไม่จ่ายแรงดัน (ข.) ตัว C กำลังประจุ (ค.) ตัว C ประจุเต็ม

รูปที่ 2.22 ขั้นตอนการประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

2.1.6.2.2 การคายประจุ

ตัวเก็บประจุที่ถูกประจุแล้ว ถ้ายังไม่นำขั้วตัวเก็บประจุมาต่อกัน (ดังในรูปที่ 2.23 ก.) อิเล็กตรอนก็ยังคงอยู่ที่แผ่นเพลต แต่ถ้ามีการครบวงจรระหว่างแผ่นเพลตทั้งสองเมื่อไร อิเล็กตรอนก็จะวิ่งจากแผ่นเพลตทางด้านลบ ไปครบวงจรที่แผ่นเพลตบวกทันที เรียกเหตุการณ์นี้ว่า " การคายประจุ " (ดังในรูปที่ 2.23 ข.)



(ก.) ยังไม่มีการคายประจุ (ข.) ขณะคายประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.23 ขั้นตอนการคายประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

2.1.6.3 ตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ (Capacitor)

ชนิดของตัวเก็บประจุแบ่งตามวัสดุการใช้งานแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

2.1.6.3.1 ตัวเก็บประจุชนิดคงที่ (Fixed Capacitor)

ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีขั้วบวกและขั้วลบบอกไว้ ส่วนใหญ่จะเป็นแบบกลมดังนั้น การนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงการต่อขั้วให้กับตัวเก็บประจุด้วย จะสังเกตขั้วง่ายๆ ขั้วไหนที่เป็นขั้วลบจะมีลูกศรชี้ไปที่ขั้วนั้น และในลูกศรจะมีเครื่องหมายลบบอกไว้

รูปที่ 2.24 สัญลักษณ์ตัวเก็บประจุแบบคงที่

2.1.6.3.1.1 ตัวเก็บประจุแบบกระดาษ (Paper Capacitor)

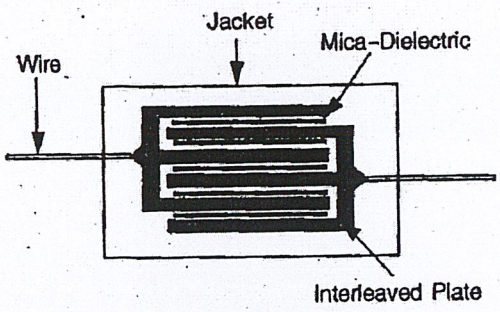
ตัวเก็บประจุแบบกระดาษ นำไปใช้งานซึ่งต้องการค่าความต้านทานของฉนวนที่มีค่าสูง และมีเสถียรภาพต่ออุณหภูมิสูงได้ดี มีค่าความจุที่ดีใน ย่านอุณหภูมิที่กว้าง

รูปที่ 2.25 โครงสร้างและรูปร่างของตัวเก็บประจุแบบกระดาษ (Paper Capacitor)

2.1.6.3.1.2 ตัวเก็บประจุแบบไมก้า (Mica Capacitor)

ตัวเก็บประจุแบบไมก้านจะมีเสถียรภาพต่ออุณหภูมิและความถี่ดี มีค่าตัวประกอบการสูญเสียต่ำ และสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง จะถูกนำมาใช้ในงานหลายอย่าง เช่น ในวงจรจูนวงจรออสซิสเตอร์ วงจรกรองสัญญาณ และวงจรขยายความถี่วิทยุกำลังสูง จะไม่มีการผลิตตัวเก็บประจุแบบไมก้าค่าความจุสูงๆ ออกมา เนื่องจากไมก้ามีราคาแพง จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงเกินไป

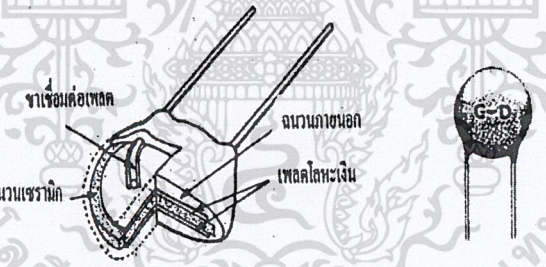
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 โครงสร้างของตัวเก็บประจุแบบไมก้า (Mica Capacitor)

2.1.6.3.1.3 ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก (Ceramic Capacitor)

ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก โดยทั่วไปตัวเก็บประจุชนิดนี้มีลักษณะกลมๆ แบนๆ บางครั้งอาจพบแบบสี่เหลี่ยมแบนๆ ส่วนใหญ่ตัวเก็บประจุชนิดนี้ มีค่าน้อยกว่า 1 ไมโครฟารัดและเป็นตัวเก็บประจุชนิดที่ไม่มีขั้ว (ไม่ต้องคำนึงเวลาใช้งาน) สามารถทนแรงดันได้ประมาณ 50-100 โวลต์ ค่าความจุของตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกที่มีใช้กันในปัจจุบันอยู่ในช่วง1 พิโกฟารัด ถึง 0.1 ไมโครฟารัด



(ก.) โครงสร้างตัวเก็บประจุแบบเซรามิก (ข.)รูปร่างตัวเก็บประจุแบบเซรามิก

รูปที่ 2.27 โครงสร้างและรูปร่างของตัวเก็บประจุแบบเซรามิก (Ceramic Capacitor)

2.1.6.3.1.4 ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic Capacitor)

ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กทรอไลติก ตัวเก็บประจุชนิดนี้ต้องระวังในการนำไปใช้งานด้วย เพราะมีขั้วที่แน่นอนพิมพ์ติดไว้ด้าน ข้างตัวถังอยู่แล้ว ถ้าป้อนแรงดันให้กับตัวเก็บประจุผิดขั้ว อาจเกิดความเสียหายกับตัวมันและอุปกรณ์ที่ประกอบร่วมกับตัวมันได้ ขั้วของตัวเก็บประจุชนิดนี้สังเกตได้ง่ายๆ เมื่อตอนซื้อมา คือ ขาที่ยาวจะเป็นขั้วบวก และขาที่สั้นจะเป็นขั้วลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.28 ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic Capacitor)

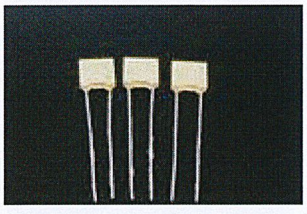
2.1.6.3.1.5 ตัวเก็บประจุแบบน้ำมัน (Oil Capacitor)

เป็นตัวเก็บประจุที่ใช้น้ำมันเป็นส่วนประกอบของไดอิเล็กทริค แต่แผ่นเพลตที่วางขนานมักใช้เป็นอะลูมิเนียม หรือบางรุ่นอาจใช้เป็นทองแดงก็มี ฉนวนที่คั่นระหว่างแผ่นเพลตที่พบเจอบ่อยจะใช้เป็นกระดาษ บางครั้งจึงเคยได้ยินชื่อเรียกว่า Paper In Oil เป็นต้น ตัวเก็บประจุชนิดนี้ ส่วนใหญ่แล้วค่าความจุจะไม่มากเหมือนแบบอิเล็กทรอไลท์ที่กล่าวมาแล้ว แต่มีอัตราการทนแรงดันที่สูงกว่า

รูปที่ 2.29 แสดงตัวเก็บประจุแบบน้ำมัน (Oil Capacitor)

2.1.6.3.1.6 ตัวเก็บประจุแบบโพลีสไตลีน (Polystrene Capacitor)

เป็นตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อยระดับนาโนฟารัด (nF) มีข้อดีคือให้ค่าการสูญเสียและกระแสรั่วไหลน้อยมาก นิยมใช้ในงานคัปปลิงความถี่วิทยุและวงจรจูนที่ต้องการความละเอียดสูง จัดเป็นตัวเก็บประจุระดับเกรด A



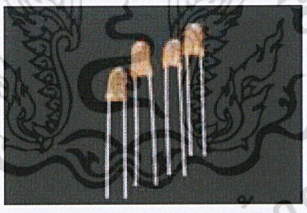
รูปที่ 2.30 ตัวเก็บประจุแบบโพลีสไตลีน (Polystyrene Capacitor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.3.1.7 ตัวเก็บประจุ แทนทาลัม (Tantalum Capacitor)

ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลัม จะให้ค่าความจุสูงในขณะที่ตัวถังที่บรรจุมีขนาดเล็กและมีอายุในการเก็บไว้เฉยๆ ดีมาก. ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลัมนี้มีหลายชนิดให้เลือกใช้ เช่น ชนิดโซลิต (Solid Type) ชนิดซินเทอร์สลัก (Sintered Slug) ชนิดฟอลย์ธรรมดา (Plain Foil) ชนิดเอชฟอยล์ (Etched Foil) ชนิดเวทสลัก (Wet Slug) และชนิดชิ้นสี่เหลี่ยม (Chip) การนำไปใช้งานต่างๆ ประกอบด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำ วงจรส่งผ่านสัญญาณชนิดโซลิต นั้นไม่ไวต่ออุณหภูมิ และมีค่าคุณสมบัติระหว่างค่าความจุอุณหภูมิต่ำกว่าตัวเก็บประจุแบบอิเล็กทรอไลติกชนิดใดๆ

สำหรับงานที่ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลัมไม่เหมาะได้แก่ วงจรตั้งเวลาที่ใช้ RC ระบบกระตุ้น (Triggering System) หรือ วงจรเลื่อนเฟส (Phase - Shift Network) เนื่องจากตัวเก็บประจุแบบนี้มีค่าคุณสมบัติของการดูดกลืนของไดอิเล็กตริกสูง ซึ่งหมายถึงเมื่อตัวเก็บประจุถูกคายประจุ สารไดอิเล็กตริกยังคงมีประจุหลงเหลืออยู่ ดังนั้นแม้ว่าตัวเก็บประจุที่มีคุณสมบัติของการดูดกลืนของสารไดอิเล็กตริกสูงจะถูกคายประจุประจุจนเป็นศูนย์แล้วก็ตาม จะยังคงมีประจุเหลืออยู่เป็นจำนวนมากพอที่จะทำให้เกิดปัญหาในวงจรตั้งเวลาและวงจรอื่นที่คล้ายกัน

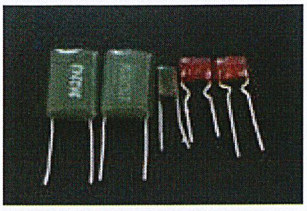


รูปที่ 2.31 ตัวเก็บประจุแทนทาลัม (Tantalum Capacitor)

2.1.6.3.1.8 ตัวเก็บประจุแบบไมลาร์ (Milar Capacitor)

เป็นตัวเก็บประจุที่มีค่ามากกว่า 1 ไมโครฟารัด เพราะฉะนั้นในงานบางอย่างจะใช้ไมลาแทนเซรามิค เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดและการรั่วไหลของกระแสน้อยกว่าชนิดเซรามิค เหมาะสำหรับวงจรกรองความถี่สูง วงจรภาคไอเอฟของวิทยุ โทรทัศน์ ตัวเก็บประจุชนิดไมลาจะมีตัวถังที่ใหญ่กว่าเซรามิคในอัตราทนแรงดันที่เท่ากัน

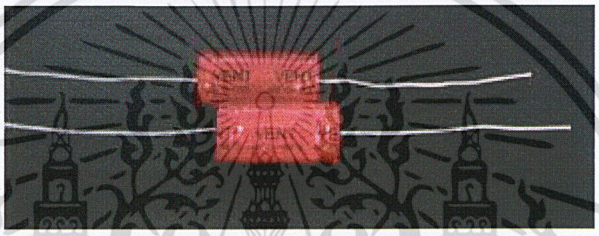
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 ตัวเก็บประจุแบบไมลาร์ (Milar Capacitor)

2.1.6.3.1.9 ตัวเก็บประจุแบบไบโพลาร์ (Bipolar Capacitor)

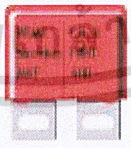
นิยมใช้กันมากในวงจรภาคจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเครื่องขยายเสียง เป็นตัวเก็บประจุจำพวกเดียวกับชนิดอิเล็กโตรไลต์ แต่ไม่มีขั้วบวกลบ บางครั้งเรียกสั้นๆ ว่า ไบแคป



รูปที่ 2.33 ตัวเก็บประจุแบบไบโพลาร์ (Bipolar Capacitor)

2.1.6.3.1.10 ตัวเก็บประจุแบบโพลีโพรไพลีน (Polypropylene)

เป็นตัวเก็บประจุซึ่งใช้ฟิล์มพลาสติกคั่นระหว่างแผ่นเพลต ซึ่งฟิล์มพลาสติกที่นิยมใช้มักเป็นสารประกอบพลาสติก ที่เจอและใช้งานเช่น โพลีโพรไพลีน (Polypropylene) เป็นต้น

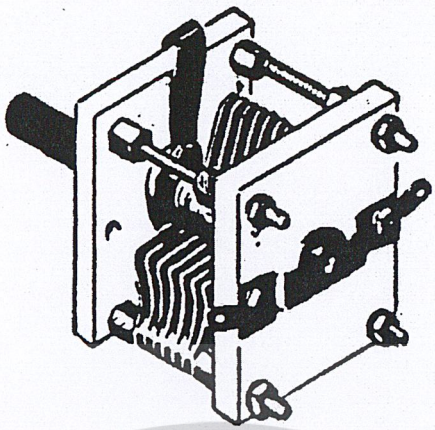


รูปที่ 2.34 ตัวเก็บประจุแบบโพลีโพรไพลีน (Polypropyrene)

2.1.6.3.2 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ (Variable Capacitor)

เป็นตัวเก็บประจุชนิดที่มีค่าคงที่ ซึ่งจะมีการนำวัสดุต่างๆ มาสร้างขึ้นเป็นตัวเก็บประจุ โดยทั่วไปจะมีค่าความจุไม่มากนัก โดยประมาณไม่เกิน 1 ไมโครฟารัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้

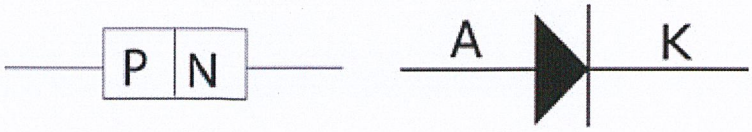
รูปที่ 2.36 สัญลักษณ์ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้

Variable Capacitor เป็นตัวเก็บประจุที่เปลี่ยนค่าความจุได้ จะพบเห็นอยู่บ่อยๆ ในเครื่องรับวิทยุต่างๆ ซึ่งเป็นตัวเลือกหาสถานีวิทยุโดยมีแกนหมุนTrimmer หรือ Padder เป็นตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้ ซึ่งคล้ายๆ กับ Varible Capacitor แต่จะมีขนาดเล็กกว่า การใช้ Capacitor แบบนี้ถ้าต่อในวงจรแบบอนุกรมกับวงจรเรียกว่า Padder Capacitor ถ้านำมาต่อขนานกับวงจร เรียกว่า Trimmer

2.1.7 ไดโอด (Diode)

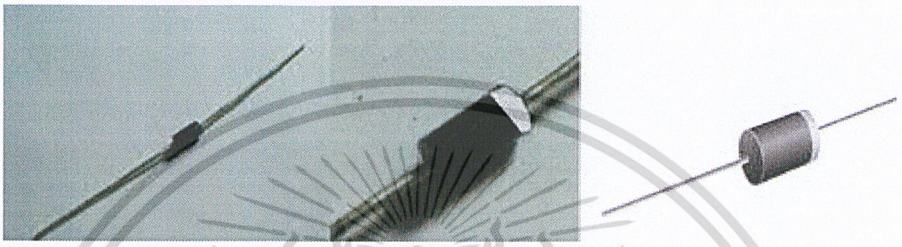
เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำหน้าที่ยอมให้กระแสไหลผ่านตัวไดโอดได้ทิศทางเดียวเท่านั้น ไดโอดผลิตจากสารกึ่งตัวนำ P และ N นำมาต่อกัน ไดโอดโดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 ขา คือ ขาอาโนด (A) และ ขาแคโทด (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก.) โครงสร้างไดโอด (ข.) สัญลักษณ์ไดโอด

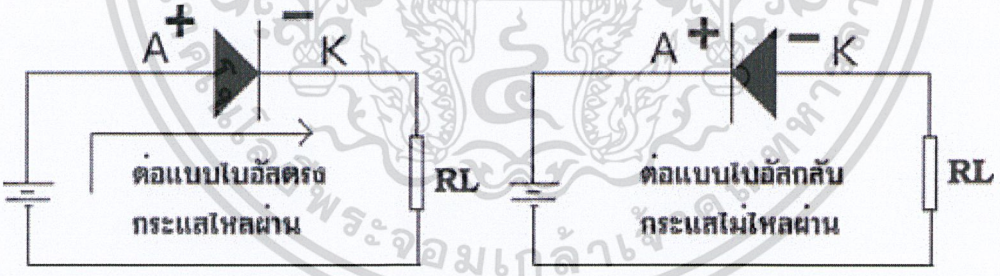
รูปที่ 2.37 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด



รูปที่ 2.38 ตัวไดโอดจะแสดงขีดสีขาวซึ่งแสดงสัญลักษณ์ของขา K

2.1.7.1 การต่อไดโอด

ไดโอดนั้นจะมีการต่อวงจรได้ 2 แบบดังนี้ คือ



(ก.) การต่อแบบไบอัสตรง (ข.) การต่อแบบไบอัสกลับ

รูปที่ 2.39 รูปวงจรการต่อแบบอัสต่างๆ

การต่อแบบไบอัสตรง ถ้าต่อแบบนี้จะมีกระแสไหลผ่านตัวไดโอด

การต่อแบบไบอัสกลับ ถ้าต่อแบบนี้กระแสจะไม่ไหลผ่านตัวไดโอด ถือว่าไดโอดเปิดวงจร และมีค่าความต้านทานสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7.2 รายละเอียดเกี่ยวกับตัวไดโอด

ไดโอดโดยทั่วไปจะบอกรายละเอียดว่าตัวมันนั้นสามารถรับกระแส และแรงดันไฟฟ้าได้มากน้อยต่างกัน

แรงดันไฟฟ้า คือ ตัวไดโอดเองรับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ที่เท่าไร เช่น 1N4001 สามารถรับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 50V หากมากกว่านี้จะเกิดความเสียหาย

กระแส คือ ตัวไดโอดสามารถทนกระแสได้ที่กี่แอมแปร์ เช่น 1N4001 - 1N4007 สามารถให้กระแสไหลผ่านตัวมันได้สูงสุด 1A หากมากกว่านี้จะเกิดความเสียหาย

ดังนั้นการเลือกใช้งานต้องคำนึงถึง แรงดันไฟฟ้าและกระแสที่ตัวมันเองได้ แต่สำหรับการใช้งานสามารถใช้ไดโอดที่มีแรงดันและกระแสสูงกว่าตัวมันได้

2.1.7.3 การใช้งานไดโอด

ไดโอดเมื่อนำไปต่อกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะมีแรงดันตกคร่อมที่ตัวมันประมาณ 0.6 V บางครั้งในการคำนวณ เพื่อนำไปใช้งานต้องคำนึงถึงส่วนนี้ด้วย

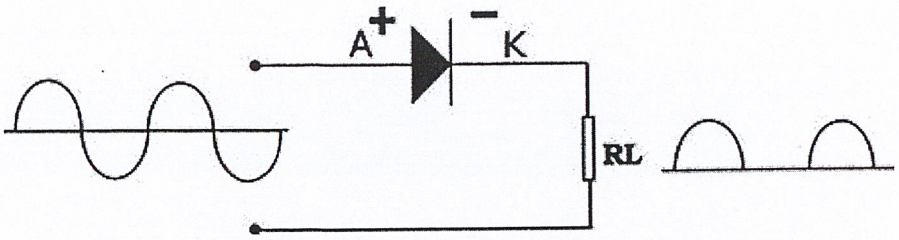
รูปที่ 2.40 แรงดันตกคร่อมไดโอด

โดยทั่วไปนั้นจะใช้งานไดโอดที่เป็นกันบ่อยๆ คือ

2.1.7.3.1. การใช้เป็นวงจรเรียงกระแสแบบต่างๆ

เนื่องจากคุณสมบัติของไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านทางเดียวดังนั้นจะเห็นการใช้งานไดโอดในวงจรเรียงกระแส คือ เปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

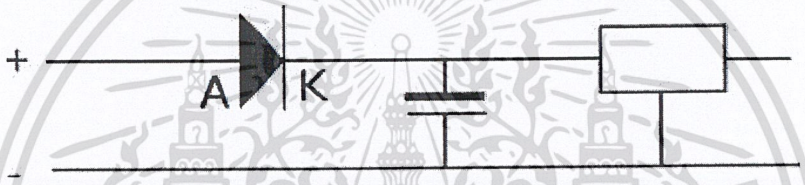
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.41 การต่อวงจรเรียงกระแส

2.1.7.3.2 การใช้ป้องกันกระแสย้อนกลับหรือป้องกันการต่อผิดขั้วของวงจรไฟฟ้า

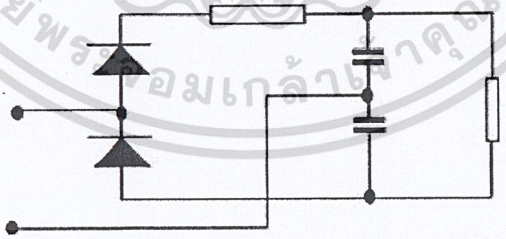
เนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางตัวจะต้องป้อนแรงดันให้ถูกขั้วหากต่อขั้วไฟฟ้าผิดจะเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นการต่อตัวไดโอดไว้เพื่อป้องกันเหตุการณ์ดังกล่าวจึงเป็นการป้องกันที่ดีอย่างยิ่ง



รูปที่ 2.42 การต่อไดโอดเพื่อป้องกันการต่อไฟผิดขั้ว

2.1.7.3.3 วงจรทวีแรงดัน

การที่จะใช้งานไดโอดร่วมกับตัวเก็บประจุ สามารถต่อเป็นวงจรทวีแรงดันแบบต่างๆ ได้ดังรูปที่ 2.43

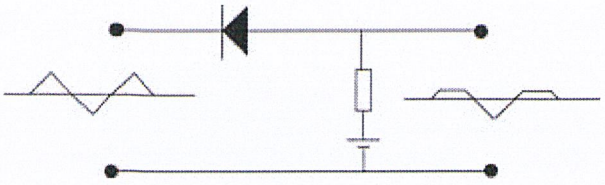


รูปที่ 2.43 วงจรทวีแรงดันแบบหนึ่ง

2.1.7.3.4 ใช้ในวงจรขลิบสัญญาณทางไฟฟ้า

วงจรขลิบสัญญาณ คือ วงจรที่เปลี่ยนสถานะของสัญญาณทางขาเข้าและขาออกให้มีลักษณะเหมือนโดนตัดบางส่วนออกไป ดังรูปที่ 2.44

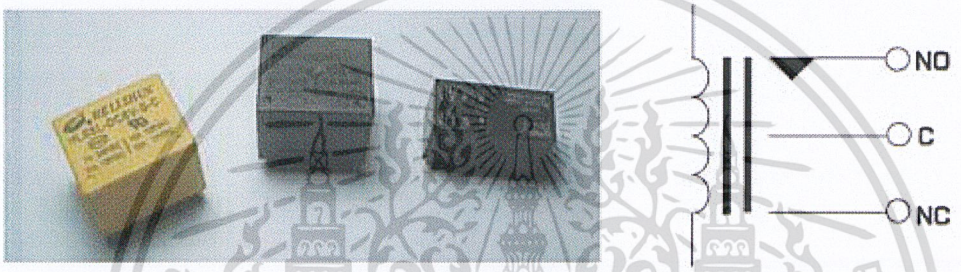
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.44 วงจรขลิบสัญญาณแบบหนึ่ง

2.1.8 รีเลย์ (Relay)

เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงกล ชนิดหนึ่งซึ่งทำหน้าเป็นสวิตช์ แต่รีเลย์นั้นจะถูกควบคุมด้วยกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.45

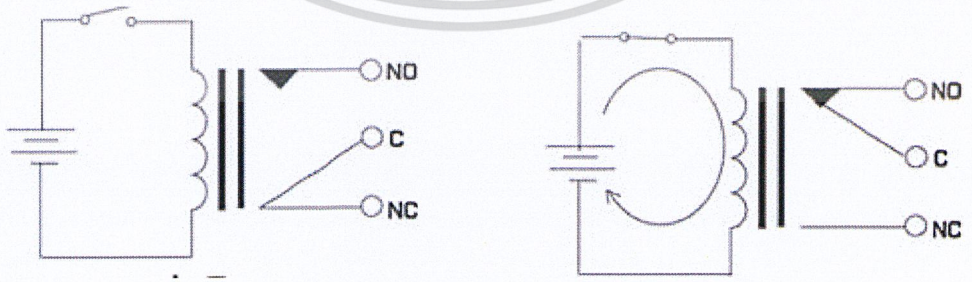


(ก.) รีเลย์ (ข.) สัญลักษณ์ของรีเลย์

รูปที่ 2.45 รีเลย์และสัญลักษณ์ของรีเลย์

2.1.8.1 การทำงานของรีเลย์

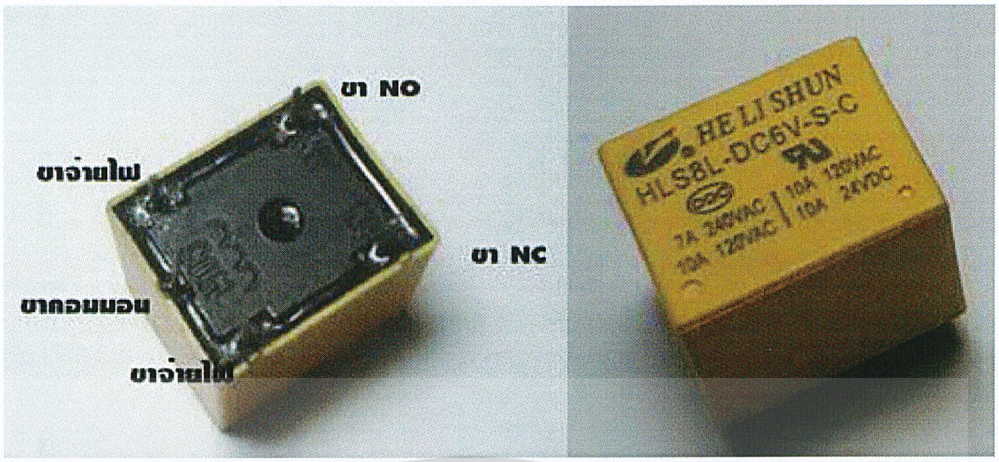
เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด จะทำให้ขดลวดเกิดสนามแม่เหล็กไปดึง แผ่นหน้าสัมผัสให้ดึงลงมาแตะหน้าสัมผัสอีกอัน ทำให้มีกระแสไหลผ่านหน้าสัมผัสไปได้



(ก.) สภาวะปกติ (ข.) สภาวะจ่ายไฟฟ้า

รูปที่ 2.46 สภาวะการทำงานของรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.47 ตำแหน่งขา และ ด้านบนจะแสดงรายละเอียดการใช้งาน

2.1.8.2 ขาของรีเลย์จะประกอบด้วยตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

ขาจ่ายแรงดัน ซึ่งจะมีอยู่ 2 ขา สัญลักษณ์ขดลวดแสดงตำแหน่ง Coil หรือ ขาต่อแรงดันใช้งาน

ขา C หรือ COM หรือ ขาคอมมอน จะเป็นขาต่อระหว่าง NO และ NC

ขา NO (Normally Open หรือ ปกติเปิด) โดยปกติขานี้จะเปิดเอาไว้ จะทำงานเมื่อเราป้อนแรงดันให้รีเลย์

ขา NC (Normally Close หรือ ปกติปิด) โดยปกติขานี้จะต่อกับขา C ในกรณีที่เราไม่ได้จ่ายแรงดัน หน้าสัมผัสของ C และ NC จะต่อถึงกัน

2.1.8.3 ข้อคำนึงในการใช้งานรีเลย์ทั่วไป

1. แรงดันใช้งาน หรือแรงดันที่ทำให้รีเลย์ทำงานได้ หากเราดูที่ตัวรีเลย์จะระบุค่า แรงดันใช้งานไว้ (หากใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนมากจะใช้แรงดันกระแสตรงในการใช้งาน) เช่น 12VDC คือ ต้องใช้แรงดันที่ 12 VDC เท่านั้นหากใช้มากกว่านี้ ขดลวดภายใน ตัวรีเลย์อาจจะขาดได้ หรือหากใช้แรงดันต่ำกว่ามาก รีเลย์จะไม่ทำงาน ส่วนในการต่อวงจรนั้นสามารถต่อขั้วใดก็ได้ เพราะตัวรีเลย์ไม่ระบุขั้วต่อไว้ (นอกจากชนิดพิเศษ)

2. การใช้งานกระแสผ่านหน้าสัมผัส ซึ่งที่ตัวรีเลย์จะระบุไว้ เช่น 10A 220 VAC คือ หน้าสัมผัสของรีเลย์นั้นสามารถทนกระแสได้ 10 แอมแปร์ที่ 220 VAC แต่การใช้ก็ควรจะใช้งานที่

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับกระแสต่ำกว่านี้จะเป็นการดีกว่า เพราะถ้ากระแสมากหน้าสัมผัส ของรีเลย์จะละลายเสียหายได้

3. จำนวนหน้าสัมผัสการใช้งาน ควรดูว่ารีเลย์นั้นมีหน้าสัมผัสให้ใช้งานกี่อัน และมีขั้วคอมมอนด้วยหรือเปล่า

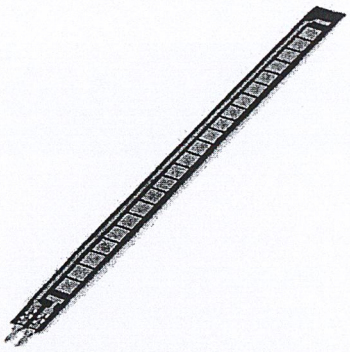
2.2 หลักการทำงาน

2.2.1 เซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor)

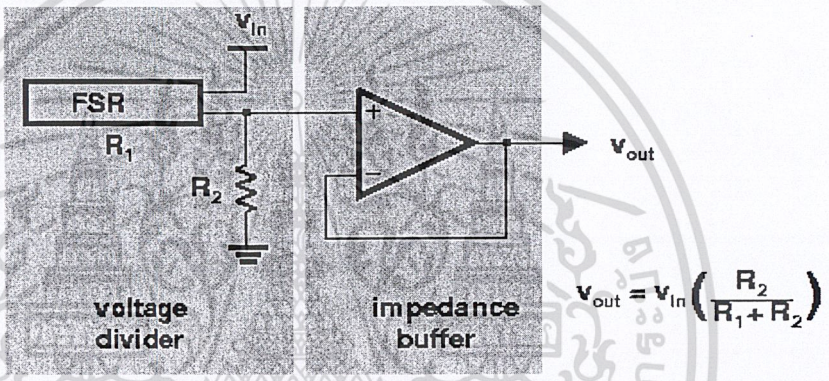
โครงงานควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของรถบังคับด้วยถุงมือมีหลักการทำงานดังนี้ คือ เซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) ซึ่งเป็นเซนเซอร์ชนิดเฟียร์โรอิเลคตริก จะทำงานเกิดการโค้งงอขึ้น ในตอนแรกเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) จะติดอยู่กับถุงมือพร้อมกับเซนเซอร์อัตราเร่งและตัวส่งสัญญาณ ที่ตัวรถบังคับจะประกอบด้วย ตัวรับสัญญาณและตัวขับมอเตอร์ ถ้าแบมือตัวรถจะไม่เกิดการเคลื่อนไหวใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้เนื่องจากเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) และเซนเซอร์อัตราเร่งยังไม่ทำงาน เมื่อกำมือเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) จะเกิดการโค้งงอทำให้เฟียร์โรอิเลคตริกเกิดการเปลี่ยนแปลง เป็นผลให้เกิดความต่างศักย์ขึ้น ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นสัญญาณขาเข้าให้กับตัวถอดรหัสสัญญาณ จากนั้นตัวเข้ารหัสสัญญาณจะส่งสัญญาณให้กับตัวส่งสัญญาณ และตัวส่งสัญญาณจะส่งสัญญาณที่ได้ให้กับตัวรับสัญญาณที่ติดอยู่กับรถบังคับ ทันที่ตัวรับสัญญาณได้รับสัญญาณก็จะป้อนสัญญาณนี้ให้กับตัวถอดรหัสสัญญาณ ซึ่งจะแปรสัญญาณที่ได้และป้อนให้กับตัวขับมอเตอร์ รถจึงเกิดการเคลื่อนตัวไปข้างหน้า ขณะที่กำมืออยู่นั้นถ้าเอียงมือไปข้างซ้าย เซนเซอร์อัตราเร่งจะเกิดการเปลี่ยนตำแหน่ง ทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นเช่นกัน และขั้นตอนการทำงานต่อไปของเซนเซอร์อัตราเร่งนี้เป็นเช่นเดียวกับเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) ผลที่ได้คือ รถเกิดการเลี้ยวซ้าย ถ้าเอียงมือไปทางขวารถก็จะเกิดการเลี้ยวขวาเช่นกัน

รูปที่ 2.48 และ 2.49 จะแสดงถึงลักษณะรูปร่างและวงจรของเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.48 เซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor)



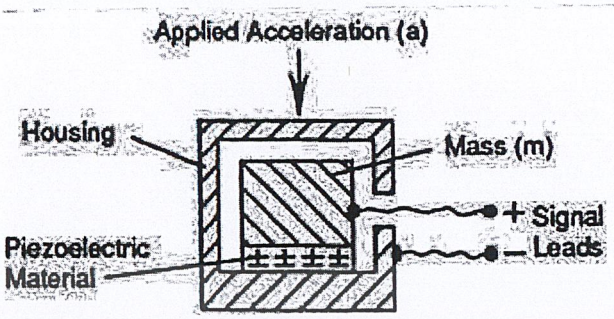
รูปที่ 2.49 วงจรของเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor)

2.2.2 เซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor)

มิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Accelerometer) มีคุณสมบัติพื้นฐานทางไฟฟ้าของผลึกเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Crystal) ถูกค้นพบโดย Pierre และ Jacques Curie ในราวปี ค.ศ.1880 ซึ่งเจ้า piezoelectric crystal นี้มันมีคุณสมบัติพิเศษคือ เมื่อมันถูกแรงทางกลมากระทำ มันจะสร้างประจุไฟฟ้าขึ้นมา โดยเป็นสัดส่วนกับแรงกระทำนั้น ซึ่งจากคุณสมบัติพิเศษนี้ได้ถูกดัดแปลงนำไปใช้สร้างอุปกรณ์ต่างๆมากมาย เช่น ใช้เป็นแบตเตอรี่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับนาฬิกาข้อมือดิจิตอลที่เราใช้ทั่วไป และยังใช้สร้างมิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริกอีกด้วย โครงสร้างของมอเตอร์ วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริกจะประกอบด้วย Seismic Mass ยึดติดกับ Piezoelectric Crystal และบรรจุอยู่ในตัวถังป้องกัน โดย Piezoelectric Crystal ที่นิยมนำมาใช้งาน ได้แก่ ผลึกควอตซ์ และผลึกโซเดียมโปตัสเซียมตาเตรต (Sodium Potassium Tartrate) เพราะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

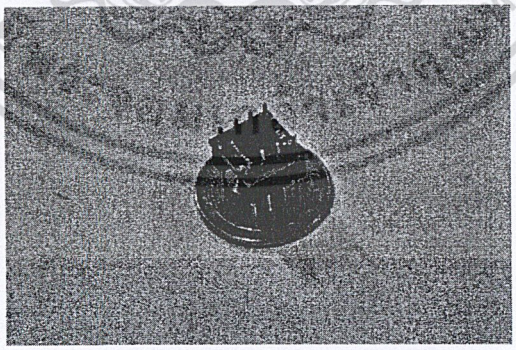
ความทนทานต่อแรงกระทำ และราคาไม่แพงมากนัก สามารถอธิบายหลักการของการทำงานดังรูปที่ 2.50 ได้ดังนี้



รูปที่ 2.50 โครงสร้างพื้นฐานของมิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริก

(Piezoelectric Accelerometer)

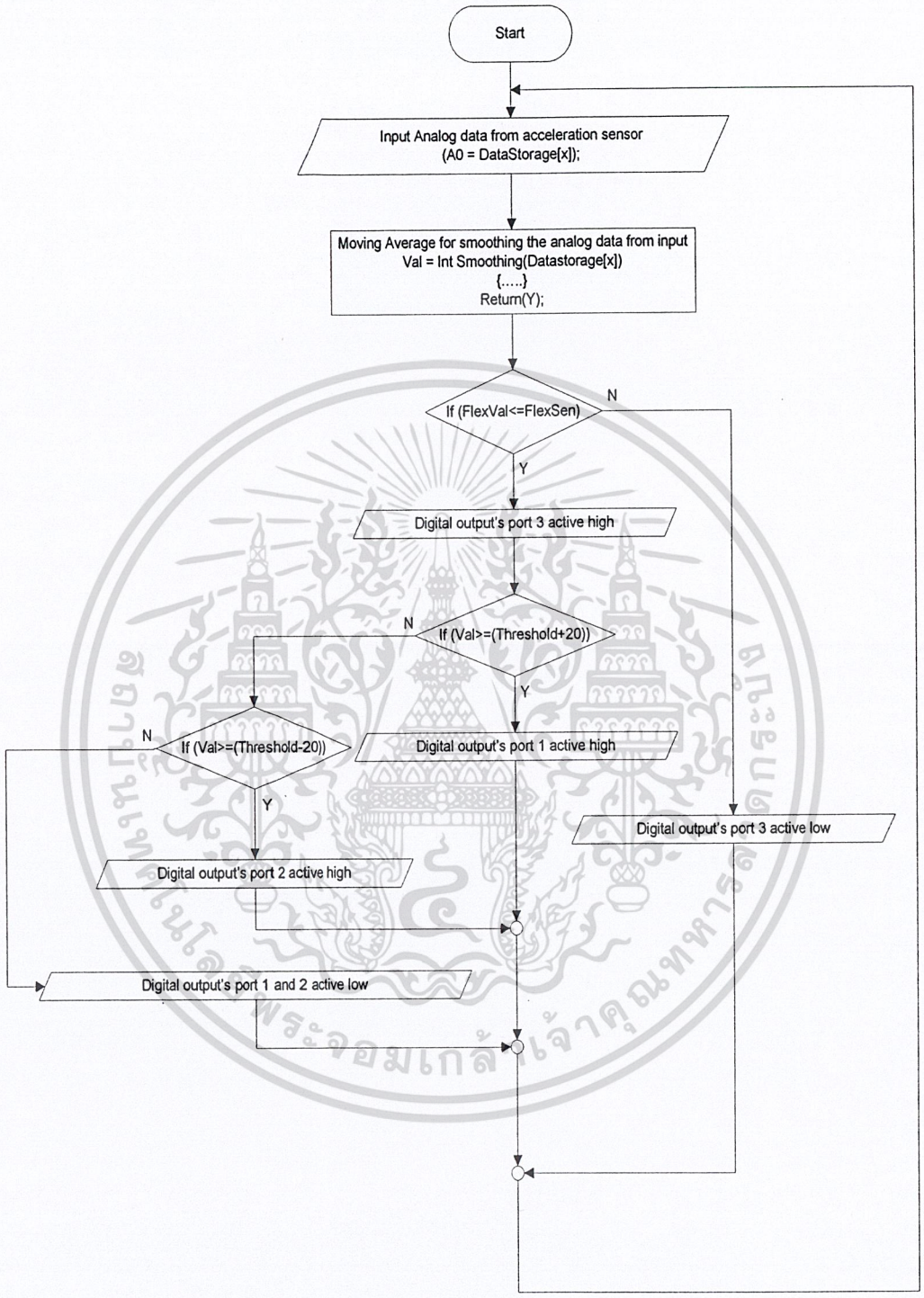
เมื่อ Seismic Mass (m) ถูกทำให้เกิดอัตราเร่งขึ้น (ถูกกด) มันจะส่งผ่านแรงกดไปกระทำกับ Piezoelectric Crystal ที่ถูกยึดติดอยู่ด้วยกัน ด้วยคุณสมบัติพิเศษของมันจะทำให้ประจุไฟฟ้าถูกสร้างขึ้น และถูกสายนำสัญญาณออกไปยังเอาต์พุตของวงจร โดยที่ด้านเอาต์พุตจะต้องมีวงจรขยายประจุไฟฟ้า (Charge Amplifier) เพื่อขยายค่าประจุไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นแรงดันเอาต์พุตตามสัดส่วนของอัตราเร่ง ที่เกิดจะได้สามารถแสดงผลได้ด้วยโวลต์มิเตอร์มิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริก ดังรูปที่ 2.51 จะตอบสนองต่อทางด้านความถี่สูงได้ดี แต่ในทางกลับกันก็จะมีผลตอบสนองทางด้านความถี่ต่ำที่ไม่ดีนัก มีขนาดค่อนข้างเล็ก น้ำหนักเบา และสามารถใช้งานที่มีอัตราเร่งได้สูงถึง 250,000 m/s^2



รูปที่ 2.51 เซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โครงสร้างโปรแกรม



รูปที่ 2.52 แผนผัง Flowchart การเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1อธิบายโครงสร้างโปรแกรม

จากรูปที่ 2.52 โปรแกรมจะเริ่มทำการประมวลผลโดยการรับค่าสัญญาณ Input จากเซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration sensor) เมื่อหน่วยประมวลผล (MCU : Microprocessor Unit) ได้รับค่าจะนำค่าที่ได้นั้นมาวิธีการปรับค่าสัญญาณให้มีความเรียบทางสัญญาณมากขึ้นเรียกว่าวิธีการ Moving Average สัญญาณที่ได้นั้นจะมีความเรียบทางสัญญาณมากกว่าสัญญาณ Input จาก Sensor โดยตรง

เมื่อโปรแกรมทำการปรับเรียบสัญญาณเสร็จ จะทำการนำค่าสัญญาณ Input จาก Flex Sensor มาเริ่มทำการประมวลผลอีกที เนื่องจากว่าสัญญาณที่มาจาก Flex Sensor นั้นมีความต่างจาก Acceleration Sensor คือสัญญาณที่เข้ามานั้นมีลักษณะเป็นสัญญาณแบบ Digital (เนื่องมาจากผ่าน Comparator) คือ High Input กับ Low Input โปรแกรมจะนำค่าที่ได้นั้นมาทำการประมวลผลด้วยเงื่อนไข If คือเมื่อสัญญาณนั้นมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานของ Flex Sensor จะส่งผลให้ Digital Output ขาที่ 3 ทำงาน และทำการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป แต่ถ้าหากต่ำกว่าค่ามาตรฐานจะส่งผลให้เป็นเท็จ และ Digital Output ขาที่ 3 ไม่ทำงานและข้ามไปกระทำในบรรทัดสุดท้ายของโปรแกรม

ในกรณีที่เงื่อนไขของ Flex Sensor เป็นจริงโปรแกรมจะนำค่าที่ได้จากการทำการปรับเรียบมาทำการเปรียบเทียบกับค่า มาตรฐานการทำของ Acceleration Sensor โดยทำการบวกเพิ่ม และ ลบลง ไปจากค่ามาตรฐานจากเดิมเป็นจำนวน 20 เพื่อลดส่วนผิดพลาดจากความไวของสัญญาณลงไป

ในกรณีที่ค่าสัญญาณจาก Acceleration มากกว่า ค่ามาตรฐานบวกไป 20 นั้นจะส่งผลให้ Digital Output ขาที่ 2 ทำงาน

ในกรณีที่ค่าสัญญาณจาก Acceleration น้อยกว่า ค่ามาตรฐานลบไป 20 นั้นจะส่งผลให้ Digital Output ขาที่ 1 ทำงาน ถ้าหากว่าค่าสัญญาณนั้นอยู่ระหว่างค่ามาตรฐานที่บวกเพิ่มและลบลงนั้นจะส่งผลให้ Digital Output ขาที่ 1 และ 2 ไม่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการออกแบบและขั้นตอนการปฏิบัติงาน

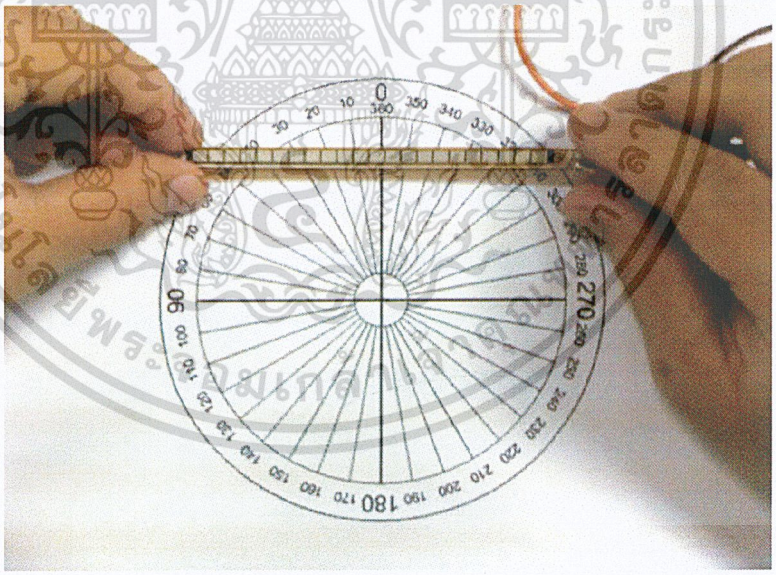
3.1 หลักการออกแบบวงจร

ในส่วนนี้ เป็นการศึกษาส่วนของวงจรต่างๆ ที่นำมาใช้ในโครงงานนี้ ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

3.1.1 การออกแบบวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider)

ผลการทดลองในส่วนนี้ เป็นการทดสอบเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) ด้านหน้าและด้านหลัง แสดงดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ในขนาดมุมที่ต่างๆ กัน แล้วบันทึกค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ ณ มุมที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2

3.1.1.1 การทดสอบเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor)



รูปที่ 3.1 การทดสอบเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมุมและค่าความต้านทานของเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) ด้านหน้า (มีลวดลาย)

ขนาดมุม(องศา)	ค่าความต้านทานที่วัดได้ (Ω)
0	10.1
10	10.1
20	10.2
30	10.4
40	10.5
50	10.8
60	11.1
70	11.4
80	11.9
90	12
270	9.7

ตารางที่ 3.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมุมและค่าความต้านทานของเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) ด้านหน้า (มีลวดลาย)

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมุม และค่าความต้านทานของต้านทานของเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) ด้านหลัง (ด้านที่มีตัวหนังสือ)

ขนาดมุม(องศา)	ค่าความต้านทานที่วัดได้ (Ω)
0	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

ขนาดมุม(องศา)	ค่าความต้านทานที่วัดได้ (Ω)
10	20.3
20	18.5
30	17.8
40	15
50	14.1
60	13.6
70	13
80	12.6
90	12
270	31.6

ตารางที่ 3.2 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมุมและค่าความต้านทานของเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) ด้านหลัง (ด้านที่มีตัวหนังสือ)

จากผลการทดลองตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานจะมีการเปลี่ยนแปลงตามองศาที่เกิดการโค้งงอไป จะมีค่าความต่างมากที่สุดที่การงอด้านหลัง ดังนั้นทางกลุ่มของข้าพเจ้าจึงได้เลือกใช้ค่าความต้านทานของตารางที่ 3.2 มาใช้ในการออกแบบ

จากผลการทดลองตารางที่ 3.2 ค่าที่ 1 เป็นค่าที่เซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) นั้นไม่มีการโค้งงอ เพราะฉะนั้นทางกลุ่มของข้าพเจ้าจึงได้เลือกใช้ค่าความต้านทานคือ 26KΩ ตามตารางผลการทดลอง แต่ทว่าเนื่องจากค่าความต้านทาน 26KΩ นั้นไม่มี จึงได้ประมาณค่าของความต้านทานที่จะใช้งานจริงคือ 20KΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบวงจรควบคุมระดับการเอียงของมือ

ผลการทดลองส่วนนี้ เป็นการทดสอบเซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor) เมื่อเอียงไปทางด้านซ้ายและขวา แสดงดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 ในขนาดมุมที่ต่างๆ กัน แล้วบันทึกค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ ณ มุมที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 3.3 และ 3.4

3.1.2.1 การทดสอบเซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor)

รูปที่ 3.2 การทดสอบเซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor)

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมุมและค่าความต่างศักย์ของเซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor) เมื่อเอียงไปทางซ้าย

ขนาดมุม(องศา)	ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ (V)
0	4.34
10	3.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

ขนาดมุม(องศา)	ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ (V)
20	3.74
30	3.60
40	3.55
50	3.29
60	3.03
70	2.84
80	2.57
90	2.38

ตารางที่ 3.3 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมุม และค่าความต่างศักย์ของเซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor) เมื่อเอียงไปทางซ้าย

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมุมและค่าความต่างศักย์ต่างศักย์ของเซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor) เมื่อเอียงทางด้านขวา

ขนาดมุม(องศา)	ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ (V)
270	6.03
280	5.94
290	5.82
300	5.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

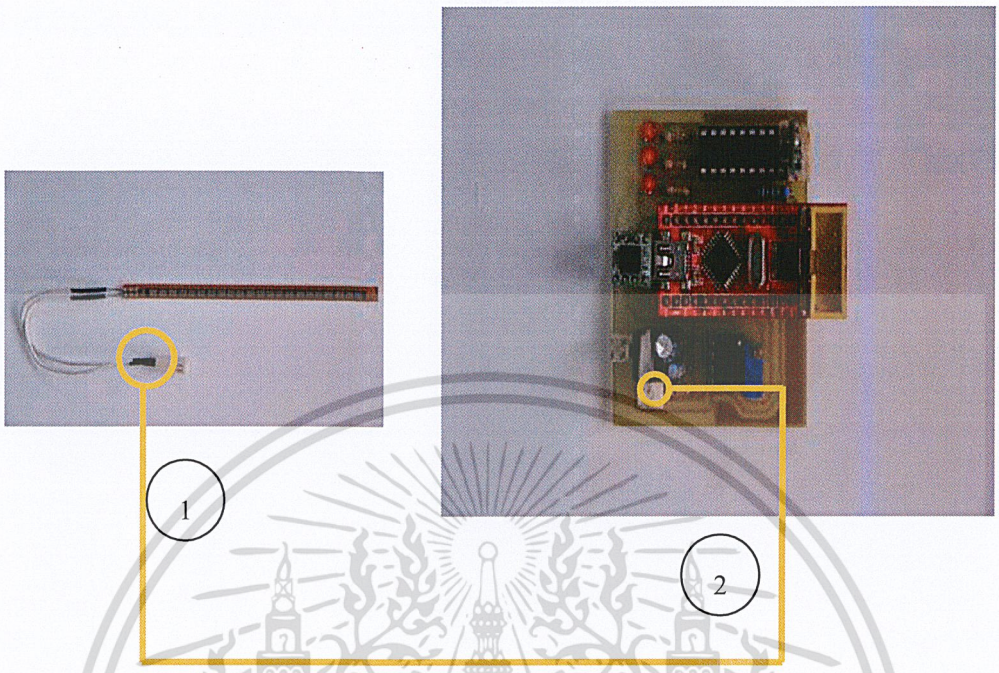
ขนาดมุม(องศา)	ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ (V)
310	5.57
320	4.85
330	4.67
340	4.38
350	4.12

ตารางที่ 3.4 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมุม และค่าความต่างศักย์ของเซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor) เมื่อเอียงทางด้านขวา

จากผลการทดลองตารางที่ 3.3 และ ตารางที่ 3.4 จะเห็นว่าค่าความต่างศักย์ที่ตำแหน่งการวางมือของมนุษย์ตามธรรมชาติ คือ 90 องศา เพราะฉะนั้นค่าความต่างศักย์ที่ทางกลุ่มของข้าพเจ้าได้เลือกนำมาใช้ในการเขียนโปรแกรม คือ 2.38 และ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองศาของตัวเซนเซอร์นั้นค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ จะสามารถบ่งบอกได้ว่ามือมีการหมุนไปทาง ซ้าย หรือ ทางขวา โดยค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จะมีค่าน้อยลงเมื่อมีการหมุนไปทางซ้าย และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการหมุนไปทางขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 หลักการออกแบบถุงมือบังคับรถ



รูปที่ 3.3 การออกแบบถุงมือบังคับรถ

การออกแบบถุงมือบังคับรถแสดงดังรูปที่ 3.3 แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) ซึ่งจะติดอยู่ที่นิ้วมือ ทำหน้าที่เป็นสัญญาณขาเข้าป้อนสัญญาณเข้าสู่ภาคตัวส่งสัญญาณเพื่อเป็นสัญญาณบังคับรถให้เดินหน้าหรือหยุด

ส่วนที่ 2 วงจรภาคตัวส่งสัญญาณ ซึ่งจะถูกติดอยู่บนตัวถุงมือ ประกอบด้วย

1. เซนเซอร์อัตราเร่ง (Acceleration Sensor) เป็นเซนเซอร์ที่ติดอยู่บนวงจรภาคตัวส่งซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่ทำหน้าที่เป็นสัญญาณขาเข้าเข้าสู่ Microcontroller Unit (MCU) เพื่อทำให้กลายสัญญาณขาออกที่ถูกส่งไปยังวงจรภาคตัวรับให้ทำหน้าที่ควบคุมรถในการเลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวา

2. Operation Amplifier ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้รับจากเซนเซอร์ใช้วัดความโค้งงอ (Flex Sensor) เนื่องจากสัญญาณที่ได้รับจากเซนเซอร์ตัวนี้ มีขนาดสัญญาณที่ต่ำจึงจำเป็นที่จะต้องขยายสัญญาณก่อนที่จะส่งสัญญาณไปยัง Microcontroller Unit (MCU)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Microcontroller Unit (MCU) ตระกูล Arduino เบอร์ ET-EASY 168 STAMP ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลสัญญาณขาเข้าที่ได้รับมาจากเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัวจากนั้นเปลี่ยนสัญญาณขาเข้านั้นเป็นสัญญาณขาออกเพื่อส่งไปยัง Encorder หรือ ตัวเข้ารหัสสัญญาณ

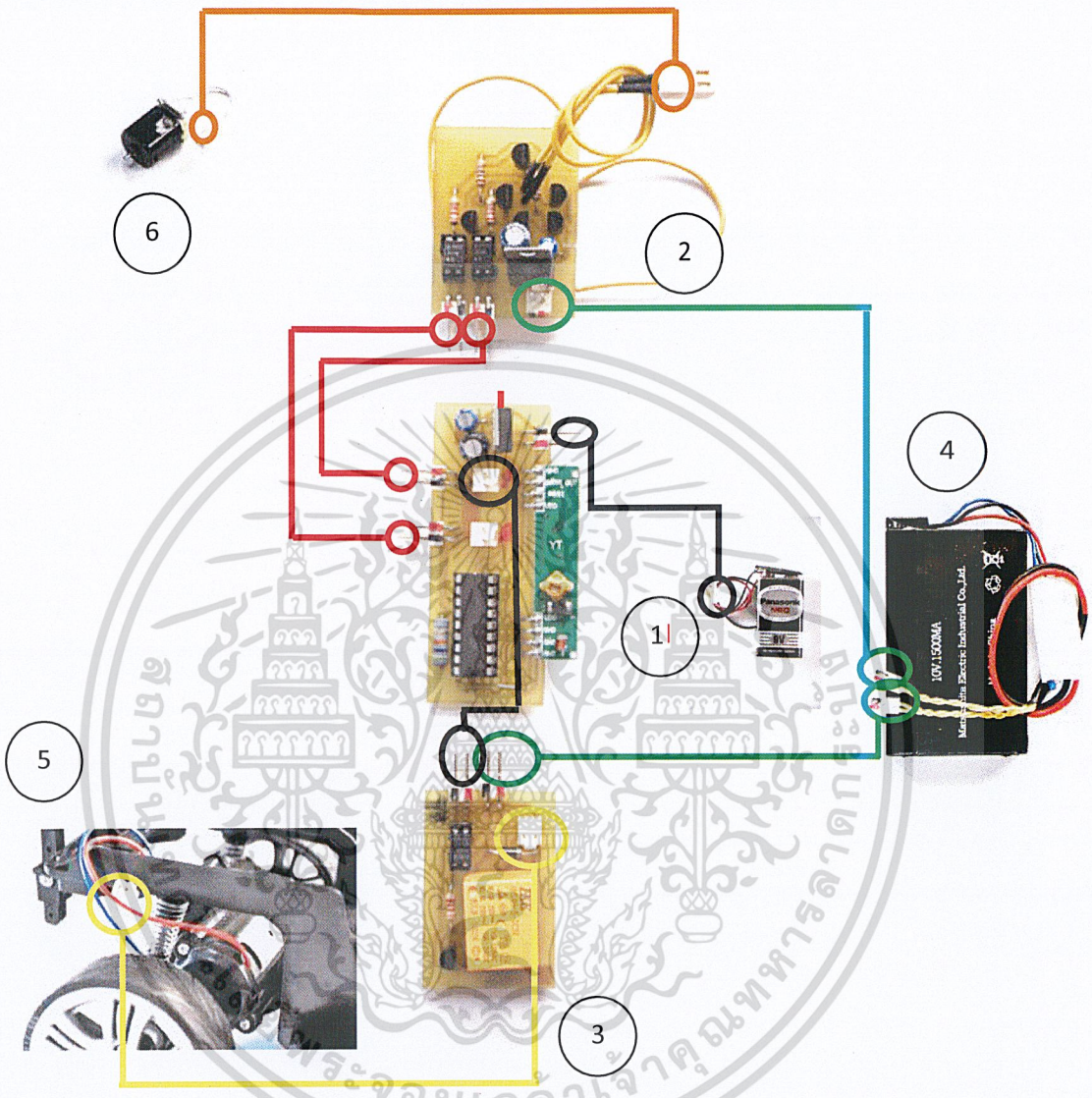
4. ตัวเข้ารหัสสัญญาณ (Encorder) ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงสัญญาณที่ได้รับจาก Microcontroller Unit (MCU) เปลี่ยนสัญญาณนั้นเป็นสัญญาณบิทดิจิตอล จากนั้นส่งสัญญาณที่แปลงเสร็จเรียบร้อยแล้วไปยังตัวส่งสัญญาณ

5. ตัวส่งสัญญาณ ทำหน้าที่ส่งสัญญาณซึ่งสัญญาณนั้นเป็นสัญญาณคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่และทิศทางของรถบังคับไปยังตัวรับสัญญาณที่อยู่บนวงจรภาคตัวรับสัญญาณ

6. วงจรปรับระดับแรงดัน ซึ่งถูกติดไว้บนวงจรภาคตัวส่งสัญญาณเช่นกัน ทำหน้าที่ปรับระดับแรงดันที่ได้รับจากแบตเตอรี่ให้มาอยู่ที่ระดับ 5 โวลท์เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแก่วงจรทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 หลักการออกแบบการทำงานของตัวรถบังคับ



รูปที่ 3.4 การออกแบบการทำงานของตัวรถบังคับ

การออกแบบการทำงานของตัวรถบังคับแสดงดังรูปที่ 3.4 แบ่งออกเป็น 6 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 คือ วงจรภาคตัวรับซึ่งประกอบด้วย ตัวรับสัญญาณและตัวถอดรหัสสัญญาณ ทำหน้าที่รับสัญญาณจากตัวส่งสัญญาณที่ติดอยู่บนถุงมือ แล้วทำการถอดรหัสสัญญาณเพื่อเป็นสัญญาณขาเข้าให้กับวงจรอื่นต่อไป

ส่วนที่ 2 คือ วงจรขับกระแสด้วยทรานซิสเตอร์ ทำหน้าที่ป้อนสัญญาณกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ของตัวรถบังคับเพื่อควบคุมให้ตัวรถบังคับสามารถเลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3 คือ วงจรควบคุมการหมุนของมอเตอร์ เป็นการต่อแบบ H-Bridge ซึ่งสามารถควบคุมการหมุนของมอเตอร์ได้โดยทิศที่หมุนได้แก่ ทวนเข็มนาฬิกา และตามเข็มนาฬิกา ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวป้อนสัญญาณขาเข้าให้กับตัวรถบังคับในด้านของการวิ่งไปข้างหน้าและการหยุดวิ่ง

ส่วนที่ 4 คือ แบตเตอรี่ขนาด 9 โวลท์ และ 10 โวลท์ ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับวงจรทั้ง 3 ส่วน

ส่วนที่ 5 มอเตอร์ขับเคลื่อนล้อหลัง ทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนรถบังคับให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือหยุดเคลื่อนที่

ส่วนที่ 6 มอเตอร์ขับเคลื่อนล้อหน้า ทำหน้าที่เป็นบังคับให้รถบังคับเลี้ยวซ้ายหรือว่าเลี้ยวขวา

3.2.1 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวงจรและอุปกรณ์ที่จะใช้ในการประกอบ

2. ออกแบบแผ่น PCB โดยใช้โปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ PCB

3. เมื่อได้แผ่น PCB ตามที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำแบบ PCB ที่ได้นำไปทำเป็นลายวงจรต่อไป

4. เมื่อได้ลายวงจรที่เสร็จสมบูรณ์ ขั้นต่อมาคือ บัดกรีอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนแผ่นลายวงจร

5. เชื่อมอุปกรณ์และวงจรต่างๆ ด้วยสายเชื่อมต่อ แล้วนำไปทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

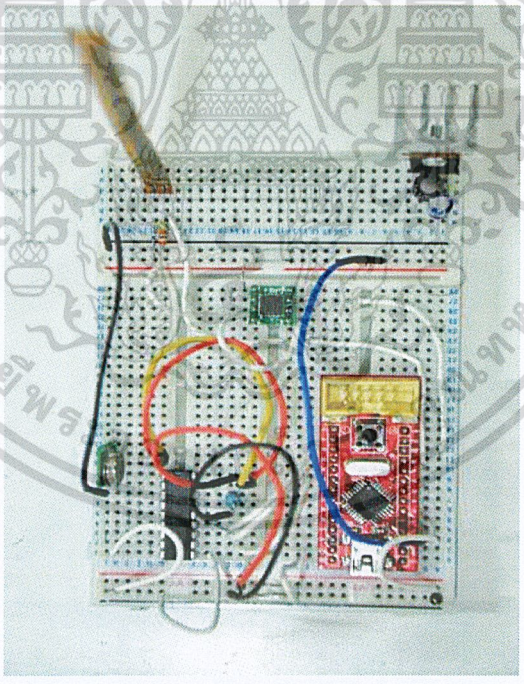
บทที่4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้ จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง การทำงานของบอร์ดทดลองภาครับและภาคส่ง โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

4.1 บอร์ดทดลองภาคส่ง (TX)

บอร์ดทดลองภาคส่ง (TX) ดังรูปที่ 4.1 สามารถทำงานด้วยไฟเลี้ยงจากแหล่งจ่ายแรงดันตั้งแต่ 7 ถึง 12 Volt ทำหน้าที่ประมวลผลจาก Acceleration Sensor ที่ติดอยู่ตรงกลางบอร์ดทดลอง และ ประมวลผลจาก Flex Sensor ที่ติดอยู่ทางซ้ายมือบนสุดของบอร์ดทดลอง จะประมวลผลสัญญาณด้วย MCU ทางขวามือล่างสุดของบอร์ดทดลอง แล้วจึงส่งค่าไปยังตัวส่งสัญญาณ TWS ทางซ้ายมือล่างสุดของบอร์ดทดลองโดยผ่านตัว Encoder เบอร์ HT12E



รูปที่ 4.1 บอร์ดทดลองที่ต่อเพื่อรับสัญญาณ Radio Control จากบอร์ดทดลองภาคส่ง (TX)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ส่วนประกอบบนบอร์ดทดลองภาคส่ง (TX) ประกอบด้วย

1. IC เบอร์ 7805 1 ตัว

2. Arduino Easy Stamp 168

3. Flex Sensor แบบค่าความต้านทาน

4. IC เบอร์ KXM52-1050

5. IC เบอร์ LM358

6. IC เบอร์ HT12E

7. TX Module เบอร์ TWS-BS-3 ที่ 433.92MHz

8. Resistor

   8.1 ขนาด 20KΩ 1 ตัว

   8.2 ขนาด 1 MΩ 1ตัว

   8.3 ขนาด 300Ω 3 ตัว

   8.4 แบบปรับค่าได้ 1 ตัว (ขนาดใดก็ได้ที่สามารถใช้งานที่ 5 Volt ได้)

9. Capacitor

   9.1 ขนาด 100µF 1 ตัว

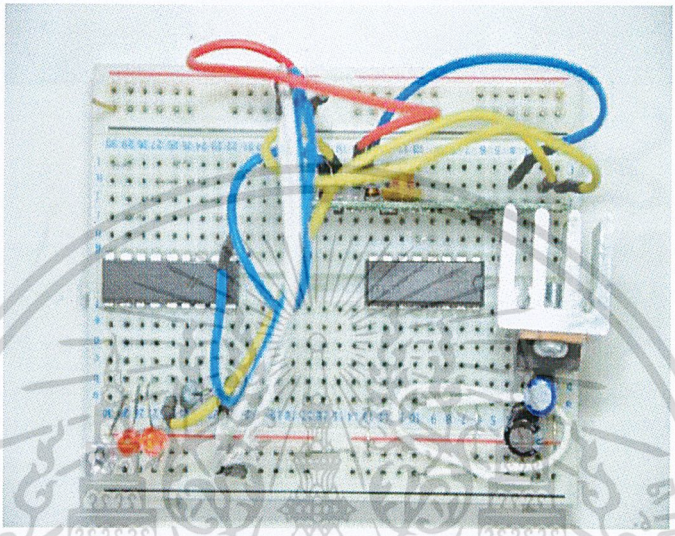
   9.2 ขนาด 10µF 1 ตัว

4.2 บอร์ดทดลองภาครับ (RX)

บอร์ดทดลองภาครับ (RX) ดังรูปที่ 4.2 สามารถทำงานด้วยไฟเลี้ยงจากแหล่งจ่ายแรงดันตั้งแต่ 7 ถึง 12 Volt โดยจะแบ่งภาคแหล่งจ่ายแรงดันเป็น 2 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งที่ 1 แรงดันเพื่อทำการเลี้ยงวงจร และ ตำแหน่งที่ 2 แรงดันเพื่อทำการขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอร์ดทดลองภาครับทำหน้าที่รับสัญญาณ Radio Frequency (RF) จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ TX แล้วทำการถอดรหัสสัญญาณที่ได้จาก บอร์ด TX โดย IC เบอร์ HT12D ซึ่งอยู่ตรงกลางบอร์ดทดลองตัวที่ 3 หลังจากสัญญาณที่ได้จากการถอดรหัสนั้น สัญญาณจะถูกนำไปใช้งานในการขับมอเตอร์ด้วย IC เบอร์ L293D ซึ่งอยู่ตรงกลางบอร์ดทดลองตัวที่ 2



รูปที่ 4.2 บอร์ดทดลองที่ต่อเพื่อประมวลผลจาก Bending Sensor และ Acceleration Sensor เพื่อส่งสัญญาณ Radio Control ไปสู่บอร์ดทดลองภาครับ (RX)

4.1.2 ส่วนประกอบบนบอร์ดทดลองภาครับ (RX) ประกอบด้วย

1. IC เบอร์ 7805 2 ตัว
2. IC เบอร์ HT12D 1 ตัว
3. RX Module เบอร์ RWS-374-6 ที่ 433.92MHz
4. DC Motor 2 ตัว (ที่แรงดัน 5 Volt Non-Repeative)
5. Resistor
   - 5.1 ขนาด 45KΩ 1 ตัว
   - 5.2 ขนาด 300Ω 3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Capacitor

6.1 ขนาด 100μF 2 ตัว

6.2 ขนาด 10μF 2 ตัว

4.3 วิธีการทดลอง

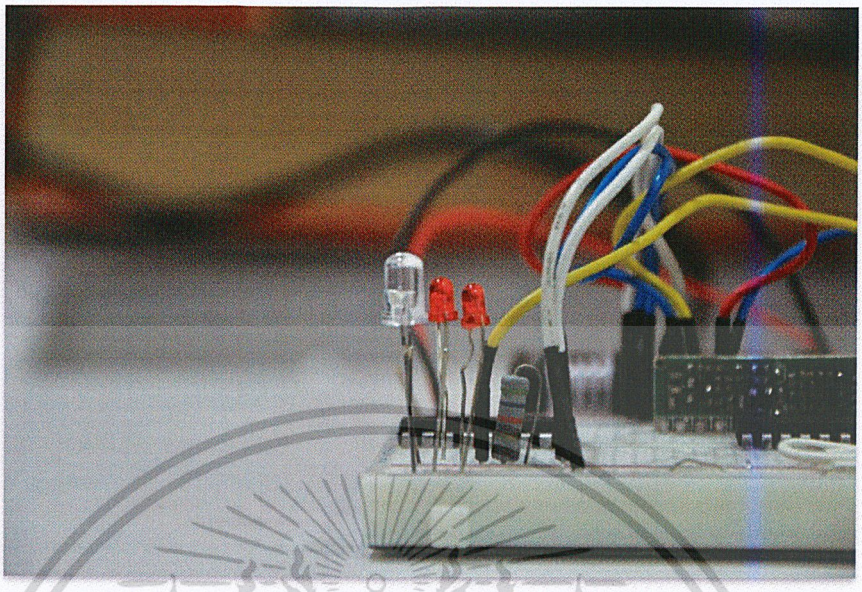
4.2.1 นำอุปกรณ์ทั้งหมดมาทำการต่อวงจรตามรูปแบบที่กำหนดไว้ทั้งบอร์ดภาครับและบอร์ดภาคส่ง

4.2.2 จากนั้นนำบอร์ดทั้งสองมาทำการทดลอง โดยวิธีการหมุนองศาของมือไปตามค่าที่กำหนด

4.2.3 บันทึกค่าของ Acceleration Sensor และสัญญาณไฟLED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 4.3 หลอดไฟ LED จำนวน 3 หลอดแสดงถึงสถานการณ์ทำงานของมอเตอร์เมื่อการเปลี่ยนแปลงค่าของ Sensor บนบอร์ดภาคส่ง (TX)

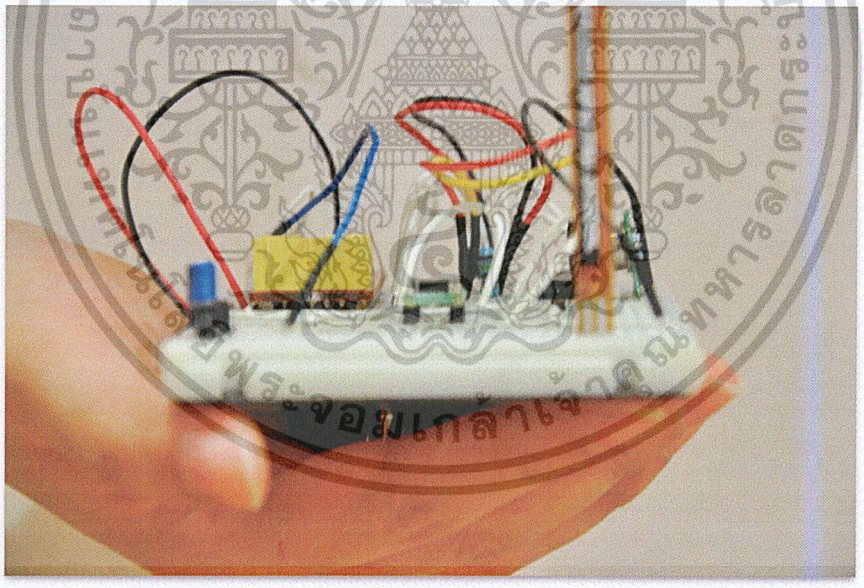
จากรูปที่ 4.3 ผลการทดลองนั้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง หรือ การหมุนของมือ ที่ทำให้ ค่าของ Acceleration Sensor เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ Micro Controller Unit (MCU) บนบอร์ดทดลองวงจร TX ประมวลผลตามเงื่อนไขคำสั่งของโปรแกรม จากนั้นจะส่งสัญญาณเป็นค่า Digital ออกมาจาก Port Digital ที่ 3 ถึง 5 เมื่อสัญญาณถูกส่งออกมาตัว Encoder จะทำหน้าที่ เข้ารหัสสัญญาณระหว่างค่า Data ที่ MCU ส่งไปกับค่าของ Address เป็นสัญญาณอนุกรมขาเดียว เพื่อส่งออกไปยังภาคส่งของบอร์ดทดลองวงจร TX และทำการส่งออกเป็นสัญญาณวิทยุ

เมื่อตัวรับสัญญาณวิทยุของบอร์ดทดลอง RX ได้รับสัญญาณใดๆก็ได้จากอากาศรับเข้ามาเป็นสัญญาณอนุกรมขาเดียวเช่นกัน เข้าสู่ตัว Decoder เพื่อทำการถอดรหัสออกมาเป็นค่าสัญญาณของ Address และ Data และทำการตรวจสอบค่าของ Address ว่าเป็นการส่งค่าจากตัว Encoder ตัวเดียวกันกับที่เราได้ทำการส่งสัญญาณ หลังจากนั้นถ้าหากว่าเป็นจริง Data จะถูกส่งออกมาจากตัว Encoder เข้าสู่วงจรขับมอเตอร์อีกที

รูปที่ 4.4 – 4.9 แสดงถึงผลการทดลองตามลักษณะของไฟ LED เพื่อแสดงถึงลักษณะการทำงานของบอร์ดภาคส่ง (TX)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 ไฟ LED แสดง สถานะเดินหน้าติดเพียงอย่างเดียว

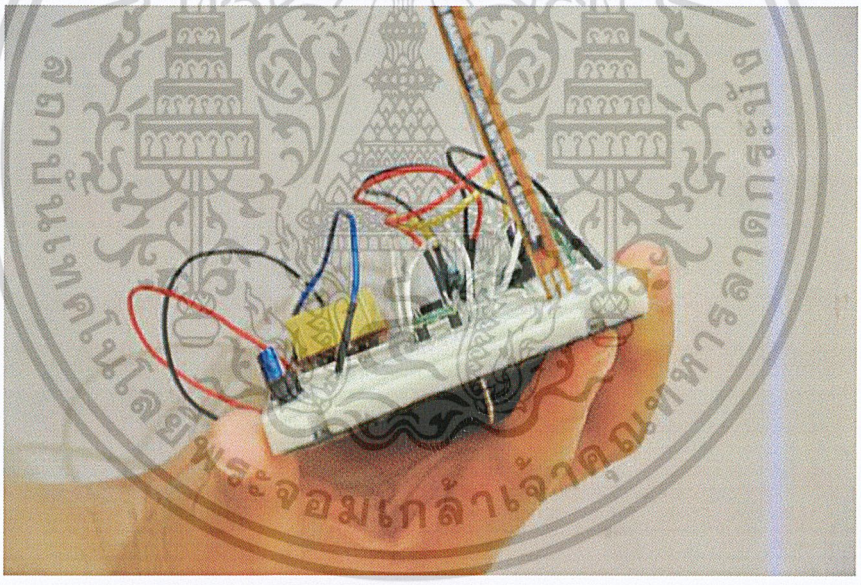


รูปที่ 4.5 ลักษณะการทำงานของบอร์ดภาคส่ง (TX) เพื่อให้มอเตอร์

ทำงานเดินหน้าอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

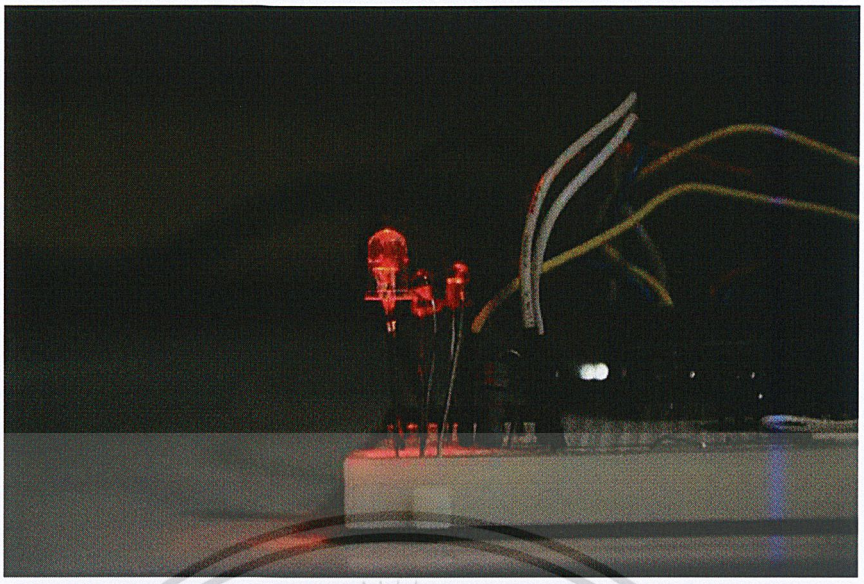
รูปที่ 4.6 ไฟ LED แสดงสถานะ เดินหน้า และ เลี้ยวขวา



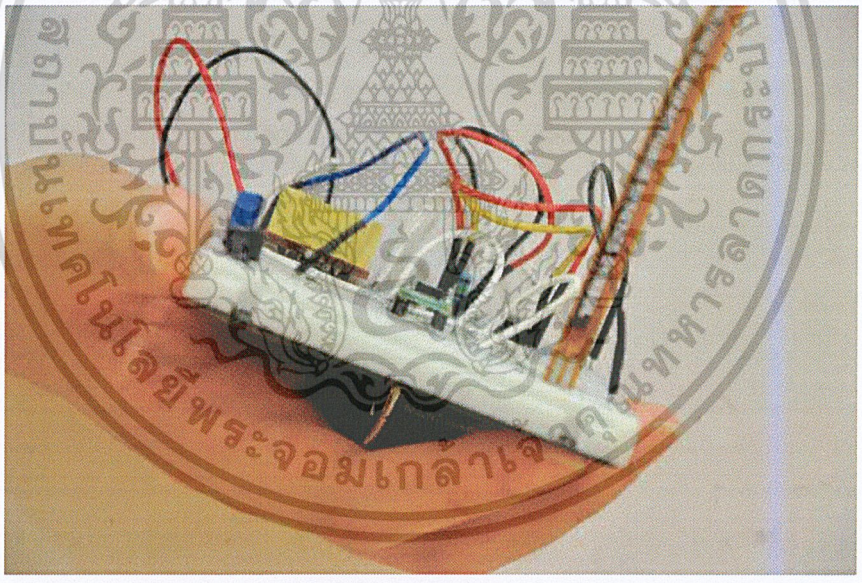
รูปที่ 4.7 ลักษณะการทำงานของบอร์ดภาคส่ง (TX) เพื่อให้มอเตอร์

ทำงานเดินหน้าและเลี้ยวขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ไฟ LED แสดงสถานะ เดินหน้า และ เลี้ยวซ้าย



รูปที่ 4.9 ลักษณะการทำงานของบอร์ดภาคส่ง (TX) เพื่อให้มอเตอร์ทำงานเดินหน้าและเลี้ยวซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์ และ สรุปผล

5.1สรุปผลการดำเนินงาน

5.1.1 ภาคส่ง

ส่วนประมวลผลของระบบที่สร้างขึ้นสามารถ รับค่าสัญญาณ Analog จากเซนเซอร์ทั้งสองตัว และนำมาประมวลผลได้ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด พร้อมทั้งส่งเอาท์พุตไปยังส่วนเข้ารหัสของระบบ และ เปลี่ยนแปลงสัญญาณเป็นแบบอนุกรม ก่อนจะส่งต่อไปยังภาคส่งได้ตรงตามที่ออกแบบไว้

5.1.2 ภาครับ

ส่วนภาครับสามารถรับสัญญาณวิทยุเข้ามาและสามารถแปลงสัญญาณวิทยุกลับคืนมาเป็นสัญญาณแบบ อนุกรมได้ จากนั้นจึงส่งต่อไปยังภาคถอดรหัสและทำการแปลงสัญญาณออกเป็น สัญญาณขนาน แบบ 4 แชลแนลได้ตรงตามที่ออกแบบไว้ และสามารถนำสัญญาณที่ออกมาไปบังคับการเคลื่อนที่ของรถตามที่คาดหวังไว้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ปัญหา

1. IC ที่ใช้ขับมอเตอร์มีความร้อนเกิดขึ้นมาก เมื่อต้องขับมอเตอร์สองตัวพร้อมกันที่ใช้แรงดันต่างกัน
2. มอเตอร์ไม่ทำงานหรือทำงานแล้วค้าง เนื่องจากแหล่งจ่ายมีกระแสไม่พอที่จะทำการหยุดการทำงานของมอเตอร์เมื่อได้รับกระแสจนถึงจุดอิ่มตัว
3. วงจรภาคส่งสัญญาณวิทยุมีความจำเป็นต้องใช้เสาอากาศในการส่ง
4. เซนเซอร์วัดอัตราเร่งที่ใช้งานมีราคาสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. ติด Heat sink หรือ ทำวงจรขับมอเตอร์ชนิด H – Bridge ขึ้นมาเองโดยใช้ทรานซิสเตอร์ ชนิด PNP และ NPN ขึ้นมาเอง
2. เปลี่ยนแหล่งจ่าย หรือ ออกแบบวงจรแบบกำจัดกระแส
3. ใช้ลวดเล็กดัดและหนีบเข้าไปในถุงมือ
4. อาจจะนำอุปกรณ์ตัวอื่นมาประยุกต์ใช้งานแทนเช่น สวิตซ์ปรอท

5.3 ประโยชน์ที่ได้จากการทำโครงงาน

1.เข้าใจถึงการทำงานของเซ็นเซอร์และการให้ค่าสัญญาณไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ ตั้งแต่หลักการทำงานพื้นฐานของระบบอิเล็กทรอนิคส์และการนำเอาค่าสัญญาณไปประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์สัญญาณในระบบที่ได้ในแต่ละเงื่อนไขที่กำหนด

2.สามารถนำเอาค่าสัญญาณ Analog ของสัญญาณจากเซ็นเซอร์มาแปลงเป็นสัญญาณ Digital เพื่อนำค่าสัญญาณที่ตรวจสอบในขณะนั้นมาประมวลผลโดยใช้ Arduino Easy Stamp 168

3.ได้ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการส่ง-รับ สัญญาณวิทยุ จนสามารถนำมาประยุกต์ ทำโครงงาน และ ออกแบบแผงวงจร ภาครับ – ส่ง ได้

4. ได้ทดลองทำวงจร H-Bridge ขึ้นมาเองโดยไม่ได้ใช้งาน IC เข้าช่วยทำให้เข้าใจ ถึงหลักการการคำนวณ และ การออกแบบแผงวงจรขับมอเตอร์

5. ได้ฝึกทำลายวงจรตั้งแต่กระบวนการแรก คือ การออกแบบลายแผงวงจร และการกัดลายแผงวงจร จนถึงกระบวนการสุดท้ายคือการบัดกรีอุปกรณ์เข้ากับแผงวงจร

6. ทำให้รู้จักการแก้ปัญหาของการออกแบบระบบ และ การทดลอง ซึ่งผลลัพธ์อาจจะไม่ตรงกับทฤษฎีก็สามารถแก้ไขแต่ละส่วนได้ในขณะนั้น ทำให้ได้งานที่มีความเสถียรภาพของระบบที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 แนวทางการพัฒนา

พัฒนาให้ระบบประมวลผลของภาคส่งนั้นสามารถส่งสัญญาณเอาท์พุตออกมาเป็นแบบอนุกรมได้ โดยไม่ต้องผ่านภาคเข้ารหัสสัญญาณ และสร้างส่วนประมวลผลของภาครับเพื่อถอดรหัสสัญญาณที่ได้ เนื่องจากสัญญาณที่ได้จะมีความหลากหลายมากกว่าขึ้นอยู่กับการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมภาษา C

```
1.  Int count=50 ;
2.  int x=0;
3.  int sensorPin = A0;
4.
5.  void setup()
6.  {
7.  pinMode(D1, OUTPUT);
8.  pinMode(D2, OUTPUT);
9.  pinMode(D3, OUTPUT);
10. }
11. void loop() {
12. dataStorage[x] = analogRead(sensorPin);
13. if(startX==1)
14. {
15. XThreshold = gainer.analogInput[0];
16. startX = 0;
17. }
18. if(startY==1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
19.     {
20.     YThreshold = gainer.analogInput[1];
21.     startY = 0;
22.     }
23.     if(startZ==1)
24.     {
25.     ZThreshold = gainer.analogInput[2];
26.     startZ = 0;
27.     }
28.     if(count<10)
29.     {
30.     BackCount=0;
31.     }
32.     else
33.     {
34.     BackCount=count-10;
35.     }
36.     if(count<3)
37.     {
38.     backType=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
39.     }
40.     else
41.     {
42.     backType=count-3;
43.     }
44.     if((count%10)==0)
45.     {
46.     AverageFreqX(XAv,count);
47.     AverageFreqY(YAv,count);
48.     AverageFreqZ(ZAv,count);
49.     TransDigi(XAv[count],YAv[count],ZAv[count],count);
50.     }
51.     AverageFreq(XAv,1);
52.     AverageFreq(YAv,2);
53.     AverageFreq(ZAv,3);
54.     if((count%10)==0)
55.     {
56.     CheckPathX[count]                                    =
CheckPatternX(XTransDigi,XDigiData1,XDigiData2,XDigiData3,count,Data);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
57.     CheckPathY[count]                                                    =
CheckPatternY(YTransDigi,YDigiData1,YDigiData2,YDigiData3,count,Data);

58.     CheckPathZ[count]                                                    =
CheckPatternZ(ZTransDigi,ZDigiData1,ZDigiData2,ZDigiData3,count,Data);

59.     }

60.     textFont(myFont, 12);

61.     text("XAv: " +XAv[count],310,50);

62.     text("YAv: " +YAv[count],310,60);

63.     text("ZAv: " +ZAv[count],310,70);

64.     text("Back count: " +BackCount,310,110);

65.     text("Count: " +count,310,120);

66.     text("Status X :",400,50);

67.     text("Status Y :",400,60);

68.     text("Status Z :",400,70);

69.     RunNum=count-(count%10);

70.     text("Check Pattern X :" +CheckPathX[RunNum],600,50);

71.     text("Check Pattern Y :" +CheckPathY[RunNum],600,60);

72.     text("Check Pattern Z :" +CheckPathZ[RunNum],600,70);

73.     for(int i=1;i<dataBuffer;i++)

74.     {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
75.     int j=i-1;
76.     stroke(0,255,0);
77.     line(i,XAv[j]+125,i,XAv[i]+125);
78.     stroke(0,0,0);
79.     line(i,XThreshold+125,i,XThreshold+125);
80.     stroke(0,0,255);
81.     line(i,YAv[j]+300,i,YAv[i]+300);
82.     stroke(0,0,0);
83.     line(i,YThreshold+300,i,YThreshold+300);
84.     stroke(255,0,0);
85.     line(i,ZAv[j]+400,i,ZAv[i]+400);
86.     stroke(0,0,0);
87.     line(i,ZThreshold+400,i,ZThreshold+400);
88.     if((i%10)==0)
89.     {
90.     stroke(0,0,0);
91.     line(i,150,i,XThreshold+125);
92.     line(i,XThreshold+135,i,YThreshold+300);
93.     line(i,YThreshold+310,i,ZThreshold+400);
94.     line(i,ZThreshold+410,i,700);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
95.   if(((XThreshold+2)<XAv[i])||(XAv[i]<(XThreshold-2)))
96.   {
97.   stroke(0,255,0);fill(255);ellipse(i,XAv[i]+125,5,5);
98.   Text(XAv[i],XThreshold,135,i);
99.   }
100.  if(((YThreshold+2)<YAv[i])||(YAv[i]<(YThreshold-2)))
101.  {
102.  stroke(0,0,255);fill(255);ellipse(i,YAv[j]+300,5,5);
103.  Text(YAv[i],YThreshold,310,i);
104.  }
105.  if(((ZThreshold+2)<ZAv[i])||(ZAv[i]<(ZThreshold-2)))
106.  {
107.  stroke(255,0,0);fill(255);ellipse(i,ZAv[j]+400,5,5);
108.  Text(ZAv[i],ZThreshold,410,i);
109.  }
110.  }
111.  }
112.  textFont(myFont, 12);
113.  text("XThreshold: " +XThreshold,510,XThreshold+125);
114.  text("YThreshold: " +YThreshold,510,YThreshold+300);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
115.  text("ZThreshold: " +ZThreshold,510,ZThreshold+400);

116.  text("X MoveData1.1 :"+XMoveData1[3],310,80);text("X
MoveData2.1 :"+XMoveData2[3],440,80);text("X MoveData3.1 :"+XMoveData3[3],570,80);

117.  text("X MoveData1.2 :"+XMoveData1[2],310,90);text("X
MoveData2.2 :"+XMoveData2[2],440,90);text("X MoveData3.2 :"+XMoveData3[2],570,90);

118.  text("X MoveData1.3 :"+XMoveData1[1],310,100);text("X
MoveData2.3 :"+XMoveData2[1],440,100);text("X
MoveData3.3 :"+XMoveData3[1],570,100);

119.  /*  for(int l=0;l<=500;l=l+10)

120.  {

121.  text("XTranDigi :"+XTransDigi[(l/10)],660,(100+l));

122.  }*/

123.  count++;

124.  count%=500;

125.  }

126.  }

127.  void mousePressed()

128.  {

129.  gainer.endAnalogInput();

130.  Stop=1;

131.  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
132.  void mouseReleased()
133.  {
134.  gainer.beginAnalogInput();
135.  Stop=0;
136.  }
137.  int Average(int[]Value)
138.  {
139.  int sum=0,back=BackCount+1;
140.  for(;back<=count;back++)
141.  {
142.  sum=sum+Value[back];
143.  }
144.  if(count==0)
145.  {
146.  sum=sum;
147.  }
148.  else
149.  sum =sum/(count-BackCount);
150.  return(sum);
151.  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
152.  void Text(int Value,int Final,int Ruler,int Num)
153.  {
154.  if(Value<(Final-2))
155.  {
156.  fill(255,255,255);
157.  text("a" ,Num,Final+Ruler);
158.  }
159.  else
160.  {
161.  if((Final+2)<Value)
162.  {
163.  fill(0,0,0);
164.  text("b" ,Num,Final+Ruler);
165.  }
166.  }
167.  }
168.  //Sending inX And Count
169.  void AverageFreqX(int[]Check,int Type)
170.  {
171.  textFont(myFont, 12);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
172.    if(Type<=50)
173.    {
174.    Type=50;
175.    }
176.    for(k=1;k<=3;k++)
177.    {
178.    XMoveData1[k]=Check[(Type-30)+(k*10)];
179.    }
180.    for(m=1;m<=3;m++)
181.    {
182.    XMoveData2[m]=Check[(Type-40)+(m*10)];
183.    }
184.    for(n=1;n<=3;n++)
185.    {
186.    XMoveData3[n]=Check[(Type-50)+(n*10)];
187.    }
188.    for(k=1;k<=3;k++)
189.    {
190.    if(XMoveData1[k]>=(XThreshold+5))
191.    XDigiData1[k]=-1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้ให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
192.    else
193.    {
194.    if(XMoveData1[k]<=(XThreshold-5))
195.    XDigiData1[k]=1;
196.    else
197.    XDigiData1[k]=0;
198.    }
199.    if(XMoveData2[k]>=(XThreshold+5))
200.    XDigiData2[k]=-1;
201.    else
202.    {
203.    if(XMoveData2[k]<=(XThreshold-5))
204.    XDigiData2[k]=1;
205.    else
206.    XDigiData2[k]=0;
207.    }
208.    if(XMoveData3[k]>=(XThreshold+5))
209.    XDigiData3[k]=-1;
210.    else
211.    {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
212.    if(XMoveData3[k]<=(XThreshold-5))
213.    XDigiData3[k]=1;
214.    else
215.    XDigiData3[k]=0;
216.    }
217.    }
218.    }
219.    //Sending inY And Count
220.    void AverageFreqY(int[]Check,int Type)
221.    {
222.    textFont(myFont, 12);
223.    if(Type<=50)
224.    {
225.    Type=50;
226.    }
227.    for(k=1;k<=3;k++)
228.    {
229.    YMoveData1[k]=Check[(Type-30)+(k*10)];
230.    }
231.    for(m=1;m<=3;m++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

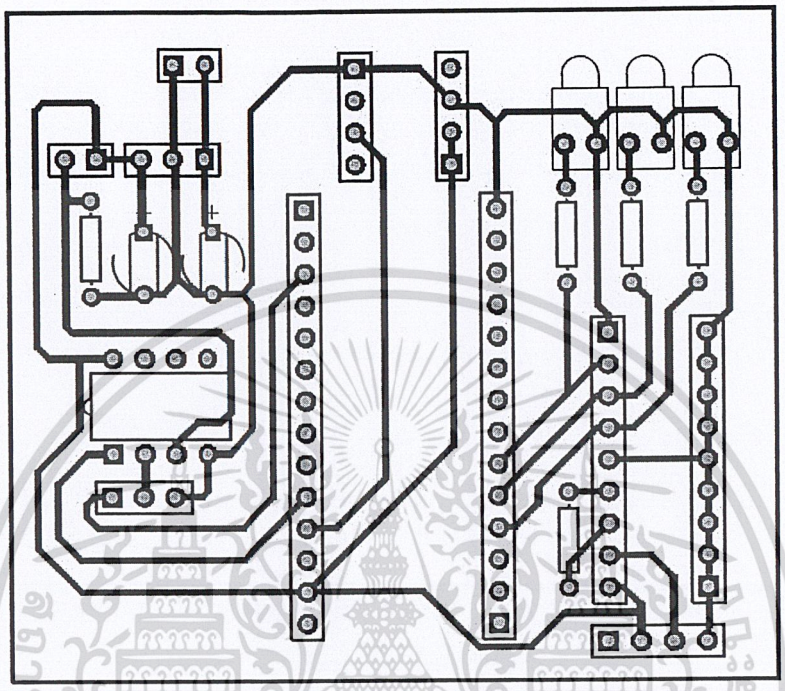
```
232.    {
233.    YMoveData2[m]=Check[(Type-40)+(m*10)];
234.    }
235.    for(n=1;n<=3;n++)
236.    {
237.    YMoveData3[n]=Check[(Type-50)+(n*10)];
238.    }
239.    for(k=1;k<=3;k++)
240.    {
241.    // ----------------------------
242.    if(YMoveData1[k]>=(YThreshold+5))
243.    YDigiData1[k]=-1;
244.    else
245.    {
246.    if(YMoveData1[k]<=(YThreshold-5))
247.    YDigiData1[k]=1;
248.    else
249.    YDigiData1[k]=0;
250.    }
251.    // ----------------------------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
252.    if(YMoveData2[k]>=(YThreshold+5))
253.    YDigiData2[k]=-1;
254.    else
255.    {
256.    if(YMoveData2[k]<=(YThreshold-5))
257.    YDigiData2[k]=1;
258.    else
259.    YDigiData2[k]=0;
260.    }
261.    // ----------------------------
262.    if(YMoveData3[k]>=(YThreshold+5))
263.    YDigiData3[k]=-1;
264.    else
265.    {
266.    if(YMoveData3[k]<=(YThreshold-5))
267.    YDigiData3[k]=1;
268.    else
269.    YDigiData3[k]=0;
270.    }
271.    // ----------------------------
```

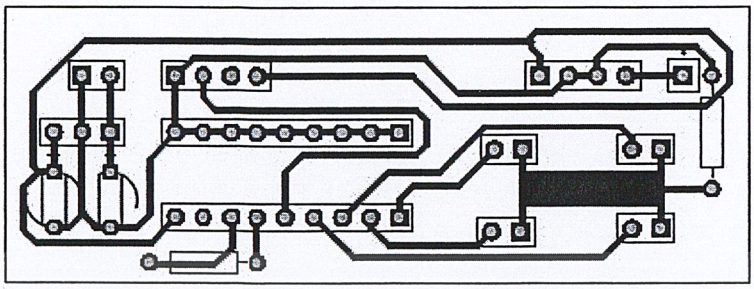
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

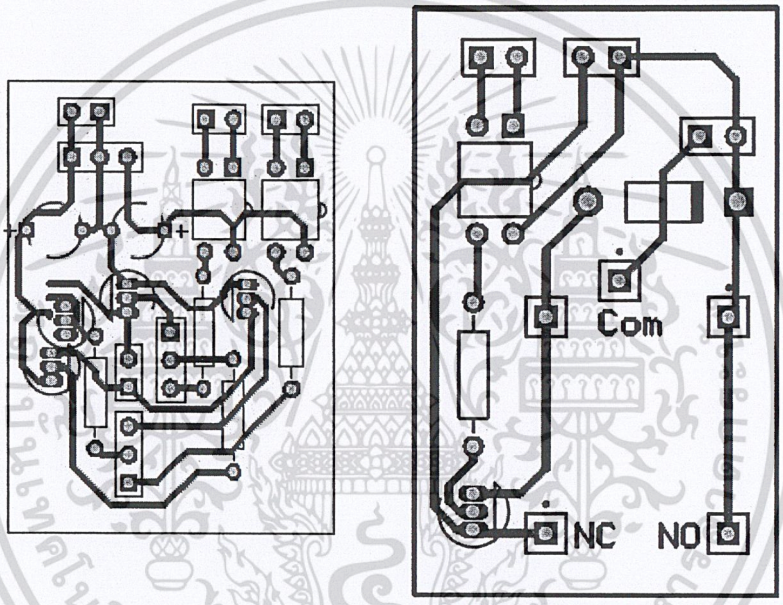
ลายปริ้นท์บอร์ดรับข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายปริ้นท์บอร์ดส่งข้อมูล





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

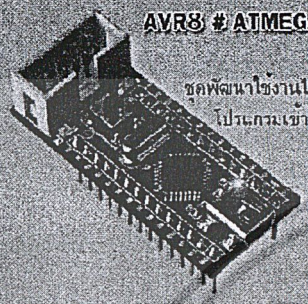
ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino Project Arduino เป็นภาษา อิตาลี เป็นชื่อโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ระกูล AVR แบบ OPEN SOURCE มีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายในการเรียนรู้และใช้งาน เนื่องจากมีการออกแบบคำสั่งต่างๆ ขึ้นมาสนับสนุนการใช้งาน ด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อน แต่สามารถนำไปใช้งานได้จริง และยังสามารถสร้างคำสั่ง และ Library ใหม่ๆ ขึ้นมาใช้เองได้เมื่อมีความชำนาญมากขึ้น รองรับการทำงานทั้ง Windows, Linux และ Macintosh OSX

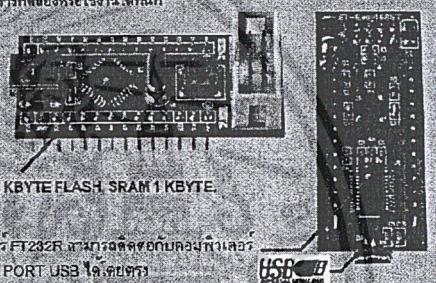
ET-EASY168 STAMP (P-ET-A-00381) * 560.-

AVR8 # ATMEGA168, 16KBYTE FLASH, SRAM 1 KBYTE, EEPROM 512 BYTE



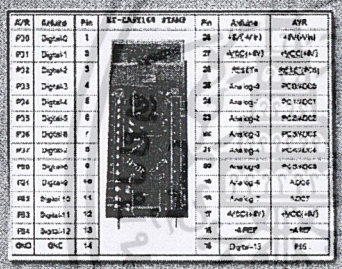
ชุดพัฒนาใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR ที่คุณสามารถพัฒนาเขียนโปรแกรมเข้าทาง PORT USB ได้โดยตรง สะดวก ประหยัด **Arduino Project**

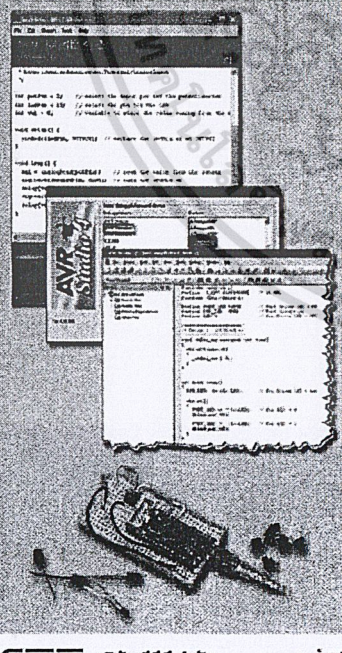
- ET-EASY168 STAMP เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR8 ขนาดเล็กจิ๋ว เลือกใช้เบอร์ ATMEGA168 เป็น MCU ประจำบอร์ด นอกจากนี้แล้วภายในตัวบอร์ดยังได้รวมเอาไอซี USB BRIDGE ของ FTDI เบอร์ FT232R ตามมาตรฐานติดต่อกับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทาง PORT USB ได้โดยตรงทำให้บอร์ด ET-EASY168 STAMP เป็นบอร์ดทดลองใช้งานขนาดเล็กที่เพียบพร้อมไปด้วยวงจรพื้นฐานที่จำเป็นต่อการใช้งานอย่างแท้จริง เพียงแค่เสียบสาย USB จากเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เข้ากับ สาย USB ของบอร์ด FT-EASY168 STAMP ก็สามารถเริ่มโปรแกรม และ DOWNLOAD CODE เข้าตัวบอร์ด พร้อมใช้ทำการทดลองหรือใช้งานได้ทันที



AVR8 # ATMEGA168 16 KBYTE FLASH, SRAM 1 KBYTE.

- FTDI เบอร์ FT232R สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทาง PORT USB ได้โดยตรง





การพัฒนาโปรแกรมของบอร์ด ET-Easy168 STAMP สามารถทำได้ใน 2 รูปแบบ การพัฒนา คือ

1. ARDUINO PROJECT เป็นรูปแบบการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้โปรแกรมและชุดคำสั่งด้วย ภาษา ซี (C++) ของ ARDUINO PROJECT ซึ่งเป็นการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ในตระกูล AVR ในแบบ OPEN SOURCE สามารถนำมาใช้งานได้ฟรี ไม่เสียค่าใช้จ่าย สามารถดูรายละเอียดได้ที่นี่ http://www.arduino.cc โดยเป็นชุด ET-EASY168 STAMP ตัว MCU จากทาง อีทีที ระทำการติดตั้งโปรแกรม BOOTLOADER ไว้ในตัว MCU เรียบร้อย สามารถ DOWNLOAD ได้โดยตรง ผ่านทาง PORT USB

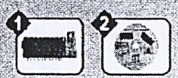
2. AVR MICRO CONTROLLER เป็นรูปแบบการพัฒนาโปรแกรมตามรูปแบบของ AVR ปกติ ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมภาษาใดๆ ก็ยังรับการใช้งานร่วมกับ AVR เบอร์ ATMEGA168 เช่น ภาษา เบสิก BASCOM-AVR, ภาษา ซี CODE VISION, WIN AVR เป็นต้น โดยใช้การ DOWNLOAD ผ่าน BOOTLOADER หรือผ่านทางขาต่อ AVR ISP แบบ IDE 10PIN ซึ่งจะต้องมีชุด DOWNLOAD ต่อเพิ่ม เช่น ไรซุด ET-AVR PROG MINI, ET-AVR ISP USB V1 ฯลฯ

คุณสมบัติของบอร์ด ET-Easy168 STAMP

- เลือกใช้ MCU ตระกูล AVR8 เบอร์ ATMEGA168 ของ ATMEL ใช้งาน RUN ความถี่ 16.00 MHz
- หน่วยความจำ FLASH 16 KBYTE, SRAM 1 KBYTE, EEPROM 512 BYTE
- มี GPIO ใช้งาน 22 BIT เป็น DIGITAL จำนวน 14 BIT, และ A TO D ขนาด 10 BIT จำนวน 8 BIT
- POWER SUPPLY ตัดใช้งาน 5VDC โดยใช้ไฟที่ผ่าน 5VDC จาก PORT USB และจากแหล่งจาย 5VDC ภายนอก พร้อม LED POWER แสดงสถานะ
- มีวงจร EXTERNAL RESET แบบ RC RESET และ SW RESET
- ขั้วต่อใช้งานรวมตัวบน PIN HEADER ระยะห่าง 2.54 mm. ขนาด 28 PIN ระยะวาง 600 MIL สามารถนำไปต่อประยุกต์ใช้งาน และพัฒนาของบน PROJECT BOARD
- ขนาดบอร์ด 2 X 5 CM. ขนาดบอร์ดประมาณเท่ากับไอซี 28 PIN
- ขั้วต่อ USB MINI และไอซี USB BRIGE ของ FDTI เบอร์ FT232R บนบอร์ด
- ขั้วต่อ AVR ISP แบบ IDE 10 PIN สำหรับต่อใช้งาน DOWNLOAD ให้กับ MCU ในบอร์ด ในกรณีไม่ต้องการ DOWNLOAD ผ่านทาง PORT USB

- ชุด ET-Easy168 STAMP ประกอบด้วย

1. บอร์ด ET-EASY168 STAMP
2. CD-ROM คู่มือการใช้งานโปรแกรม



ETT บริษัท อีทีที จำกัด
ETT CO., LTD.
www.etteam.com Tel. 02 7121120 Fax. 02 3917216 e-mail:sale@etteam.com
*ราคาสินค้ายังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% บริษัทขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดและราคาสินค้าโดยไม่แจ้งให้ทราบล่วงหน้า
เครดิตเทอม อีทีที พิเศษสำหรับ SOCKET ทดลอง ในการประกอบแล้ว แทน SOCKET ธรรมดาราคาถูกกว่า เพื่อ.ลดปัญหาในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOLTEK

2^{12} Series of Decoders

Features

- Operating voltage: 2.4V~12V
- Low power and high noise immunity CMOS technology
- Low standby current
- Capable of decoding 12 bits of information
- Pair with Holtek's 2^{12} series of encoders
- Binary address setting
- Received codes are checked 3 times
- Address/Data number combination
  - HT12D: 8 address bits and 4 data bits
  - HT12F: 12 address bits only
- Built-in oscillator needs only 5% resistor
- Valid transmission indicator
- Easy interface with an RF or an infrared transmission medium
- Minimal external components

Applications

- Burglar alarm system
- Smoke and fire alarm system
- Garage door controllers
- Car door controllers
- Car alarm system
- Security system
- Cordless telephones
- Other remote control systems

General Description

The 2^{12} decoders are a series of CMOS LSIs for remote control system applications. They are paired with Holtek's 2^{12} series of encoders (refer to the encoder/decoder cross reference table). For proper operation, a pair of encoder/decoder with the same number of addresses and data format should be chosen.

The decoders receive serial addresses and data from a programmed 2^{12} series of encoders that are transmitted by a carrier using an RF or an IR transmission medium. They compare the serial input data three times continuously with their local addresses. If no error or unmatched codes are found, the input data codes are decoded and then transferred to the output pins. The VT pin also goes high to indicate a valid transmission.

The 2^{12} series of decoders are capable of decoding informations that consist of N bits of address and 12-N bits of data. Of this series, the HT12D is arranged to provide 8 address bits and 4 data bits, and HT12F is used to decode 12 bits of address information.

Selection Table

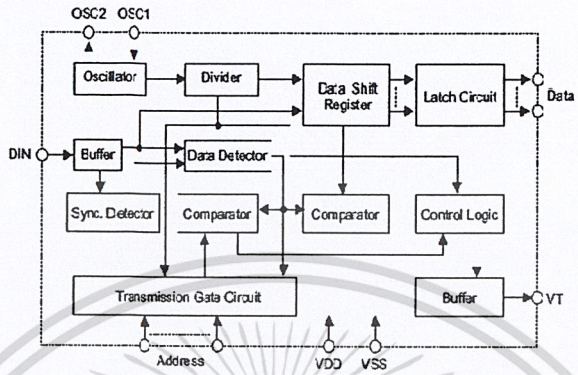
Function / Part No.	Address No.	Data No.	Data Type	VT	Oscillator	Trigger	Package
HT12D	8	4	L	√	RC oscillator	DIN active "Hi"	18 DIP/20 SOP
HT12F	12	0	—	√	RC oscillator	DIN active "Hi"	18 DIP/20 SOP

Notes: Data type: L stands for latch type data output.

VT can be used as a momentary data output.

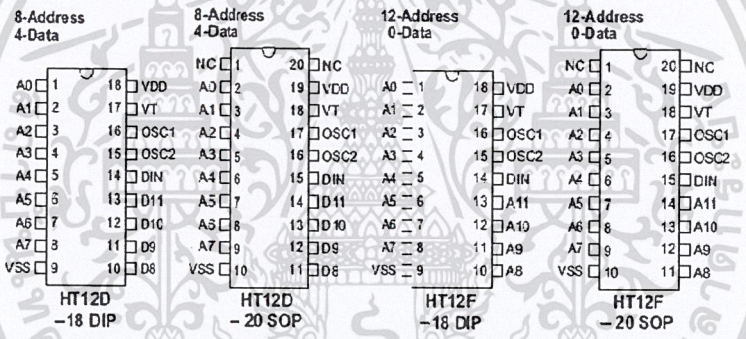
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



Note: The address/data pins are available in various combinations (see the address/data table).

Pin Assignment

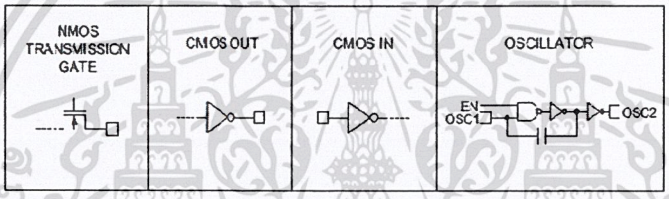


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Description

Pin Name	I/O	Internal Connection	Description
A0~A11	I	NMOS TRANSMISSION GATE	Input pins for address A0~A11 setting They can be externally set to VDD or VSS.
D8~D11	O	CMOS OUT	Output data pins
DIN	I	CMOS IN	Serial data input pin
VT	O	CMOS OUT	Valid transmission, active high
OSC1	I	OSCILLATOR	Oscillator input pin
OSC2	O	OSCILLATOR	Oscillator output pin
VSS	I	—	Negative power supply (GND)
VDD	I	—	Positive power supply

Approximate internal connection circuits



Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage.....-0.3V to 13V Storage Temperature.....-50°C to 125°C

Input Voltage.....V_{SS}-0.3 to V_{DD}+0.3V Operating Temperature .....-20°C to 75°C

Note: These are stress ratings only. Stresses exceeding the range specified under "Absolute Maximum Ratings" may cause substantial damage to the device. Functional operation of this device at other conditions beyond those listed in the specifcation is not implied and prolonged exposure to extreme conditions may affect device reliability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

Ta=25°C

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V_{DD}	Conditions				
V_{DD}	Operating Voltage	—	—	2.4	5	12	V
I_{STB}	Standby Current	5V	Oscillator stops	—	0.1	1	μA
		12V		—	2	4	μA
I_{DD}	Operating Current	5V	No load f_{OSC}=150kHz	—	200	400	μA
I_O	Data Output Source Current (D8~D11)	5V	V_{OH}=4.5V	-1	-1.6	—	mA
	Data Output Sink Current (D8~D11)	5V	V_{OL}=0.5V	1	1.6	—	mA
I_{VT}	VT Output Source Current	5V	V_{OH}=4.5V	-1	-1.6	—	mA
	VT Output Sink Current		V_{OL}=0.5V	1	1.6	—	mA
V_{IH}	"H" Input Voltage	5V	—	3.5	—	5	V
V_{IL}	"L" Input Voltage	5V	—	0	—	1	V
f_{OSC}	Oscillator Frequency	5V	R_{OSC}=51kΩ	—	150	—	kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description

Operation

The 2^{12} series of decoders provides various combinations of addresses and data pins in different packages so as to pair with the 2^{12} series of encoders.

The decoders receive data that are transmitted by an encoder and interpret the first N bits of code period as addresses and the last 12–N bits as data, where N is the address code number. A signal on the DIN pin activates the oscillator which in turn decodes the incoming address and data. The decoders will then check the received address three times continuously. If the received address codes all match the contents of the decoder's local address, the 12–N bits of data are decoded to activate the output pins and the VT pin is set high to indicate a valid transmission. This will last unless the address code is incorrect or no signal is received.

The output of the VT pin is high only when the transmission is valid. Otherwise it is always low.

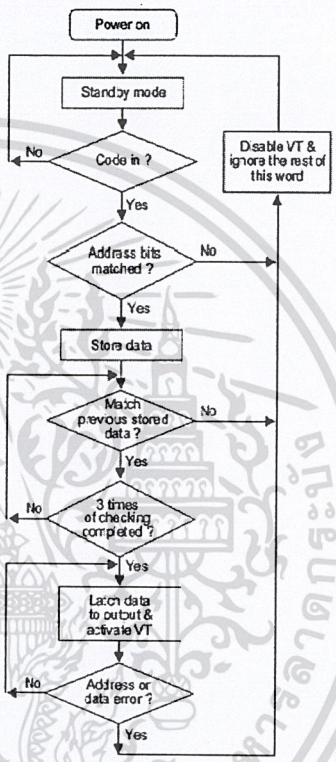
Output type

Of the 2^{12} series of decoders, the HT12F has no data output pin but its VT pin can be used as a momentary data output. The HT12D, on the other hand, provides 4 latch type data pins whose data remain unchanged until new data are received.

Part No.	Data Pins	Address Pins	Output Type	Operating Voltage
HT12D	4	8	Latch	2.4V~12V
HT12F	0	12	—	2.4V~12V

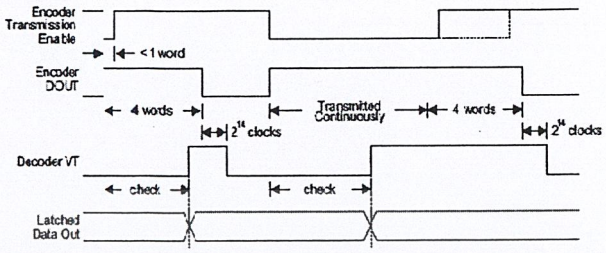
Flowchart

The oscillator is disabled in the standby state and activated when a logic "high" signal applies to the DIN pin. That is to say, the DIN should be kept low if there is no signal input.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Decoder timing



Encoder/Decoder cross reference table

Decoders Part No.	Data Pins	Address Pins	VT	Pair Encoder	Package			
					Encoder		Decoder	
					DIP	SOP	DIP	SOP
HT12D	4	8	√	HT12A	18	20	18	20
				HT12E	18	20		
HT12F	0	12	√	HT12A	18	20	18	20
				HT12E	18	20		

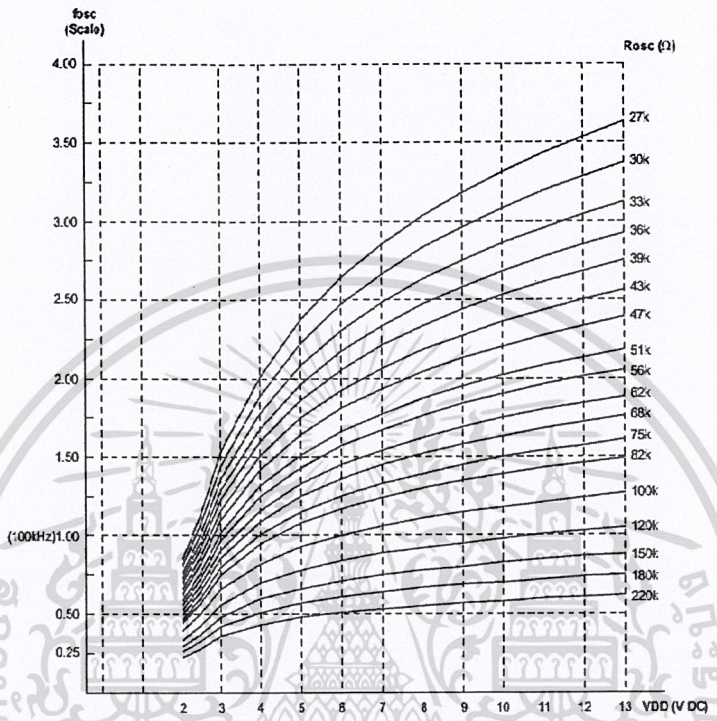
Address/Data sequence

The following table provides address/data sequence for various models of the 2^{12} series of decoders. A correct device should be chosen according to the requirements of the individual addresses and data.

Part No.	Address/Data Bits											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HT12D	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	D8	D9	D10	D11
HT12F	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oscillator frequency vs supply voltage

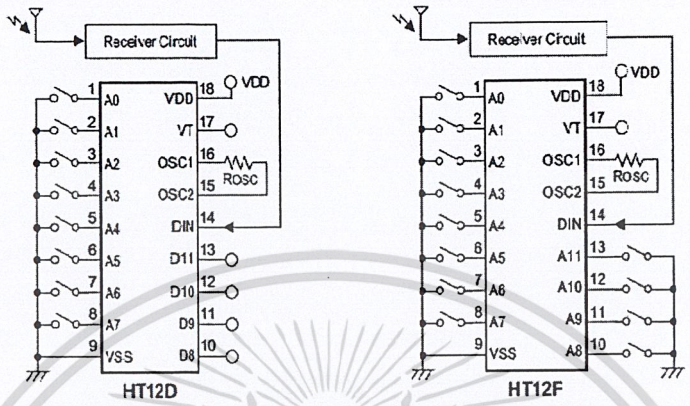


The recommended oscillator frequency is f_{OSCD} (decoder) $\cong 50\ f_{OSCE}$ (HT12E encoder)

$\cong \frac{1}{3} f_{OSCE}$ (HT12A encoder).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Circuits



Notes: Typical infrared receiver: PIC-12043T/PIC-12043S (KODESHI CORP.)
or LTM9052 (LITEON CORP.)

Typical RF receiver: JR-200 (JUWA CORP.)
RE-99 (MING MICROSYSTEM, U.S.A.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Holtek Semiconductor Inc. (Headquarters)
No.3 Creation Rd. II, Science-based Industrial Park, Hsinchu, Taiwan, R.O.C.
Tel: 886-3-563-1999
Fax: 886-3-563-1189

Holtek Semiconductor Inc. (Taipei Office)
5F, No.576, Sec.7 Chung Hsiao E. Rd., Taipei, Taiwan, R.O.C.
Tel: 886-2-2782-9635
Fax: 886-2-2782-9636
Fax: 886-2-2782-7128 (International sales hotline)

Holtek Microelectronics Enterprises Ltd.
RM.711, Tower 2, Cheung Sha Wan Plaza, 833 Cheung Sha Wan Rd., Kowloon, Hong Kong
Tel: 852-2-745-3288
Fax: 852-2-742-8657

Copyright © 1999 by HOLTEK SEMICONDUCTOR INC.

The information appearing in this Data Sheet is believed to be accurate at the time of publication. However, Holtek assumes no responsibility arising from the use of the specifications described. The applications mentioned herein are used solely for the purpose of illustration and Holtek makes no warranty or representation that such applications will be suitable without further modification, nor recommends the use of its products for application that may present a risk to human life due to malfunction or otherwise. Holtek reserves the right to alter its products without prior notification. For the most up-to-date information, please visit our web site at http://www.holtek.com.tw.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOLTEK

HT12A/HT12E
2^{12} Series of Encoders

Features

- Operating voltage
  - 2.4V~5V for the HT12A
  - 2.4V~12V for the HT12E
- Low power and high noise immunity CMOS technology
- Low standby current: 0.1μA (typ.) at V_{DD}=5V
- HT12A with a 38kHz carrier for infrared transmission medium
- Minimum transmission word
  - Four words for the HT12E
  - One word for the HT12A
- Built-in oscillator needs only 5% resistor
- Data code has positive polarity
- Minimal external components
- HT12A/E: 18-pin DIP/20-pin SOP package

Applications

- Burglar alarm system
- Smoke and fire alarm system
- Garage door controllers
- Car door controllers
- Car alarm system
- Security system
- Cordless telephones
- Other remote control systems

General Description

The 2^{12} encoders are a series of CMOS LSIs for remote control system applications. They are capable of encoding information which consists of N address bits and 12-N data bits. Each address/data input can be set to one of the two logic states. The programmed addresses/data are transmitted together with the header bits via an RF or an infrared transmission medium upon receipt of a trigger signal. The capability to select a $\overline{TE}$ trigger on the HT12E or a DATA trigger on the HT12A further enhances the application flexibility of the 2^{12} series of encoders. The HT12A additionally provides a 38kHz carrier for infrared systems.

Selection Table

Function / Part No.	Address No.	Address/ Data No.	Data No.	Oscillator	Trigger	Package	Carrier Output	Negative Polarity
HT12A	8	0	4	455kHz resonator	D8~D11	18 DIP 20 SOP	38kHz	No
HT12E	8	4	0	RC oscillator	$\overline{TE}$	18 DIP 20 SOP	No	No

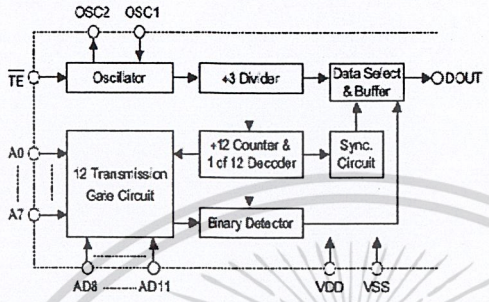
Note: Address/Data represents pins that can be address or data according to the decoder requirement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram

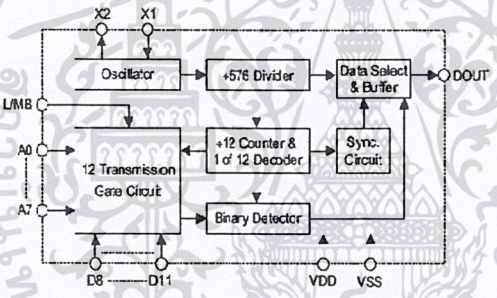
$\overline{TE}$ trigger

HT12E



DATA trigger

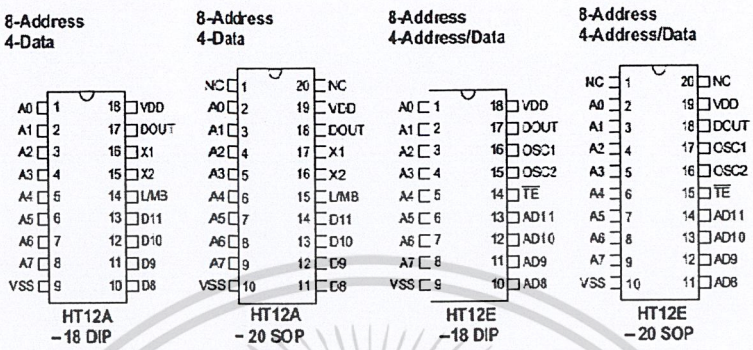
HT12A



Note: The address data pins are available in various combinations (refer to the address/data table).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Assignment



Pin Description

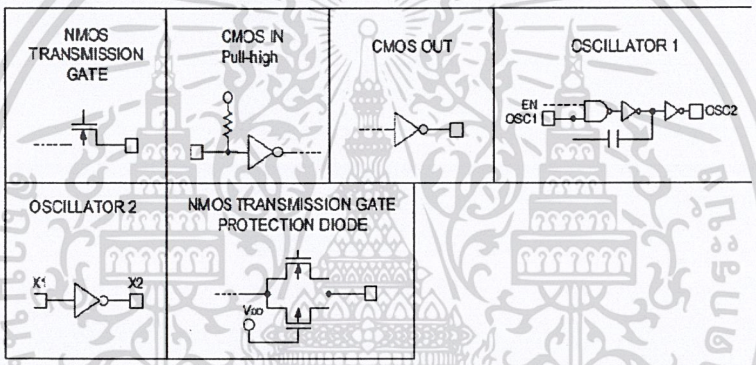
Pin Name	I/O	Internal Connection	Description
A0~A7	I	CMOS IN Pull-high (HT12A)	Input pins for address A0~A7 setting These pins can be externally set to VSS or left open
		NMOS TRANSMISSION GATE PROTECTION DIODE (HT12E)	
AD8~AD11	I	NMOS TRANSMISSION GATE PROTECTION DIODE (HT12E)	Input pins for address/data AD8~AD11 setting These pins can be externally set to VSS or left open
D8~D11	I	CMOS IN Pull-high	Input pins for data D8~D11 setting and transmission enable, active low These pins should be externally set to VSS or left open (see Note)
DOUT	O	CMOS OUT	Encoder data serial transmission output
L/MB	I	CMOS IN Pull-high	Latch/Momentary transmission format selection pin: Latch: Floating or VDD Momentary: VSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Name	I/O	Internal Connection	Description
$\overline{TE}$	I	CMOS IN Pull-high	Transmission enable, active low (see Note)
OSC1	I	OSCILLATOR 1	Oscillator input pin
OSC2	O	OSCILLATOR 1	Oscillator output pin
X1	I	OSCILLATOR 2	455kHz resonator oscillator input
X2	O	OSCILLATOR 2	455kHz resonator oscillator output
VSS	I	—	Negative power supply, grounds
VDD	I	—	Positive power supply

Note: D8~D11 are all data input and transmission enable pins of the HT12A.
$\overline{TE}$ is a transmission enable pin of the HT12E.

Approximate internal connections



Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage (HT12A) ..... −0.3V to 5.5V
Supply Voltage (HT12E) ..... −0.3V to 13V
Input Voltage ..... V_{SS}−0.3 to V_{DD}+0.3V
Storage Temperature ..... −50°C to 125°C
Operating Temperature ..... −20°C to 75°C

Note: These are stress ratings only. Stresses exceeding the range specified under "Absolute Maximum Ratings" may cause substantial damage to the device. Functional operation of this device at other conditions beyond those listed in the specification is not implied and prolonged exposure to extreme conditions may affect device reliability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

HT12A Ta=25°C

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V_{DD}	Conditions				
V_{DD}	Operating Voltage	—	—	2.4	3	5	V
I_{STB}	Standby Current	3V	Oscillator stops	—	0.1	1	μA
		5V		—	0.1	1	μA
I_{DD}	Operating Current	3V	No load f_{OSC}=455kHz	—	200	400	μA
		5V		—	400	800	μA
I_{DOUT}	Output Drive Current	5V	V_{OH}=0.9V_{DD} (Source)	-1	-1.6	—	mA
			V_{OL}=0.1V_{DD} (Sink)	2	3.2	—	mA
V_{IH}	"H" Input Voltage	—	—	0.8V_{DD}	—	V_{DD}	V
V_{IL}	"L" Input Voltage	—	—	0	—	0.2V_{DD}	V
R_{DATA}	D8~D11 Pull-high Resistance	5V	V_{DATA}=0V	—	150	300	kΩ

HT12E Ta=25°C

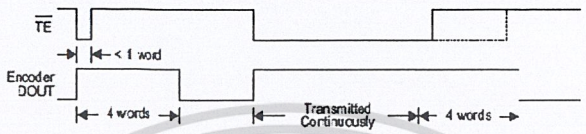
Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V_{DD}	Conditions				
V_{DD}	Operating Voltage	—	—	2.4	5	12	V
I_{STB}	Standby Current	3V	Oscillator stops	—	0.1	1	μA
		12V		—	2	4	μA
I_{DD}	Operating Current	3V	No load f_{OSC}=3kHz	—	40	80	μA
		12V		—	150	300	μA
I_{DOUT}	Output Drive Current	5V	V_{OH}=0.9V_{DD} (Source)	-1	-1.6	—	mA
			V_{OL}=0.1V_{DD} (Sink)	1	1.6	—	mA
V_{IH}	"H" Input Voltage	—	—	0.8V_{DD}	—	V_{DD}	V
V_{IL}	"L" Input Voltage	—	—	0	—	0.2V_{DD}	V
f_{OSC}	Oscillator Frequency	5V	R_{OSC}=1.1MΩ	—	3	—	kHz
$R_{\overline{TE}}$	$\overline{TE}$ Pull-high Resistance	5V	$V_{\overline{TE}}$=0V	—	1.5	3	MΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

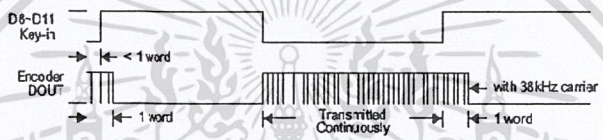
Functional Description

Operation

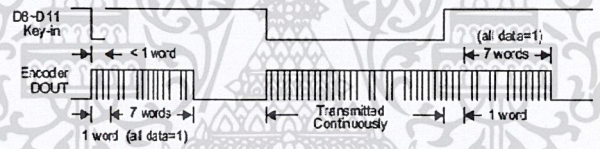
The 2^{12} series of encoders begin a 4-word transmission cycle upon receipt of a transmission enable ($\overline{TE}$ for the HT12E or D8~D11 for the HT12A, active low). This cycle will repeat itself as long as the transmission enable ($\overline{TE}$ or D8~D11) is held low. Once the transmission enable returns high the encoder output completes its final cycle and then stops as shown below.



Transmission timing for the HT12E



Transmission timing for the HT12A (L/MB=Floating or VDD)



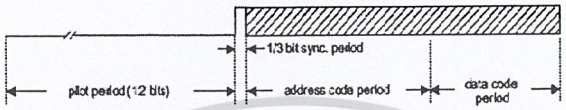
Transmission timing for the HT12A (L/MB=VSS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Information word

If L/MB=1 the device is in the latch mode (for use with the latch type of data decoders). When the transmission enable is removed during a transmission, the DOUT pin outputs a complete word and then stops. On the other hand, if L/MB=0 the device is in the momentary mode (for use with the momentary type of data decoders). When the transmission enable is removed during a transmission, the DOUT outputs a complete word and then adds 7 words all with the "1" data code.

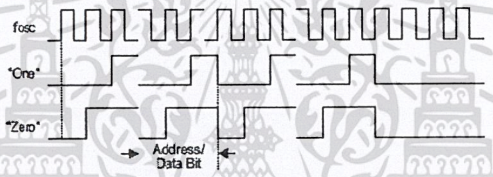
An information word consists of 4 periods as illustrated below.



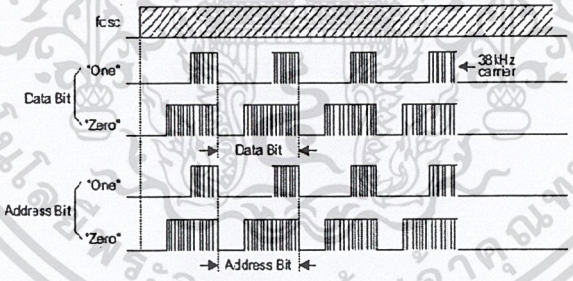
Composition of information

Address/data waveform

Each programmable address/data pin can be externally set to one of the following two logic states as shown below.



Address/Data bit waveform for the HT12E



Address/Data bit waveform for the HT12A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The address/data bits of the HT12A are transmitted with a 38kHz carrier for infrared remote controller flexibility.

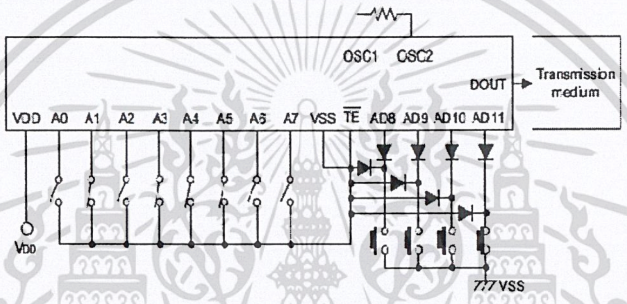
Address/data programming (preset)

The status of each address/data pin can be individually pre-set to logic "high" or "low". If a transmission-enable signal is applied, the encoder scans and transmits the status of the 12 bits of address/data serially in the order A0 to AD11 for the HT12E encoder and A0 to D11 for the HT12A encoder.

During information transmission these bits are transmitted with a preceding synchronization bit. If the trigger signal is not applied, the chip enters the standby mode and consumes a reduced current of less than 1μA for a supply voltage of 5V.

Usual applications preset the address pins with individual security codes using DIP switches or PCB wiring, while the data is selected by push buttons or electronic switches.

The following figure shows an application using the HT12E:



The transmitted information is as shown:

Pilot & Sync.	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	AD8	AD9	AD10	AD11
	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Address/Data sequence

The following provides the address/data sequence table for various models of the 2^{12} series of encoders. The correct device should be selected according to the individual address and data requirements.

Part No.	Address/Data Bits											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HT12A	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	D8	D9	D10	D11
HT12E	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	AD8	AD9	AD10	AD11

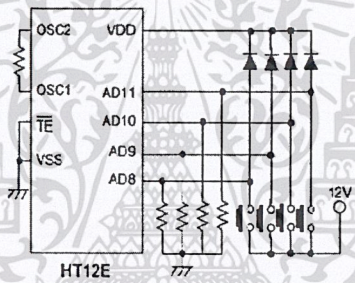
Transmission enable

For the HT12E encoders, transmission is enabled by applying a low signal to the $\overline{TE}$ pin. For the HT12A encoders, transmission is enabled by applying a low signal to one of the data pins D8~D11.

Two erroneous HT12E application circuits

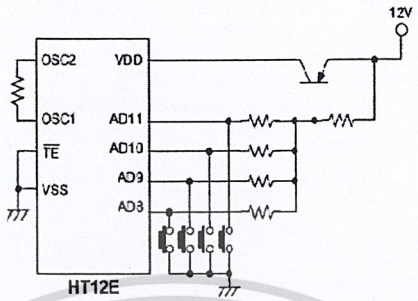
The HT12E must follow closely the application circuits provided by Holtek (see the "Application circuits").

- Error: AD8~AD11 pins input voltage > V_{DD}+0.3V



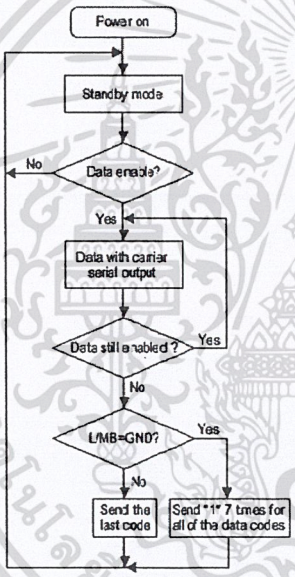
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• Error: The IC's power source is activated by pins AD8~AD11

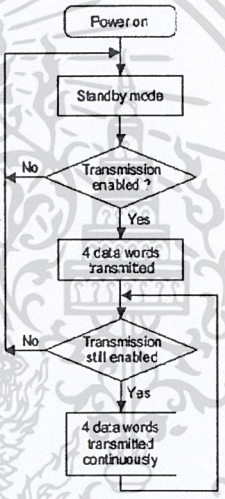


Flowchart

• HT12A



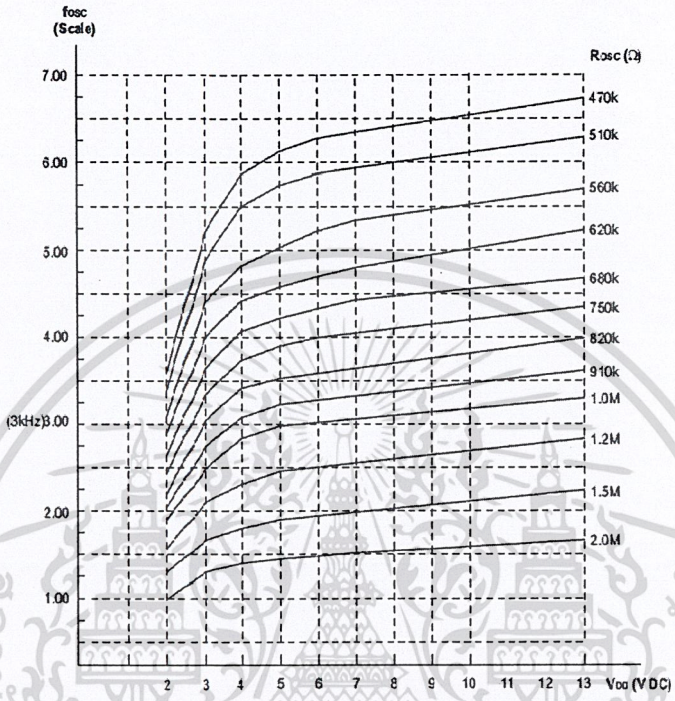
• HT12E



Note: D8~D11 are transmission enables of the HT12A.
$\overline{TE}$ is the transmission enable of the HT12E.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oscillator frequency vs supply voltage

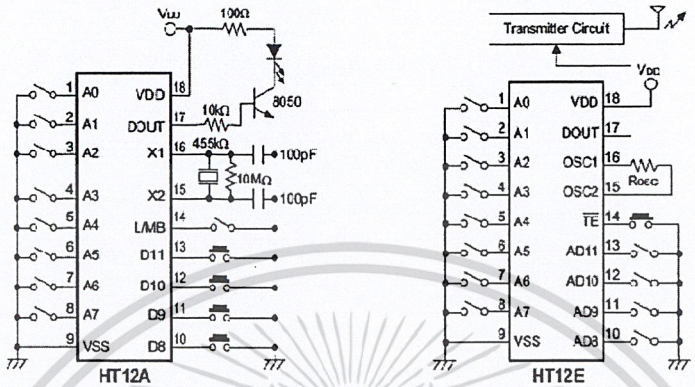


The recommended oscillator frequency is f_{OSCD} (decoder) $\cong 50\ f_{OSCE}$ (HT12E encoder)

$\cong \frac{1}{3} f_{OSCE}$ (HT12A encoder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Circuits



Note: Typical infrared diode: EL-1L2 (KODENSHI CORP.)
Typical RF transmitter: JR-220 (JUWA CORP.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Holtek Semiconductor Inc. (Headquarters)
No.3 Creation Rd. II, Science-based Industrial Park, Hsinchu, Taiwan, R.O.C.
Tel: 886-3-563-1999
Fax: 886-3-563-1189

Holtek Semiconductor Inc. (Taipei Office)
5F, No.576, Sec.7 Chung Hsiao E. Rd., Taipei, Taiwan, R.O.C.
Tel: 886-2-2782-9635
Fax: 886-2-2782-9636
Fax: 886-2-2782-7128 (International sales hotline)

Holtek Semiconductor (Hong Kong) Ltd.
RM.711, Tower 2, Cheung Sha Wan Plaza, 833 Cheung Sha Wan Rd., Kowloon, Hong Kong
Tel: 852-2-745-8288
Fax: 852-2-742-8657

Copyright © 2000 by HOLTEK SEMICONDUCTOR INC.

The information appearing in this Data Sheet is believed to be accurate at the time of publication. However, Holtek assumes no responsibility arising from the use of the specifications described. The applications mentioned herein are used solely for the purpose of illustration and Holtek makes no warranty or representation that such applications will be suitable without further modification, nor recommends the use of its products for application that may present a risk to human life due to malfunction or otherwise. Holtek reserves the right to alter its products without prior notification. For the most up-to-date information, please visit our web site at http://www.holtek.com.tw.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GRC
元智大學老人福祉科技研究中心
GERONTECHNOLOGY RESEARCH CENTER

Copyright © 2003 YZU GRC. All rights reserved.

Author: Che-Chang Yang(2006-01-02); recommendation: Yeh-Liang Hsu (2006-01-03).

Introduction to Kionix KXM52-1050 Tri-Axial Accelerometer

The Kionix KXM52-1050 tri-axial accelerometer, as shown in Figure 1, is a high performance silicon micro-machined linear accelerometer consisting of a sensing element and a CMOS signal conditioning ASIC(Application Specific Integrated Circuit) packaged in a standard 5x5x1.8mm DFN(DualFlat Non-lead). The device functions on the principle of differential capacitance. Acceleration causes displacement of a silicon structure resulting in a change in capacitance. A signal-conditioning CMOS technology ASIC detects and transforms changes in capacitance into an analogue voltage which is proportional to acceleration. The general specification of Kionix KXM52-1050 is listed in the Appendix.

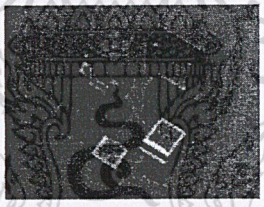


Figure 1. Kionix KXM52 series accelerometers

Figure 2 shows the functional diagram of KXM52. Three sensors measure the accelerations along X, Y, and Z axis. The charge amplifiers transfer the differential capacitance (charge) into analog signal and then amplify the signal to a higher voltage level. The oscillator generates differential charge and results in specific outputs when self-test mode is activated. The built-in 32kΩ resistors and the external, user-defined bypass capacitors comprise low-pass filters for output signals.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

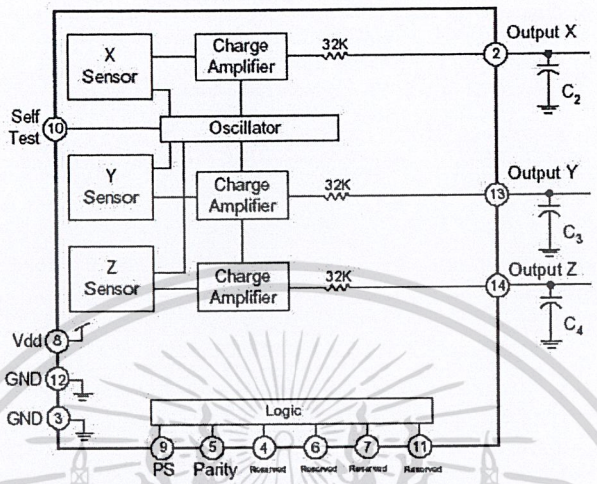


Figure 2. The functional diagram of Kionix KXM52

1. Typical schematic

Figure 3 shows the typical schematic that is used in the postural sensory module. The output will change with supply voltage(V_{dd}) variations ranging from 2.7(2.5)V to 5.5V. 3.3V is recommended for the reason that the output of KXM52-1050 is programmed and tested at 3.3V power supply. In this schematic, a 0.1μF capacitor (C_1) across V_{dd} to ground is recommended to decouple the noise of the power supply. For more decoupling, a ferrite beads or small resistors may be inserted into the supply line.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

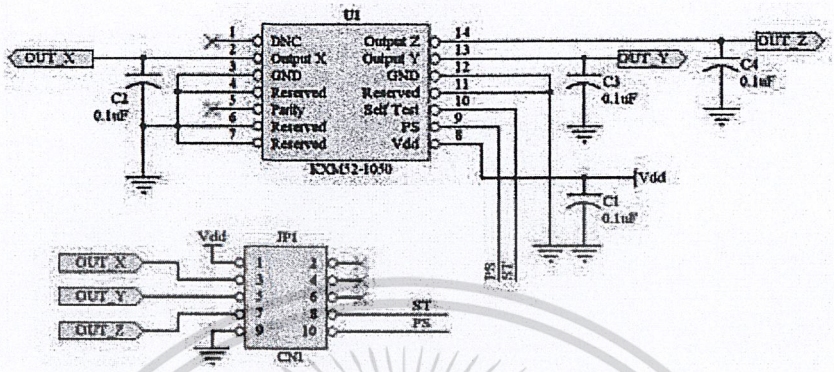


Figure 3. The typical schematic of KXM52

Capacitors C_2 to C_4 across the output pins to ground are used to adjust the output bandwidth of each axis. These capacitors with the 32kΩ internal resistor comprise RC low-pass filtering circuits. The desired bandwidth f_{BW} is determined by the Equation (1):

$$C_2, C_3, C_4 = C_{BW} = \frac{1}{2\pi \times (32k\Omega) \times f_{BW}} \quad (1)$$

The output bandwidth is an important parameter when using the accelerometer. For KXM52-1050, the output bandwidth of X and Y axis ranges from DC to 3kHz, and that of Z axis is from DC to 1.5kHz. The choice of desired bandwidth depends upon the application. For example, a higher output bandwidth is advisable for the applications which require fast and sensitive motion detection. As for human postural detection required in this research, only low bandwidth is needed. In Figure 3, 0.1μF capacitors are adopted, which limits the bandwidth at about 50Hz (Equation (2)).

$$f_{BW} = \frac{1}{2\pi \times (32k\Omega) \times (0.1 \times 10^{-6})} = 49.7 \cong 50\text{Hz} \quad (2)$$

Pin 9 of KXM52-1050 is the power shutdown pin. When this pin is left floating or grounded, the KXM52 is shut down and draws very little power. When tied to V_{dd}, the unit is fully functional. Pin 10 is the self-test pin, and $0.25V_{dd}$, $0.5V_{dd}$ and V_{dd} can be fed to it to check the output signals. If not in use, this pin must be tied to ground. Figure 4 shows the sensing module and its PCB layout whose size is 25x20mm. This small module can be connected to specific receivers like DDS or any compatible devices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

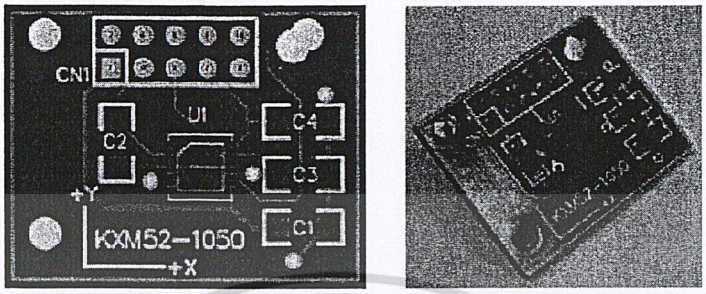


Figure 4. The sensory module and its PCB Layout

2. Output response

Figure 5 illustrates the coordinates of acceleration in KXM52-1050, and Figure 6 and 7 show the response of this unit with respect to different directions of accelerations and with respect to gravitational direction in different positions, respectively. If there is no acceleration applied along an axis, the output voltage V_{off} equals half V_{dd}[1]. If acceleration exists toward positive direction, the output voltage increases ($V_{out} > V_{off}$) and vice versa.

The sensing range of KXM52-1050 of each axis is ±2g and the output varies with acceleration linearly in the rate of 660mV/g. Equation (3) shows the relation:

$$V_{(X,Y,Z)} = V_{off(offset)} \pm 660\text{mV} \times g \qquad (3)$$

For example, when KXM52-1050 is put horizontally and still, there are no gravitational effects along X and Y axes, and $V_{outX}=V_{outY}=V_{dd}$. Only 1g vertical acceleration along the negative direction of Z-axis is detected whose effect can be regarded as the accelerometer moving in positive direction of Z-axis. In this condition, the output voltage at pin 14 is $V_{outY} > V_{off}+660\text{mV}$(at 3.3V V_{dd}).

[1] 0g (V_{oF}) offset changes linearly with temperature and therefore will not always equal half V_{dd}. The maximum 0g offset tolerance is ±167mV under extended temperature range of -40 to 125℃, and ±100mV under -40 to125℃.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

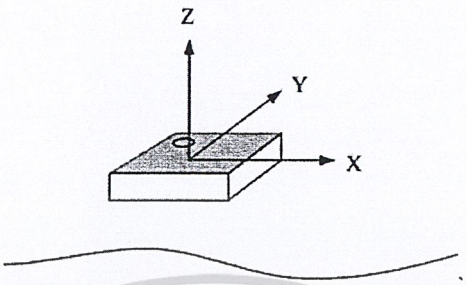


Figure 5. The coordinates of acceleration of KXM52-1050

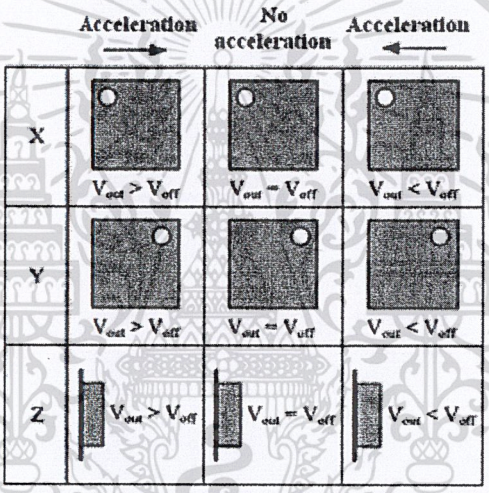
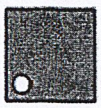
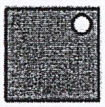
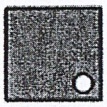


Figure 6. Output response due to directions of accelerations

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Positions	 $V_{outX} > V_{offX}$ $V_{outY} = V_{offY}$	$V_{outX} = V_{offX}$ $V_{outY} > V_{offY}$	 $V_{outX} < V_{offX}$ $V_{outY} = V_{offY}$	 $V_{outX} = V_{offX}$ $V_{outY} < V_{offY}$
X-axial	+1g	0g	-1g	0g
Y-axial	0g	+1g	0g	-1g
Z-axial	0g	0g	0g	0g
	$V_{outZ} > V_{offZ}$	$V_{outZ} = V_{offZ}$	$V_{outZ} < V_{offZ}$	$V_{outZ} = V_{offZ}$
Z-axial	+1g	0g	-1g	0g

Ground

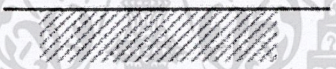


Figure 7. Output response due to gravitational directions in different positions

Tilt/inclination sensing is a common application for low-g accelerometers. Figure 8 indicates the tilt assignments (pitch and roll), which ϕ, ρ, and θ stand for the tilt angle with respect to X, Y and Z axes relative to ground. Equation (4) identifies the relation between the tilt angles and accelerations of each axis. A simple performance test was conducted using Equation (4). KXM52-1050 rotates about each axis from 0° to 90°, and the data is shown in Table 1 and Figure 9. One g accelerations yields an output of about 2.24V, and 0 g yields about 1.6V. When ϕ, ρ and θ is 0°, the outputs of X and Y axis have the maximum sensitivity while Z axis has the minimum sensitivity.

$$\phi = \arcsin(X_{accel})$$

$$\rho = \arcsin(Y_{accel})$$

$$\theta = \arccos(Z_{accel}) \qquad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

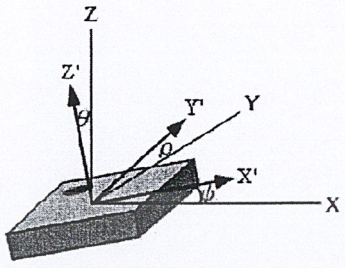


Figure 8. Pitch and roll assiguments relative to ground

Table1. Output voltages of KXM52-1050 w.r.t specific tilt angles

Angle(°)	X_{accel}(g)	X(V)	Y_{accel}(g)	Y(V)	Z_{accel}(g)	Z(V)
90	1.00	2.24	1.00	2.28	0	1.6
80	0.985	2.24	0.985	2.24	0.174	1.72
70	0.940	2.24	0.940	2.24	0.342	1.8
60	0.866	2.2	0.866	2.2	0.500	1.92
50	0.766	2.12	0.766	2.08	0.643	1.96
45	0.707	2.12	0.707	2.08	0.707	2.04
40	0.643	2.04	0.643	2.00	0.766	2.04
30	0.500	1.96	0.500	1.88	0.866	2.16
20	0.342	1.84	0.342	1.8	0.940	2.16
10	0.174	1.76	0.174	1.68	0.985	2.24
0	0	1.64	0	1.6	1.00	2.24
V_{off}		1.64		1.6		2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

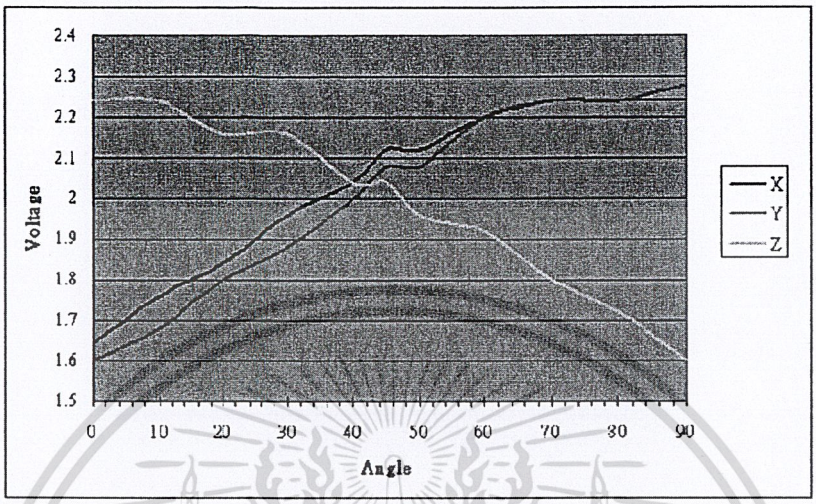


Figure 9. Tilt angle vs. output voltage of each axis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix. Kionix KXM52-1050 general specification

Performance Specifications			
Parameters	Units		Condition
Range	g	±2.0	
Sensitivity	mV/g	660	
0g offset vs. temp	mV	±100	Over temp range
	°C	-40 to 85	
Span	mV	±1320	@3.3V
Noise	$\mu g / \sqrt{Hz}$	35(x and y) 65(z) typical	@500Hz
Bandwidth	Hz	0 to 3000 max (x and y)	-3dB
		0 to 1500 max (z)	
Output resistance	Ω	32k typical	
Non-linearity	% of FS	±0.1 typical (±0.5 max)	
Ratiometric error	%	±1.0 typical (±1.5 max)	
Cross-axis sensitivity	%	±2.0 typical (±3.0 max)	
Power supply	V	3.3	
	V	-0.3 (min) 7.0 (max)	Absolute min/max
	mA	1.5 typical (1.8 max)	Current draw @ 3.3V
	µA	<1.0	Shutdown pin grounded
	ms	1.6	Power-up time @ 500Hz
Environmental Specifications			
Parameters	Units	KXM52	Condition
Operating Temp	°C	-40 to 125	Powered
Storage temp	°C	-55 to 150	Unpowered
Mechanical shock	g	4600	Powered or unpowered,
ESD	V	3000	Human body model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTEGRATED CIRCUITS

DATA SHEET

NE/SA/SE532
LM258/358/A/2904
Low power dual operational amplifiers

Product data
Supersedes data of 2002 Jan 22

2002 Jul 12

Philips
Semiconductors

PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low power dual operational amplifiers

NE/SA/SE532/ LM258/358/A/2904

DESCRIPTION

The 532/358/LM2904 consists of two independent, high gain, internally frequency-compensated operational amplifiers internally frequency-compensated operational amplifiers designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from dual power supplies is also possible, and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

UNIQUE FEATURES

In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage. The unity gain cross frequency is temperature-compensated. The input bias current is also temperature-compensated.

PIN CONFIGURATION

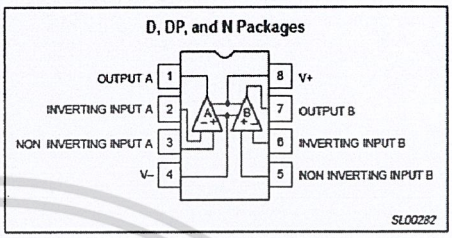


Figure 1. Pin configuration.

FEATURES

- Internally frequency-compensated for unity gain
- Large DC voltage gain: 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1 MHz (temperature-compensated)
- Wide power supply range single supply: 3 V_{DC} to 30 V_{DC}, or dual supplies: ±1.5 V_{DC} to ±15 V_{DC}
- Very low supply current drain (400 µA)—essentially independent of supply voltage (1 mW/op amp at +5 V_{DC})
- Low input biasing current: 45 nA_{DC} temperature-compensated
- Low input offset voltage: 2 mV_{DC}, and offset current: 5nA_{DC}
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage: 0 V_{DC} to V+ 1.5 V_{DC} swing

EQUIVALENT CIRCUIT

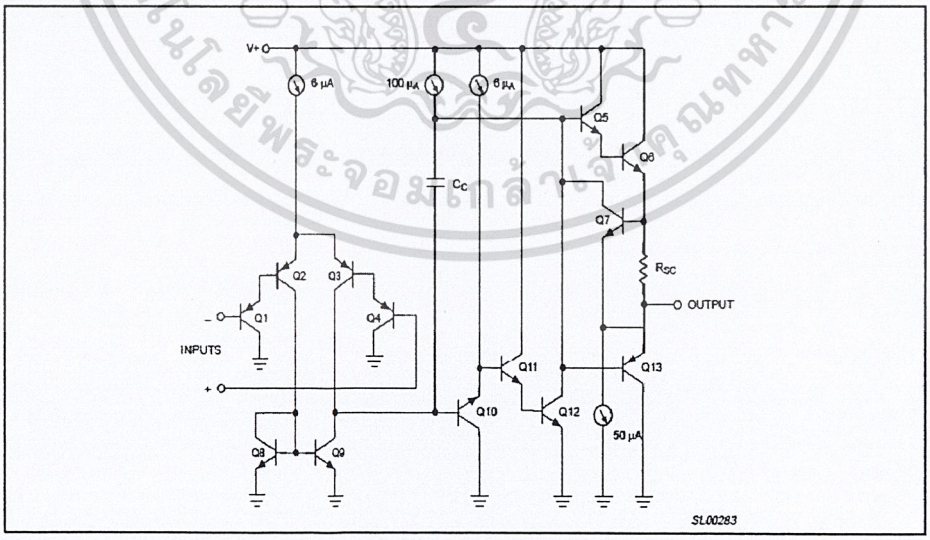


Figure 2. Equivalent circuit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
8-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0 °C to +70 °C	NE532D	SOT96-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 °C to +70 °C	NE532N	SOT97-1
8-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	–40 °C to +85 °C	SA532D	SOT96-1
8-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	–40 °C to +125 °C	LM2904D	SOT96-1
8-Pin Plastic Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP)	–40 °C to +125 °C	LM2904DP	SOT505-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	–40 °C to +125 °C	LM2904N	SOT97-1
8-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	–25 °C to +125 °C	LM258D	SOT96-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	–25 °C to +125 °C	LM258N	SOT97-1
8-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0 °C to +70 °C	LM358D	SOT96-1
8-Pin Plastic Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP)	0 °C to +70 °C	LM358DP	SOT505-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 °C to +70 °C	LM358N	SOT97-1
8-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0 °C to +70 °C	LM358AD	SOT96-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 °C to +70 °C	LM358AN	SOT97-1
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	–55 °C to +125 °C	SE532N	SOT97-1

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V_S	Supply voltage, V+	32 or ±16	V_{DC}
	Differential input voltage	32	V_{DC}
V_{IN}	Input voltage	–0.3 to +32	V_{DC}
P_D	Maximum power dissipation T_{amb} = 25 °C (Still air)[1] N package D package DP package	 1160 780 714	 mW mW mW
	Output short-circuit to GND[2] V+ < 15 V_{DC} and T_{amb} = 25 °C	Continuous	
T_{amb}	Operating ambient temperature range NE532/LM358/LM358A LM258 LM2904 SA532 SE532	 0 to +70 –25 to +85 –40 to +125 –40 to +85 –55 to +125	 °C °C °C °C °C
T_{stg}	Storage temperature range	–55 to +150	°C
T_{sld}	Lead soldering temperature (10 sec max)	230	°C

NOTE:

1. Derate above 25 °C, at the following rates:
   N package at 9.3 mW/°C
   D package at 6.2 mW/°C
   DP package at 5.72 mW/°C
2. Short-circuits from the output to V+ can cause excessive heating and eventual destruction. The maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V+. At values of supply voltage in excess of +15 V_{DC}, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

T_{amb} = 25 °C; V+ = +5 V, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE532, LM258			NE/SA532/ LM358/LM2904			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{OS}	Offset voltage[1]	R_S = 0 Ω		±2	±5		±2	±7	mV
		R_S = 0 Ω; over temp.			±7			±9	mV
V_{OS}	Drift	R_S = 0 Ω; over temp.		7			7		µV/°C
I_{OS}	Offset current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$		±3	±30		±5	±50	nA
		Over temp.			±100			±150	nA
I_{OS}	Drift	Over temp.		10			10		pA/°C
I_{BIAS}	Input current[2]	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		45	150		45	250	nA
		$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$; Over temp.		40	300		40	500	nA
I_B	Drift	Over temp.		50			50		pA/°C
V_{CM}	Common-mode voltage range[3]	V+ = 30 V	0		V+–1.5	0		V+–1.5	V
		V+ = 30 V; Over temp.	0		V+–2.0	0		V+–2.0	V
CMRR	Common-mode rejection ratio	V+ = 30 V	70	85		65	70		dB
V_{OH}	Output voltage swing	R_L ≥ 2 kΩ; V+ = 30 V; over temp.	26			26			V
		R_L ≥ 10 kΩ; V+ = 30 V; over temp.	27	28		27	28		V
V_{OL}	Output voltage swing	R_L ≥ 10 kΩ; over temp.		5	20		5	20	mV
I_{CC}	Supply current	R_L = ∞; V+ = 30 V		0.5	1.0		0.5	1.0	mA
		R_L=∞ on all amplifiers; V+ = 30 V; over temp.		0.6	1.2		0.6	1.2	mA
A_{VOL}	Large-signal voltage gain	R_L ≥ 2 kΩ; V_{OUT} ±10 V	50	100		25	100		V/mV
		V+=15V (for large V_O swing); over temp.	25			15			V/mV
PSRR	Supply voltage rejection ratio	R_S = 0 Ω	65	100		65	100		dB
	Amplifier-to-amplifier coupling[4]	f = 1 kHz to 20 kHz (input referred)		–120			–120		dB
I_{OUT}	Output current (Source)	V_{IN+} = +1 V_{DC}; V_{IN-} = 0 V_{DC}; V+ = 15 V_{DC}	20	40		20	40		mA
		V_{IN+} = +1 V_{DC}; V_{IN-} = 0 V_{DC}; V+ = 15 V_{DC}; over temp.	10	20		10	20		mA
	Output current (Sink)	V_{IN-} = +1 V_{DC}; V_{IN+} = 0 V_{DC}; V+ = 15 V_{DC}	10	20		10	20		mA
		V_{IN-} = +1 V_{DC}; V_{IN+} = 0 V_{DC}; V+ = 15 V_{DC}; over temp.	5	8		5	8		mA
		V_{IN+} = 0 V; V_{IN-} = +1 V_{DC}; V_O = 200 mV	12	50		12	50		µA
I_{SC}	Short circuit current[5]			40	60		40	60	mA
	Differential input voltage[6]				V+			V+	V
GBW	Unity gain bandwidth	T_{amb} = 25 °C		1			1		MHz
SR	Slew rate	T_{amb} = 25 °C		0.3			0.3		V/µs
V_{NOISE}	Input noise voltage	T_{amb} = 25 °C; f = 1 kHz		40			40		nV/√Hz

(Notes on next page).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

T_{amb} = 25 °C; V+ = +5 V; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM358A			UNIT
			Min	Typ	Max	
V_{OS}	Offset voltage[1]	R_S = 0 Ω		±2	±3	mV
		R_S = 0 Ω; over temp.			±5	mV
V_{OS}	Drift	R_S = 0 Ω; over temp.		7	20	μV/°C
I_{OS}	Offset current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$		5	±30	nA
		Over temp.			±75	nA
I_{OS}	Drift	Over temp.		10	300	pA/°C
I_{BIAS}	Input current[2]	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		45	100	nA
		$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$; Over temp.		40	200	nA
I_B	Drift	Over temp.		50		pA/°C
V_{CM}	Common-mode voltage range[3]	V+ = 30 V	0		V+–1.5	V
		V+ = 30 V; Over temp.	0		V+–2.0	V
CMRR	Common-mode rejection ratio	V+ = 30 V	65	85		dB
V_{OH}	Output voltage swing	R_L ≥ 2 kΩ; V+ = 30 V; over temp.	26			V
		R_L ≥ 10 kΩ; V+ = 30 V; over temp.	27	28		V
V_{OL}	Output voltage swing	R_L ≥ 10 kΩ; over temp.		5	20	mV
I_{CC}	Supply current	R_L = ∞, V+ = 30 V		0.5	1.0	mA
		R_L = ∞ on all amplifiers; V+ = 30 V; over temp.		0.6	1.2	mA
A_{VOL}	Large-signal voltage gain	R_L ≥ 2 kΩ; V_{OUT} ±10 V	25	100		V/mV
		V+ = 15 V (for large V_O swing); over temp.	15			V/mV
PSRR	Supply voltage rejection ratio	R_S = 0 Ω	65	100		dB
	Amplifier-to-amplifier coupling[4]	f=1kHz to 20kHz (input referred)		–120		dB
I_{OUT}	Output current (Source)	V_{IN+} = +1 V_{DC}; V_{IN-} = 0 V_{DC}; V+ = 15 V_{DC}	20	40		mA
		V_{IN+} = +1 V_{DC}; V_{IN-} = 0 V_{DC}; V+ = 15 V_{DC}; over temp.	10	20		mA
	Output current (Sink)	V_{IN-} = +1 V_{DC}; V_{IN+} = 0 V_{DC}; V+ = 15 V_{DC}	10	20		mA
		V_{IN-} = +1 V_{DC}; V_{IN+} = 0 V_{DC}; V+ = 15 V_{DC}; over temp.	5	8		mA
		V_{IN+} = 0 V; V_{IN-} = +1 V_{DC}; V_O = 200 mV	12	50		μA
I_{SC}	Short circuit current[5]			40	60	mA
	Differential input voltage[6]				V+	V
GBW	Unity gain bandwidth	T_{amb} = 25 °C		1		MHz
SR	Slew rate	T_{amb} = 25 °C		0.3		V/μs
V_{NOISE}	Input noise voltage	T_{amb} = 25 °C; f = 1 kHz		40		nV/√Hz

NOTES:

1. V_O = 1.4 V, R_S = 0 Ω with V+ from 5 V to 30 V; and over the full input common-mode range (0 V to V+ –1.5 V).
2. The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. 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 or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common-mode voltage range is V+ –1.5 V, but either or both inputs can go to +32 V without damage.
4. Due to 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 coupling increases at higher frequencies.
5. Short-circuits from the output to V+ can cause excessive heating and eventual destruction. The maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V+. At values of supply voltage in excess of +15 V_{DC}, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction.
6. The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common-mode voltage range is V+ –1.5 V, but either or both inputs can go to +32 V_{DC} without damage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

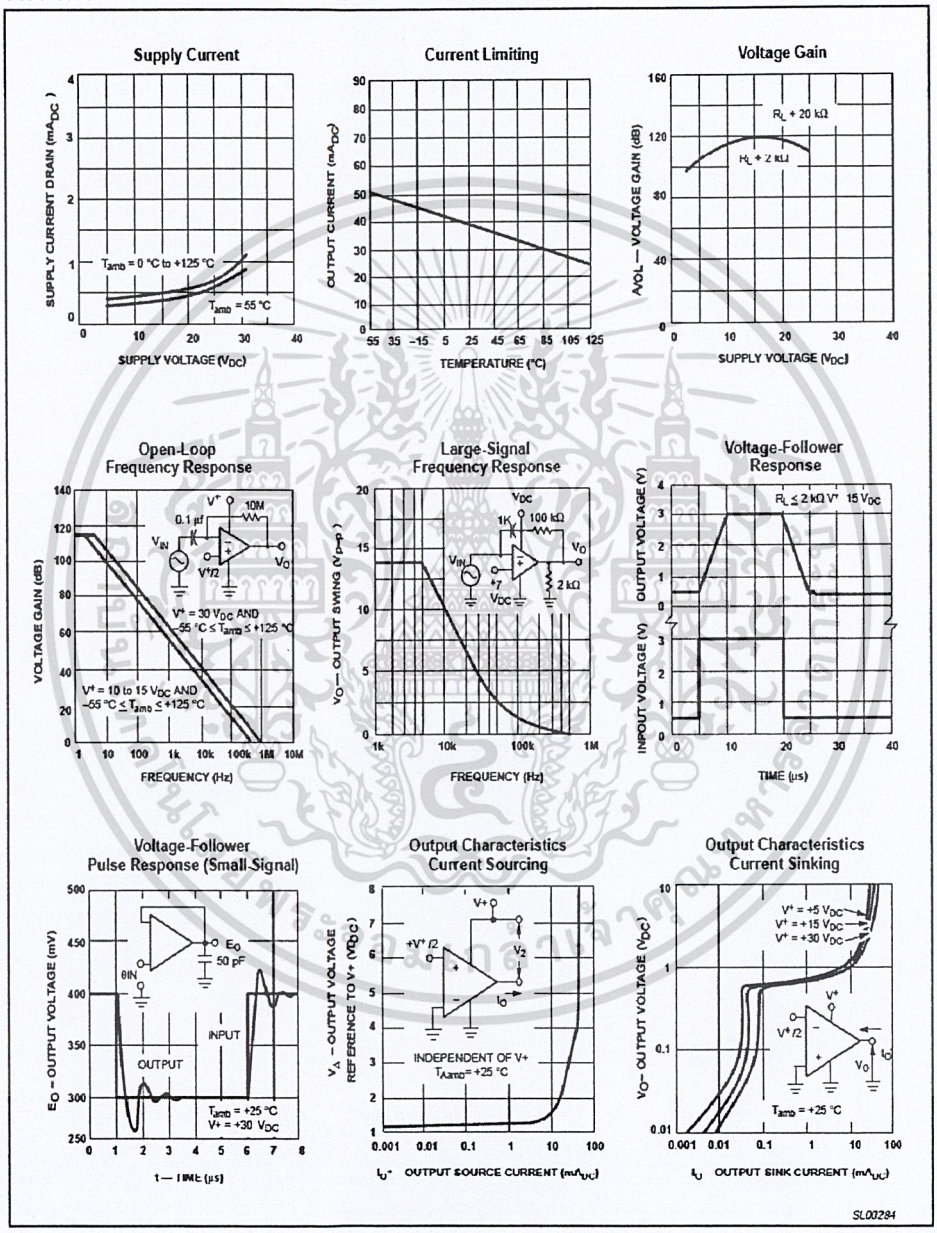


Figure 3. Typical performance characteristics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Continued)

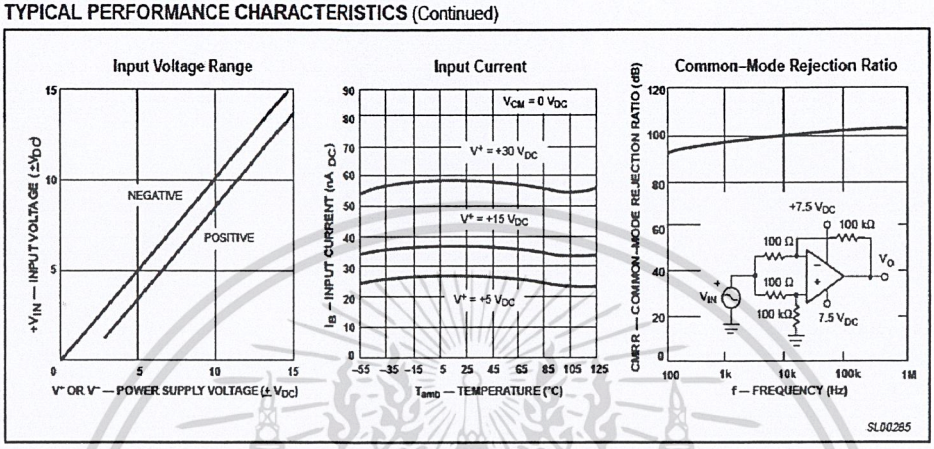


Figure 4. Typical performance characteristics (continued).

TYPICAL APPLICATIONS

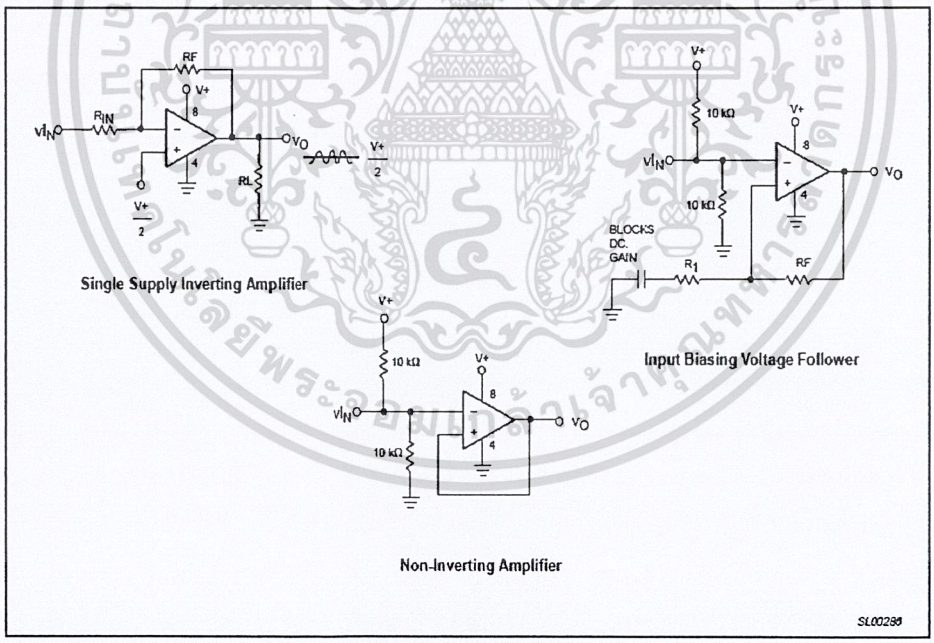
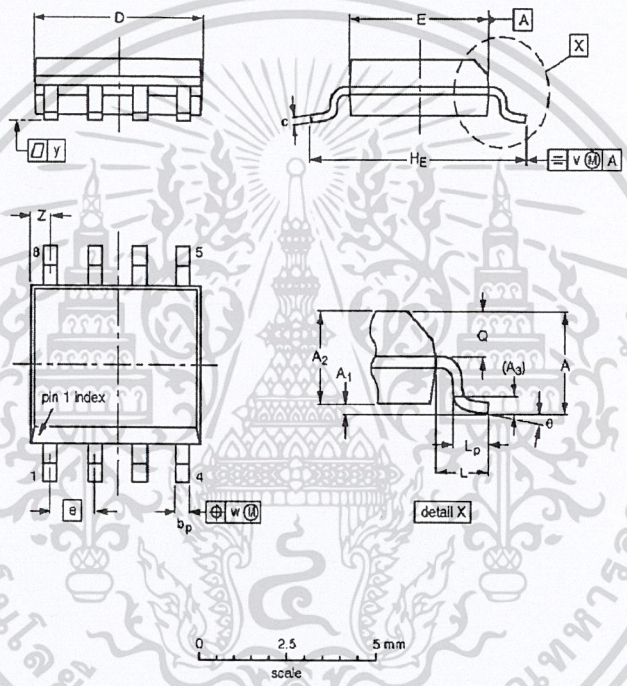


Figure 5. Typical applications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SO8: plastic small outline package; 8 leads; body width 3.9 mm **SOT96-1**



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A_1	A_2	A_3	b_p	c	D(1)	E(2)	e	H_E	L	L_p	Q	v	w	y	Z(1)	θ
mm	1.75	0.25 0.10	1.45 1.25	0.25	0.49 0.36	0.25 0.19	5.0 4.8	4.0 3.8	1.27	6.2 5.8	1.05	1.0 0.4	0.7 0.6	0.25	0.25	0.1	0.7 0.3	8° 0°
inches	0.069	0.010 0.004	0.057 0.049	0.01	0.019 0.014	0.0100 0.0075	0.20 0.19	0.16 0.15	0.050	0.244 0.228	0.041	0.039 0.016	0.028 0.024	0.01	0.01	0.004	0.028 0.012	

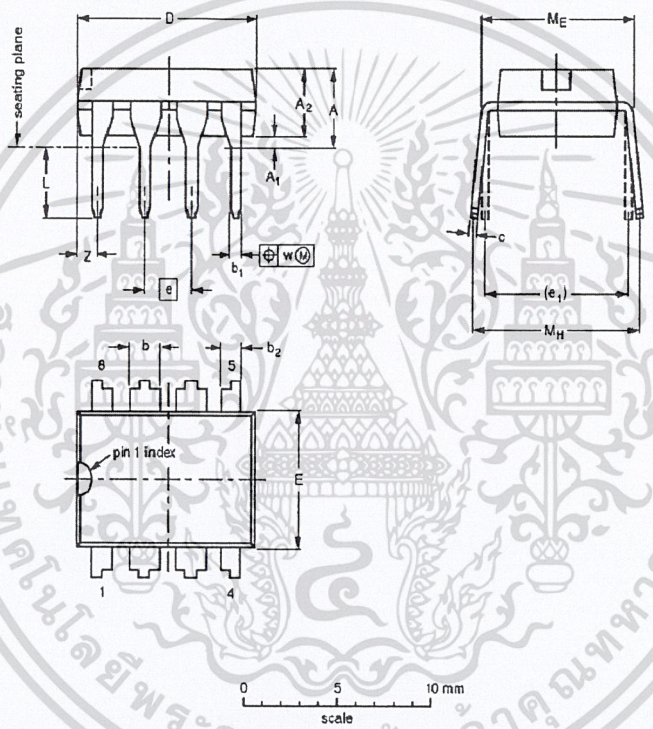
Notes

1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm maximum per side are not included.
2. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT96-1	076E03	MS-012				~~97-05-22~~ 99-12-27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIP8: plastic dual in-line package; 8 leads (300 mil) **SOT97-1**



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A_1 min.	A_2 max.	b	b_1	b_2	c	$D^{(1)}$	$E^{(1)}$	e	e_1	L	M_E	M_H	w	$Z^{(1)}$ max.
mm	4.2	0.51	3.2	1.73 1.14	0.53 0.38	1.07 0.89	0.36 0.23	9.8 9.2	6.48 6.20	2.54	7.62	3.60 3.05	8.25 7.80	10.0 8.3	0.254	1.15
inches	0.17	0.020	0.13	0.068 0.045	0.021 0.015	0.042 0.035	0.014 0.009	0.39 0.36	0.26 0.24	0.10	0.30	0.14 0.12	0.32 0.31	0.39 0.33	0.01	0.045

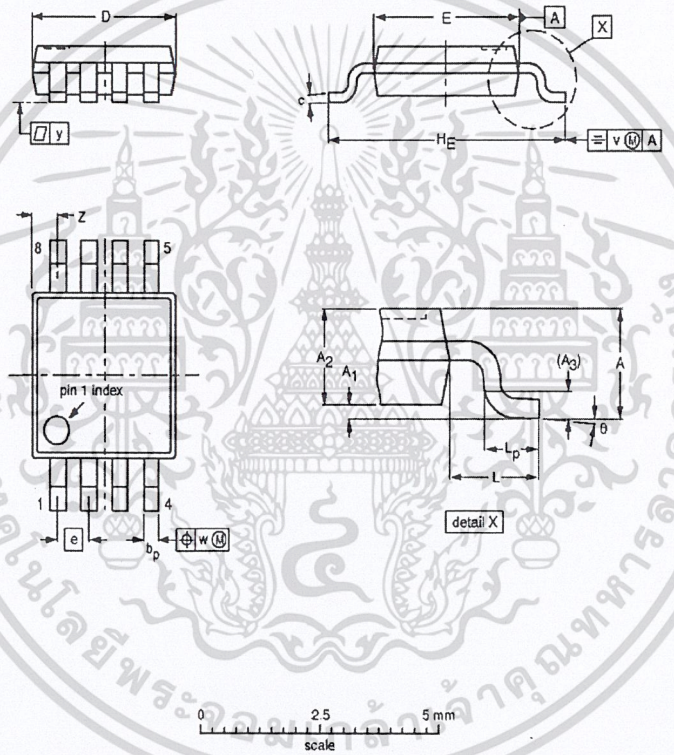
Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT97-1	050G01	MO-001	SC-504-8			~~95-02-04~~ 99-12-27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TSSOP8: plastic thin shrink small outline package; 8 leads; body width 3 mm **SOT505-1**



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A max.	A_1	A_2	A_3	b_p	c	$D^{(1)}$	$E^{(2)}$	e	H_E	L	L_p	v	w	y	$Z^{(1)}$	θ
mm	1.10	0.15 0.05	0.95 0.80	0.25	0.45 0.25	0.28 0.15	3.10 2.90	3.10 2.90	0.65	5.10 4.70	0.94	0.70 0.40	0.1	0.1	0.1	0.70 0.35	6° 0°

Notes

1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm maximum per side are not included.
2. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT505-1						99-04-09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOTES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data sheet status

Data sheet status[1]	Product status[2]	Definitions
Objective data	Development	This data sheet contains data from the objective specification for product development. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification in any manner without notice.
Preliminary data	Qualification	This data sheet contains data from the preliminary specification. Supplementary data will be published at a later date. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification without notice, in order to improve the design and supply the best possible product.
Product data	Production	This data sheet contains data from the product specification. Philips Semiconductors reserves the right to make changes at any time in order to improve the design, manufacturing and supply. Changes will be communicated according to the Customer Product/Process Change Notification (CPCN) procedure SNW-SQ-650A.

[1] Please consult the most recently issued data sheet before initiating or completing a design.

[2] The product status of the device(s) described in this data sheet may have changed since this data sheet was published. The latest information is available on the Internet at URL http://www.semiconductors.philips.com.

Definitions

Short-form specification — The data in a short-form specification is extracted from a full data sheet with the same type number and title. For detailed information see the relevant data sheet or data handbook.

Limiting values definition — Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

Application information — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Philips Semiconductors make no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

Disclaimers

Life support — These products are not designed for use in life support appliances, devices or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips Semiconductors customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips Semiconductors for any damages resulting from such application.

Right to make changes — Philips Semiconductors reserves the right to make changes, without notice, in the products, including circuits, standard cells, and/or software, described or contained herein in order to improve design and/or performance. Philips Semiconductors assumes no responsibility or liability for the use of any of these products, conveys no license or title under any patent, copyright, or mask work right to these products, and makes no representations or warranties that these products are free from patent, copyright, or mask work right infringement, unless otherwise specified.

Contact information

For additional information please visit
http://www.semiconductors.philips.com. Fax: +31 40 27 24825

For sales offices addresses send e-mail to:
sales.addresses@www.semiconductors.philips.com.

© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2002
All rights reserved. Printed in U.S.A.

Date of release: 08-02

Document order number: 9397 750 10187

Let's make things better.

Philips Semiconductors

PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KEC SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

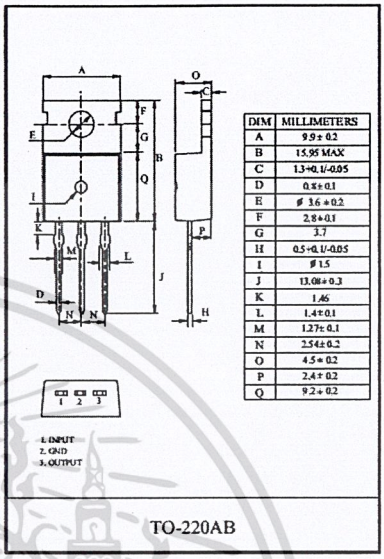
KIA7805AP~KIA7824AP

BIPOLAR LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

THREE TERMINAL POSITIVE VOLTAGE REGULATORS
5V, 6V, 7V, 8V, 9V, 10V, 12V, 15V, 18V, 20V, 24V.

FEATURES

- Internal Thermal Overload Protection.
- Internal Short Circuit Current Limiting.
- Output Current up to 1.5A.
- Satisfies IEC-65 Specification. (International Electronical Commission).
- Package is TO-220AB



DIM	MILLIMETERS
A	9.9± 0.2
B	15.95 MAX
C	1.3+0.1/-0.05
D	0.5± 0.1
E	φ 3.6 ± 0.2
F	2.8+0.1
G	3.7
H	0.5+0.1/-0.05
I	φ 1.5
J	13.08± 0.3
K	1.46
L	1.4± 0.1
M	1.27± 0.1
N	2.54± 0.2
O	4.5 ± 0.2
P	2.4± 0.2
Q	9.2 ± 0.2

TO-220AB

LINE-UP

ITEM	OUTPUT VOLTAGE (Typ.)	UNIT
KIA7805AP	5	V
KIA7806AP	6	
KIA7807AP	7	
KIA7808AP	8	
KIA7809AP	9	
KIA7810AP	10	
KIA7812AP	12	
KIA7815AP	15	
KIA7818AP	18	
KIA7820AP	20	
KIA7824AP	24	

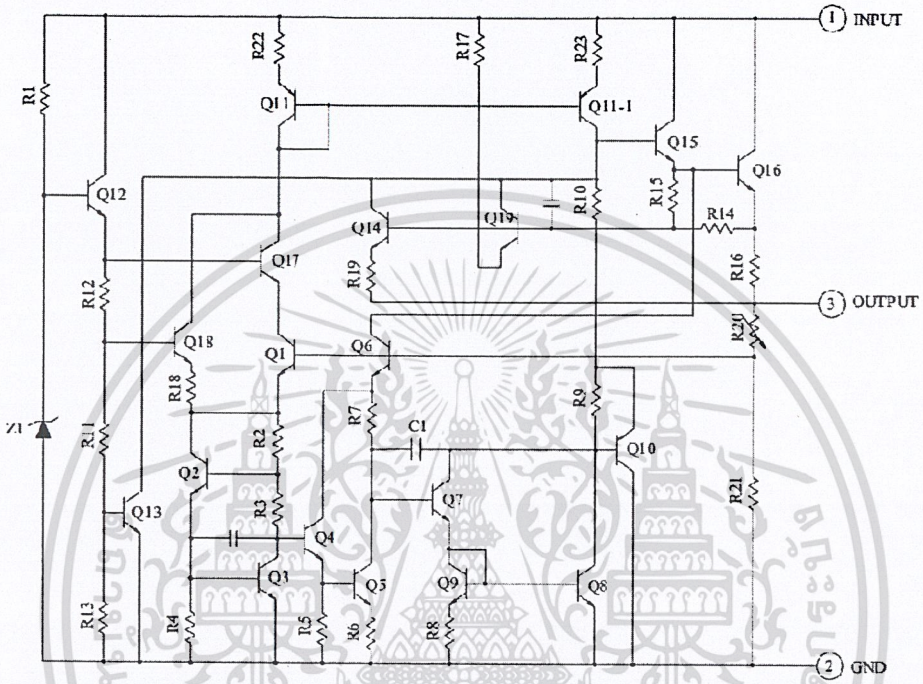
MAXIMUM RATINGS (Ta=25℃)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT
Input Voltage	KIA7805 ~ KIA7815	V_{IN}	35	V
	KIA7818 ~ KIA7824		40	
Power Dissipation-1 (No Heatsink)	AP	P_{D2}	1.9	W
Power Dissipation-2 (Infinite Heatsink)	AP	P_{D2}	30	
Operating Junction Temperature		T_j	-40 ~ 150	℃
Storage Temperature		T_{stg}	-55 ~ 150	℃
Maximum Junction Tamperature		$T_{j(max)}$	150	℃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIA7805AP~KIA7824AP

EQUIVALENT CIRCUIT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIA7805AP~KIA7824AP

KIA7805AP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{IN}=10V, I_{OUT}=500mA, 0℃ ≤T_j ≤125℃)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=100mA		4.8	5.0	5.2	V
Input Regulation	Reg line	Fig. 1	T_j=25℃	7.0V ≤V_{IN} ≤25V	-	3	100	mV
				8.0V ≤V_{IN} ≤12V	-	1	50	
Load Regulation	Reg load	Fig. 1	T_j=25℃	5mA ≤I_{OUT} ≤1.5A	-	15	100	mV
				250mA ≤I_{OUT} ≤750mA	-	5	50	
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	7.0V ≤V_{IN} ≤20V		4.75	-	5.25	V
Quiescent Current	I_B	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=5mA		-	4.2	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B	Fig. 1	7.0V ≤V_{IN} ≤25V		-	-	1.3	mA
Output Noise Voltage	V_{NO}	Fig. 2	Ta=25℃, 10Hz ≤f ≤100kHz		-	50	-	μV_{rms}
Ripple Rejection Ratio	RR	Fig. 3	f=120Hz, 8.0V ≤V_{IN} ≤18V,		62	78	-	dB
Dropout Voltage	V_D	Fig. 1	I_{OUT}=1.0A, T_j=25℃		-	2.0	-	V
Short Circuit Current Limit	I_{SC}	Fig. 1	T_j=25℃		-	1.6	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TC_{VO}	Fig. 1	I_{OUT}=5mA, 0℃ ≤T_j ≤125℃		-	-0.6	-	mV/℃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIA7805AP~KIA7824AP

KIA7806AP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{IN}=11V, I_{OUT}=500mA, 0℃≤T_j≤125℃)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=100mA		5.75	6.0	6.25	V
Input Regulation	Regline	Fig. 1	T_j=25℃	8.0V≤V_{IN}≤25V	-	4	120	mV
				9V≤V_{IN}≤13V	-	2	60	
Load Regulation	Regload	Fig. 1	T_j=25℃	5mA≤I_{OUT}≤1.5A	-	15	120	mV
				250mA≤I_{OUT}≤750mA	-	5	60	
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	8V≤V_{IN}≤21V		5.7	-	6.3	V
Quiescent Current	I_B	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=5mA		-	4.3	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B	Fig. 1	8V≤V_{IN}≤25V		-	-	1.3	mA
Output Noise Voltage	V_{NO}	Fig. 2	Ta=25℃, 10Hz≤f≤100kHz		-	55	-	μV_{rms}
Ripple Rejection Ratio	RR	Fig. 3	f=120Hz, 9V≤V_{IN}≤19V,		61	77	-	dB
Dropout Voltage	V_D	Fig. 1	I_{OUT}=1.0A, T_j=25℃		-	2.0	-	V
Short Circuit Current Limit	I_{SC}	Fig. 1	T_j=25℃		-	1.5	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TC_{VO}	Fig. 1	I_{OUT}=5mA, 0℃≤T_j≤125℃		-	0.7	-	mV/℃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIA7805AP~KIA7824AP

KIA7807AP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{IN}=12V, I_{OUT}=500mA, 0℃≤T_j≤125℃)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=100mA	6.72	7.0	7.28	V
Input Regulation	Reg line	Fig. 1	T_j=25℃, 9V≤V_{IN}≤25V	-	5	140	mV
			T_j=25℃, 10V≤V_{IN}≤14V	-	2	70	
Load Regulation	Reg load	Fig. 1	T_j=25℃, 5mA≤I_{OUT}≤1.5A	-	15	140	mV
			T_j=25℃, 250mA≤I_{OUT}≤750mA	-	5	70	
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	9V≤V_{IN}≤22V	6.65	-	7.35	V
Quiescent Current	I_B	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=5mA	-	4.3	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B	Fig. 1	9V≤V_{IN}≤25V	-	-	1.3	mA
Output Noise Voltage	V_{NO}	Fig. 2	Ta=25℃, 10Hz≤f≤100kHz	-	60	-	μV_{rms}
Ripple Rejection Ratio	RR	Fig. 3	f=120Hz, 10V≤V_{IN}≤20V,	59	75	-	dB
Dropout Voltage	V_D	Fig. 1	I_{OUT}=1.0A, T_j=25℃	-	2.0	-	V
Short Circuit Current Limit	I_{SC}	Fig. 1	T_j=25℃	-	1.3	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	T_{CVO}	Fig. 1	I_{OUT}=5mA, 0℃≤T_j≤125℃	-	-0.8	-	mV/℃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIA7805AP~KIA7824AP

KIA7808AP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{IN}=14V, I_{OUT}=500mA, 0℃≤T_j≤125℃)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=100mA		7.7	8.0	8.3	V
Input Regulation	Reg line	Fig. 1	T_j=25℃	10.5V≤V_{IN}≤25V	-	6	160	mV
				11V≤V_{IN}≤17V	-	2	80	
Load Regulation	Reg load	Fig. 1	T_j=25℃	5mA≤I_{OUT}≤1.5A	-	12	160	mV
				250mA≤I_{OUT}≤750mA	-	4	80	
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	10.5V≤V_{IN}≤23V		7.6	-	8.4	V
Quiescent Current	I_B	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=5mA		-	4.3	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B	Fig. 1	10.5V≤V_{IN}≤25V		-	-	1.0	mA
Output Noise Voltage	V_{NO}	Fig. 2	Ta=25℃, 10Hz≤f≤100kHz		-	70	-	μV_{rms}
Ripple Rejection Ratio	RR	Fig. 3	f=120Hz, 11.5V≤V_{IN}≤21.5V,		58	74	-	dB
Dropout Voltage	V_D	Fig. 1	I_{OUT}=1.0A, T_j=25℃		-	2.0	-	V
Short Circuit Current Limit	I_{SC}	Fig. 1	T_j=25℃		-	1.1	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TC_{VO}	Fig. 1	I_{OUT}=5mA, 0℃≤T_j≤125℃		-	-1.0	-	mV/℃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIA7805AP~KIA7824AP

KIA7809AP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{IN}=15V, I_{OUT}=500mA, 0℃≤T_j≤125℃)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=100mA		8.64	9.0	9.36	V
Input Regulation	Reg line	Fig. 1	T_j=25℃	11.5V≤V_{IN}≤26V	-	7.0	180	mV
				13V≤V_{IN}≤19V	-	2.5	90	
Load Regulation	Reg load	Fig. 1	T_j=25℃	5mA≤I_{OUT}≤1.5A	-	12	180	mV
				250mA≤I_{OUT}≤750mA	-	4.0	90	
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	11.5V≤V_{IN}≤26V		8.55	-	9.45	V
Quiescent Current	I_B	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=5mA		-	4.3	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B	Fig. 1	11.5V≤V_{IN}≤26V		-	-	1.0	mA
Output Noise Voltage	V_{NO}	Fig. 2	Ta=25℃, 10Hz≤f≤100kHz		-	75	-	μV_{rms}
Ripple Rejection Ratio	RR	Fig. 3	f=120Hz, 12.5V≤V_{IN}≤22.5V,		56	72	-	dB
Dropout Voltage	V_D	Fig. 1	I_{OUT}=1.0A, T_j=25℃		-	2.0	-	V
Short Circuit Current Limit	I_{SC}	Fig. 1	T_j=25℃		-	1.0	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TC_{VO}	Fig. 1	I_{OUT}=5mA, 0℃≤T_j≤125℃		-	-1.1	-	mV/℃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIA7805AP~KIA7824AP

KIA7810AP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{IN}=16V, I_{OUT}=500mA, 0℃≤T_j≤125℃)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=100mA		9.6	10.0	10.4	V
Input Regulation	Reg line	Fig. 1	T_j=25℃	12.5V≤V_{IN}≤27V	-	8	200	mV
				14V≤V_{IN}≤20V	-	2.5	100	
Load Regulation	Reg load	Fig. 1	T_j=25℃	5mA≤I_{OUT}≤1.5A	-	12	200	mV
				250mA≤I_{OUT}≤750mA	-	4	100	
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	12.5V≤V_{IN}≤25V		9.5	-	10.5	V
Quiescent Current	I_B	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=5mA		-	4.3	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B	Fig. 1	12.5V≤V_{IN}≤27V		-	-	1.0	mA
Output Noise Voltage	V_{NO}	Fig. 2	Ta=25℃, 10Hz≤f≤100kHz		-	80	-	μV_{rms}
Ripple Rejection Ratio	RR	Fig. 3	f=120Hz, 13.5V≤V_{IN}≤23.5V,		55	72	-	dB
Dropout Voltage	V_D	Fig. 1	I_{OUT}=1.0A, T_j=25℃		-	2.0	-	V
Short Circuit Current Limit	I_{SC}	Fig. 1	T_j=25℃		-	0.9	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TC_{VO}	Fig. 1	I_{OUT}=5mA, 0℃≤T_j≤125℃		-	-1.3	-	mV/℃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIA7805AP~KIA7824AP

KIA7812AP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{IN}=19V, I_{OUT}=500mA, 0℃ ≤T_j ≤125℃)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=100mA		11.5	12.0	12.5	V
Input Regulation	Reg line	Fig. 1	T_j=25℃	14.5V ≤V_{IN} ≤30V	-	10	240	mV
				16V ≤V_{IN} ≤22V	-	3	120	
Load Regulation	Reg load	Fig. 1	T_j=25℃	5mA ≤I_{OUT} ≤1.5A	-	12	240	mV
				250mA ≤I_{OUT} ≤750mA	-	4	120	
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	14.5V ≤V_{IN} ≤27V		11.4	-	12.6	V
Quiescent Current	I_B	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=5mA		-	4.3	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B	Fig. 1	14.5V ≤V_{IN} ≤30V		-	-	1.0	mA
Output Noise Voltage	V_{NO}	Fig. 2	Ta=25℃, 10Hz ≤f ≤100kHz		-	90	-	μV_{rms}
Ripple Rejection Ratio	RR	Fig. 3	f=120Hz, 15V ≤V_{IN} ≤25V,		55	71	-	dB
Dropout Voltage	V_D	Fig. 1	I_{OUT}=1.0A, T_j=25℃		-	2.0	-	V
Short Circuit Current Limit	I_{SC}	Fig. 1	T_j=25℃		-	0.7	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	ΔV_{VO}	Fig. 1	I_{OUT}=5mA, 0℃ ≤T_j ≤125℃		-	-1.6	-	mV/℃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIA7805AP~KIA7824AP

KIA7815AP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{IN}=23V, I_{OUT}=500mA, 0℃≤T_j≤125℃)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=100mA		14.4	15.0	15.6	V
Input Regulation	Reg line	Fig. 1	T_j=25℃	17.5V≤V_{IN}≤30V	-	11	300	mV
				20V≤V_{IN}≤26V	-	3	150	
Load Regulation	Reg load	Fig. 1	T_j=25℃	5mA≤I_{OUT}≤1.5A	-	12	300	mV
				250mA≤I_{OUT}≤750mA	-	4	150	
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	17.5V≤V_{IN}≤30V		14.25	-	15.75	V
Quiescent Current	I_B	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=5mA		-	4.4	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B	Fig. 1	17.5V≤V_{IN}≤30V		-	-	1.0	mA
Output Noise Voltage	V_{NO}	Fig. 2	Ta=25℃, 10Hz≤f≤100kHz		-	110	-	μV_{rms}
Ripple Rejection Ratio	RR	Fig. 3	f=120Hz, 18.5V≤V_{IN}≤28.5V,		54	70	-	dB
Dropout Voltage	V_D	Fig. 1	I_{OUT}=1.0A, T_j=25℃		-	2.0	-	V
Short Circuit Current Limit	I_{SC}	Fig. 1	T_j=25℃		-	0.5	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TC_{VO}	Fig. 1	I_{OUT}=5mA, 0℃≤T_j≤125℃		-	-2.0	-	mV/℃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIA7805AP~KIA7824AP

KIA7818AP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{IN}=27V, I_{OUT}=500mA, 0℃≤T_j≤125℃)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=100mA		17.3	18.0	18.7	V
Input Regulation	Reg line	Fig. 1	T_j=25℃	21V≤V_{IN}≤33V	-	13	360	mV
				24V≤V_{IN}≤30V	-	4	180	
Load Regulation	Reg load	Fig. 1	T_j=25℃	5mA≤I_{OUT}≤1.5A	-	12	360	mV
				250mA≤I_{OUT}≤750mA	-	4	180	
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	21V≤V_{IN}≤33V		17.1	-	18.9	V
Quiescent Current	I_B	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=5mA		-	4.5	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B	Fig. 1	21V≤V_{IN}≤33V		-	-	1.0	mA
Output Noise Voltage	V_{NO}	Fig. 2	Ta=25℃, 10Hz≤f≤100kHz		-	125	-	μV_{rms}
Ripple Rejection Ratio	RR	Fig. 3	f=120Hz, 22V≤V_{IN}≤32V,		52	68	-	dB
Dropout Voltage	V_D	Fig. 1	I_{OUT}=1.0A, T_j=25℃		-	2.0	-	V
Short Circuit Current Limit	I_{SC}	Fig. 1	T_j=25℃		-	0.4	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TC_{VO}	Fig. 1	I_{OUT}=5mA, 0℃≤T_j≤125℃		-	-2.5	-	mV/℃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIA7805AP~KIA7824AP

KIA7820AP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{IN}=29V, I_{OUT}=500mA, 0℃ ≤T_j ≤125℃)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=100mA		19.2	20.0	20.8	V
Input Regulation	Reg line	Fig. 1	T_j=25℃	23V ≤V_{IN} ≤35V	-	15	400	mV
				26V ≤V_{IN} ≤32V	-	5	200	
Load Regulation	Reg load	Fig. 1	T_j=25℃	5mA ≤I_{OUT} ≤1.5A	-	12	400	mV
				250mA ≤I_{OUT} ≤750mA	-	4	200	
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	23V ≤V_{IN} ≤35V		19.0	-	21.0	V
Quiescent Current	I_B	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=5mA		-	4.6	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B	Fig. 1	23V ≤V_{IN} ≤35V		-	-	1.0	mA
Output Noise Voltage	V_{NO}	Fig. 2	Ta=25℃, 10Hz ≤f ≤100kHz		-	135	-	μV_{rms}
Ripple Rejection Ratio	RR	Fig. 3	f=120Hz, 24V ≤V_{IN} ≤34V,		50	66	-	dB
Dropout Voltage	V_D	Fig. 1	I_{OUT}=1.0A, T_j=25℃		-	2.0	-	V
Short Circuit Current Limit	I_{SC}	Fig. 1	T_j=25℃		-	0.4	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TC_{VO}	Fig. 1	I_{OUT}=5mA, 0℃ ≤T_j ≤125℃		-	-3.0	-	mV/℃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIA7805AP~KIA7824AP

KIA7824AP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{IN}=33V, I_{OUT}=500mA, 0℃ ≤T_j ≤125℃)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=100mA		23.0	24.0	25.0	V
Input Regulation	Reg line	Fig. 1	T_j=25℃	27V ≤V_{IN} ≤38V	-	18	480	mV
				30V ≤V_{IN} ≤36V	-	6	240	
Load Regulation	Reg load	Fig. 1	T_j=25℃	5mA ≤I_{OUT} ≤1.5A	-	12	480	mV
				250mA ≤I_{OUT} ≤750mA	-	4	240	
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	27V ≤V_{IN} ≤38V		22.8	-	25.2	V
Quiescent Current	I_B	Fig. 1	T_j=25℃, I_{OUT}=5mA		-	4.6	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_B	Fig. 1	27V ≤V_{IN} ≤38V		-	-	1.0	mA
Output Noise Voltage	V_{NO}	Fig. 2	Ta=25℃, 10Hz ≤f ≤100kHz		-	150	-	μV_{rms}
Ripple Rejection Ratio	RR	Fig. 3	f=120Hz, 28V ≤V_{IN} ≤38V,		50	66	-	dB
Dropout Voltage	V_D	Fig. 1	I_{OUT}=1.0A, T_j=25℃		-	2.0	-	V
Short Circuit Current Limit	I_{SC}	Fig. 1	T_j=25℃		-	0.3	-	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TC_{VO}	Fig. 1	I_{OUT}=5mA, 0℃ ≤T_j ≤125℃		-	-3.5	-	mV/℃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST CIRCUIT

Fig. 1 Standard Test Circuit & Application Circuit

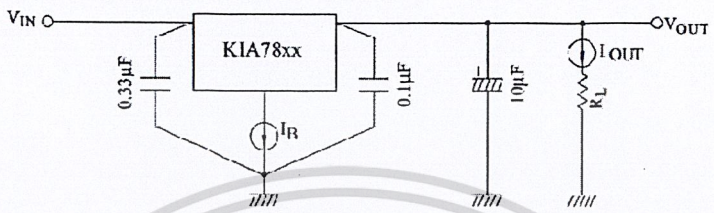


Fig. 2 V_{NO} Test Circuit

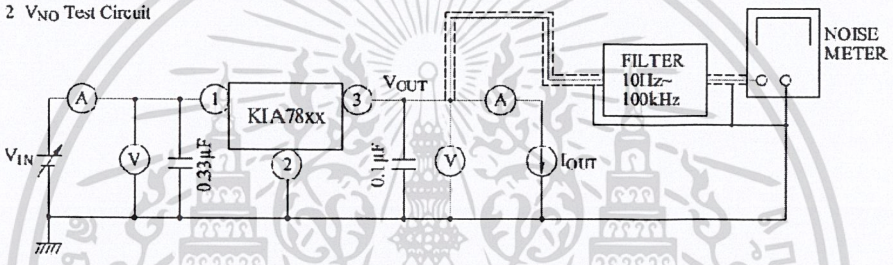
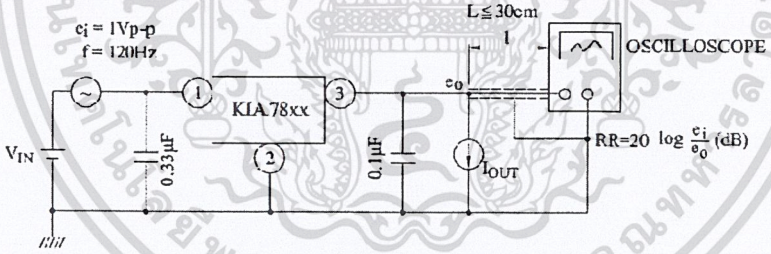


Fig. 3 Ripple Rejection Test Circuit

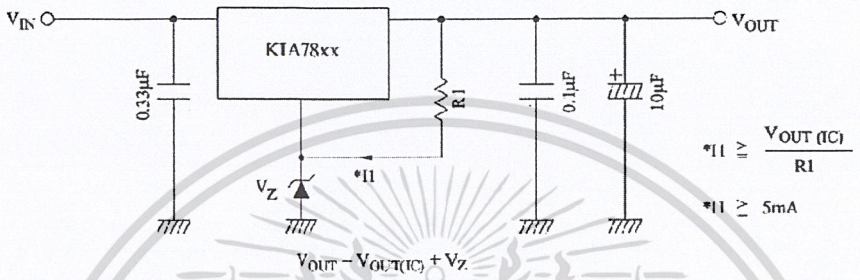


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

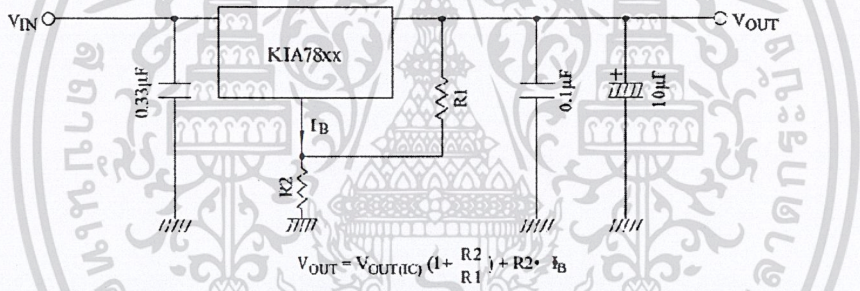
APPLICATION CIRCUIT

(1) VOLTAGE BOOST REGULATOR

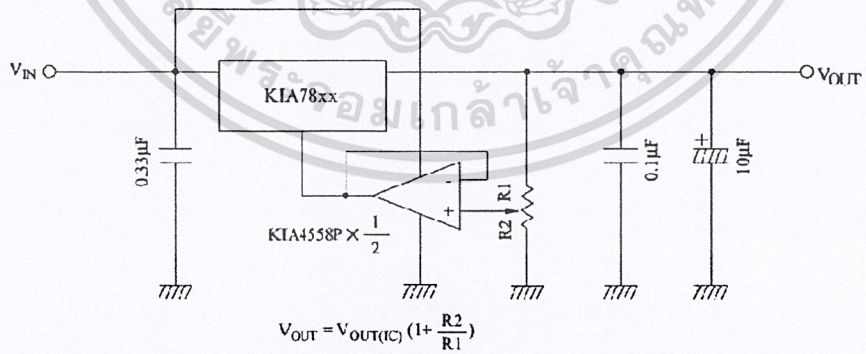
(a) Voltage boost by use of zener diode



(b) Voltage boost by use of resistor

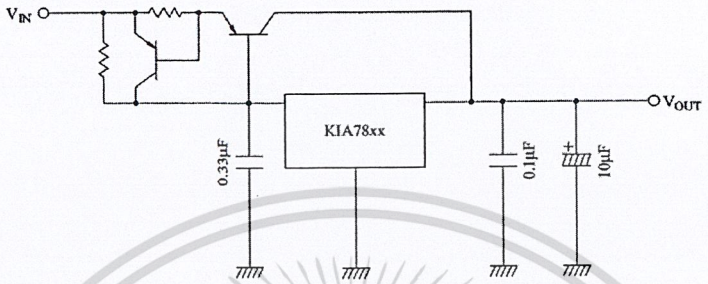


(c) Adjustable output regulator



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

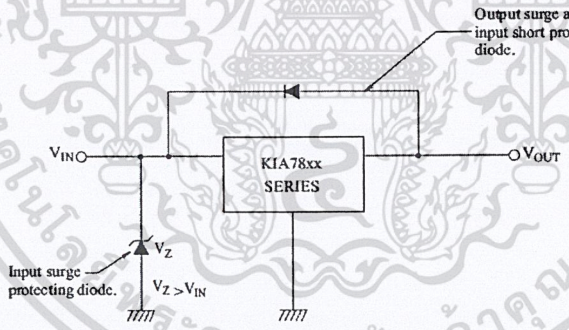
(2) CURRENT BOOST REGULATOR



PRECAUTIONS ON APPLICATION

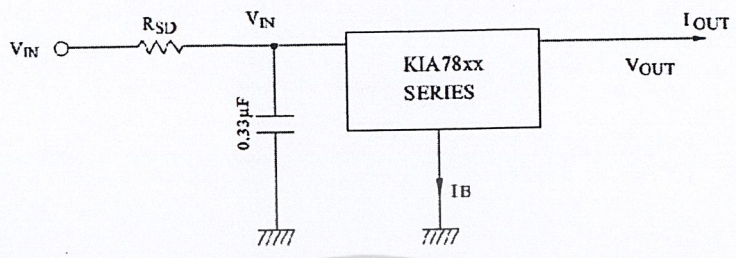
(1) In regard to GND, be careful not to apply a negative voltage to the input/output terminal. Further, special care is necessary in case of a voltage boost application.

(2) When a surge voltage exceeding maximum rating is applied to the input terminal or when a voltage in excess of the input terminal voltage is applied to the output terminal, the circuit may be destroyed. Specially, in the latter case, great care is necessary Further, if the input terminal shorts to GND in a state of normal operation, the output terminal voltage becomes higher than the input voltage (GND potential), and the electric charge of a chemical capacitor connected to the output terminal flows into the input side, which may cause the destruction of circuit. In these cases, take such steps as a zener diode and a general silicon diode are connected to the circuit, as shown in the following figure.



(3) When the input voltage is too high, the power dissipation of three terminal regulator increase because of series regulator, so that the junction temperature rises. In such a case, it is recommended to reduce the power dissipation by inserting the power limiting resistor R_{SD} in the input terminal, and to reduce the junction temperature as a result.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The power dissipation P_D of IC is expressed in the following equation.

$$P_D = (V_{IN}-V_{OUT}) \cdot I_{OUT} + V_{IN}' \cdot I_B$$

If V_{IN}' is reduced below the lowest voltage necessary for the IC, the parasitic oscillation will be caused according to circumstances. In determining the resistance value of R_{SD}, design with margin should be made by making reference to the following equation.

$$R_{SD} < \frac{V_{IN} - V_{IN}'}{I_{OUT} + I_B}$$

(4) Connect the input terminal and GND, and the output terminal and GND, by capacitor respectively.
The capacitances should be determined experimentally because they depend on printed patterns. In particular, adequate investigation should be made so that there is no problem even at time of high or low temperature.

(5) Installation of IC for power supply
For obtaining high reliability on the heat sink design of the regulator IC, it is generally required to derate more than 20% of maximum junction temperature (T_j MAX.) Further, full consideration should be given to the installation of IC to the heat sink.

(a) Heat sink design
The thermal resistance of IC itself is required from the viewpoint of the design of elements, but the thermal resistance from the IC package to the open air varies with the contact thermal resistance. Table 1 shows how much the value of the contact thermal resistance ($\theta_C + \theta_S$) is changed by insulating sheet (mica) and heat sink grease.

TABLE 1. UNIT: ℃/W

PACKAGE	MODEL NO.	TORQUE	MICA	$\theta_C + \theta_S$
TO-220AB	KIA78xxAP	6kg · cm (0.6N/m)	Not Provided	0.3 ~0.5(1.5 ~2.0)
			Provided	2.0 ~2.5(4.0 ~ 6.0)

The figures given in parentheses denote the values at time of no grease.
The package of regulator IC serves as GND, therefore, usually use the value at time of "no mica"

(b) Silicon grease
When a circuit not exceeding maximum rating is designed, it is to be desired that the grease should be used if possible.
If it is required that the contact thermal resistance is reduced from the view-point of the circuit design,
It is recommended that the following methods be adopted.

A: Use Thercon (Fuji High Polymer Kogyo K.K)
B: Use SC101 (Toray Silicon) or G-640 (GE), if grease is used.

(c) Torque
When installing IC on a heat sink or the like, tighten the IC with the torque of less than the rated value. If it is tightened with the torque in excess of the rated value, sometimes the internal elements of the IC are adversely affected. Therefore, great care should be given to the installing operation. Further, if polycarbonate screws are used, the torque causes a change with the passage of time, which may lessen the effect of radiation.

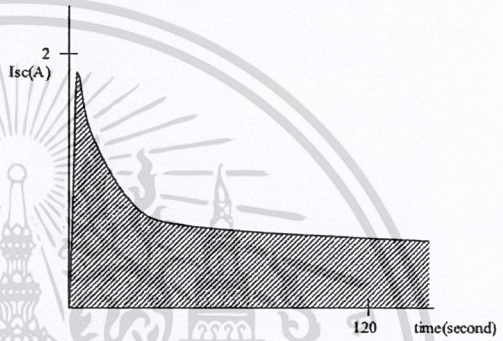
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) IEC (International Electronical Commission)-65 Specification.

(a) IEC (International Electronical Commission)-65 is the standard, parts testing method, machinery and tolls (used in connecting main power directly and indirectly) Which are used at home and general building. The purpose of the above standard is not to breaking out the risk which is related to an electric shock, a heating, a fire and the damage of surrounding parts in the case of normal or abnormal operating.

(b) In case temperature is limited by temperature overheating prevention device, fuse or the operation of fuse resistor
One must calculate the temperature of PCB substrate in 2 minute.
$\Delta T \leq 110$℃ regulated
ΔT=T(The PCB substrate temperature in 2 minute)
-Ta(Ambient temperature)

(c) Graph
As the territory of the deviant line appear by the heat, as the area is wider, T(The PCB substrate temperature in 2 minute) is becoming high.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 4 I_B - T_j

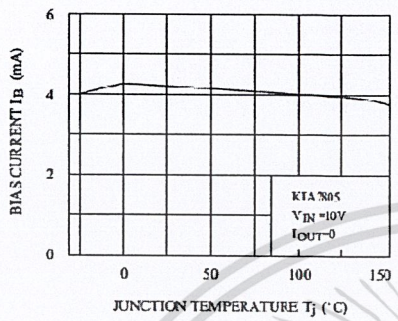


Fig. 5 V_{OUT} - T_j

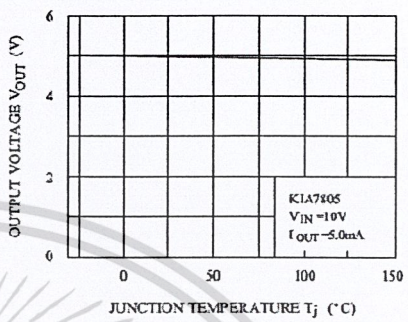


Fig. 6 RR - I_{OUT}

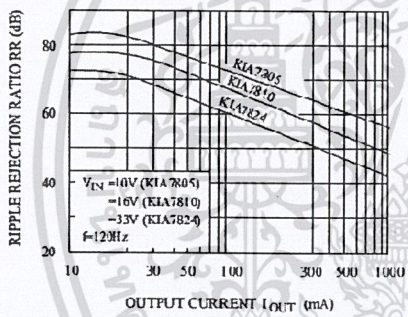
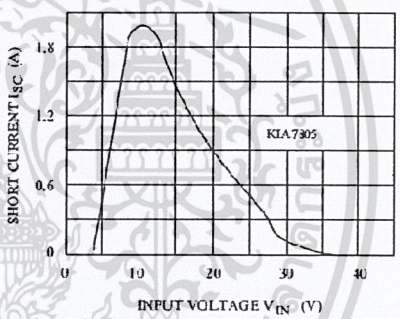


Fig. 7 V_{IN} - I_{SC}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIA7805AP~KIA7824AP

Fig. 8 V_D - T_j

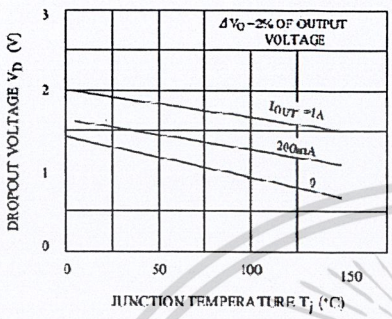


Fig. 9 Z_{OUT} - f

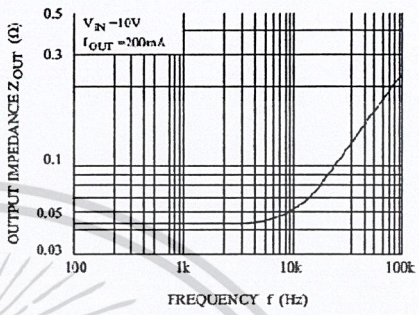
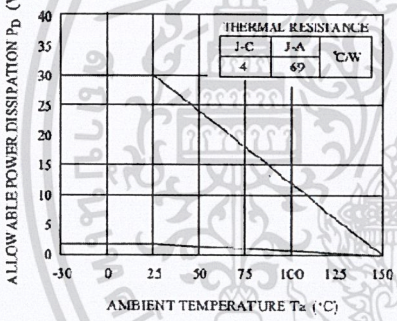


Fig. 10 P_D - Ta



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEXAS INSTRUMENTS

Application Report
SLVA229–March 2006

Opto-Isolator Selection Guidelines: TPS2384 I²C Interface

Eric Wright

PMP/System Power

ABSTRACT

The TPS2384 is a quad-port power sourcing equipment power manager (PSEPM) which is compliant to the Power-over-Ethernet (PoE) IEEE 802.3af standard. When ground isolation is required between the micro-controller and Ethernet ports, opto-isolators can be placed between the TPS2384 I²C interface and micro-controller. This document provides design guideline specifics for selection of the opto-isolator devices.

Contents

1 Introduction 1
2 First Pass Timing 2
3 Opto-Isolator Selection 4
4 Power Consumption 5
5 Final Timing Analysis 7
6 Conclusion 8
7 References 8

List of Figures

1 Basic Interface Diagram 2
2 TPS2384 Internal SCL Delay 4
3 V3.3 Load Current Paths 5
4 AC Load Model for V3.3 7

List of Tables

1 Digital I²C Timing Requirements 2
2 Acceptable SDA Transition Time Window 3
3 Opto-Isolator t_{PHL} Values 4
4 Photo-Coupler Parameters 5
5 DC Load Current Summary 6
6 Timing Budget Summary 8

1 Introduction

In some applications, electrical ground isolation between the 48V referenced TPS2384 circuitry and master controller (MC) may be required. While other isclator configurations are possible, an optical-isolator implementation is discussed in this report.

Two significant isolator design issues are considered:

- Impact on TPS2384 digital I²C timing when inserting opto-isolatcrs in the control path.
- Opto-isolator power consumption from the TPS2384 digital supply (V3.3 — pin 24).

Figure 1 illustrates a typical opto-isolator connection between the MC and the TPS2384.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

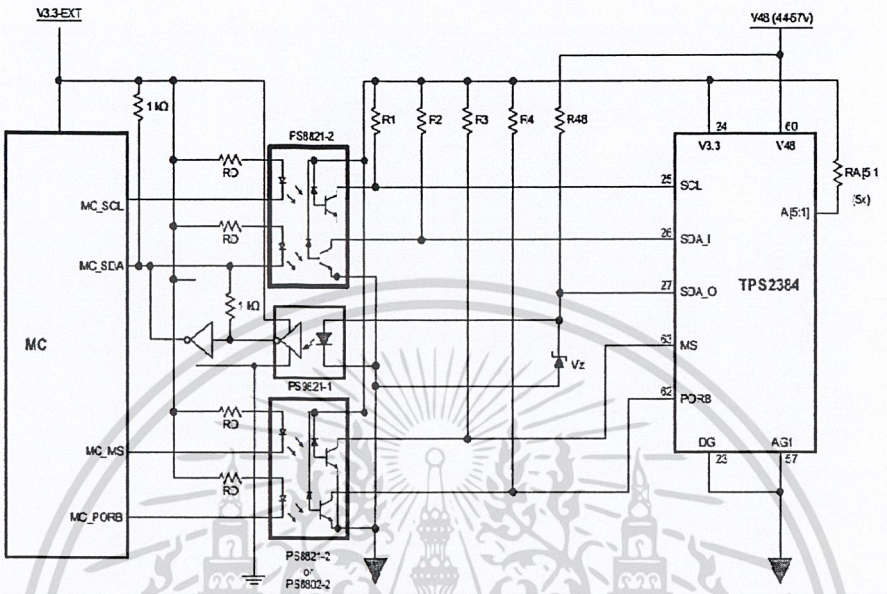


Figure 1. Basic Interface Diagram

2 First Pass Timing

The TPS2384 data sheet digital I²C timing requirements are summarized in Table 1. These timing requirements mirror the requirements for fast mode (F/S) devices outlined in the Phillips I²C specification. The opto-isolator propagation delay characteristics can constrain and possibly necessitate alteration of the MC output timing requirements.

Table 1. Digital I²C Timing Requirements

PARAMETER	TEST CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS
SCL clock frequency		0		400	kHz
Pulse duration	SCL high	0.6			µs
	SCL low	1.3			
Rise time, SCL to SDA				0.3	µs
Fall time, SCL to SDA				0.3	µs
Setup time, SDA to SCL		0.25			µs
Hold time, SCL to SDA		0.3		0.9	µs
Bus free time between start and stop		1.3			µs
Setup time, SCL to start condition		0.6			µs
Hold time, start condition to SCL		0.6			µs
Setup time, SCL to stop condition		0.6			µs
Delay time, SCL to SCL_{INT}, $t_{d(SCL)}$			0.5(1)	0.9(1)	µs

(1) $t_{d(SCL)}$ is the TPS2384 internal clock delay.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Selection of the opto-isolator type should also consider end to end signal polarity and MC output drive type. The circuit in Figure 1 implements *inverting* opto-isolators for the SCL and SDA_I inputs but since the MC drives the LED cathode; no net polarity inversion takes place.

Also of note in Figure 1 is the SDA_O signal drive implementation. To minimize V3.3 loading, the SDA_O signal derives its LED anode drive current from V48. Since this drive implementation induces a polarity change, an inverter is required between the opto-isolator output and the MC. This inverter must be an open drain type to be compatible with the I^2C specification and have minimal impact on timing. The zener diode Vz (5.6V), adds a layer of voltage protection to the opto-isolator LED and SDA_O. R43 should be chosen with power dissipation (1/2W) and LED bias current in mind.

2.1 SCL/SDA_I Setup and Hold Considerations

The I^2C standard states that SDA_I must be stable during the SCL logic high time (including SDA_I setup and hold times), or in other words SDA_I can only change state when SCL is a valid low. t_{trans} is the allowable SDA_I state transition time window (during SCL low) and bounds the rising and falling edge propagation delay requirements of the opto-isolators. Table 2 shows t_{trans} for minimum and maximum hold times, t_h.

$$t_{trans} = t_{low} - t_{su(min)} - t_h$$

Table 2. Acceptable SDA Transition Time Window

t_{trans} (µs)	t_{low} (µs)	t_{su} (µs)	t_h (µs)
0.75	1.3	0.25	0.3
0.15	1.3	0.25	0.9

In general, if the rising and falling edge propagation delays of the SCL and SDA_I opto-isolators track each other, are sufficiently small, and the MC meets the requirements of the I^2C standard, then input signal timing can be met. Similarly, start, restart, and stop conditions have setup and hold requirements of $t_{stop/start}$ = 0.6 µs which should also be considered.

2.2 SDA_O Timing Considerations

The TPS2384 internal SCL delay, $t_{d(SCL)}$ should be considered for device reads. SDA_O transition timing occurs on the falling edge of the TPS2384 internal SCL signal as illustrated in Figure 2. The SDA_O opto-isolator is restricted to faster devices so that data arrives at the MC within the required setup and hold times. $t_{d(SCL)}$, $t_{PLH(SCL)}$, $t_{PH-L(SCL)}$, and $t_{su(MC)}$ delays bound opto-isolator propagation delays on the SDA_O signal. Also note that the SDA_O opto-isolator (and inverter) are powered by V3.3-EXT and do not impact V3.3 loading.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

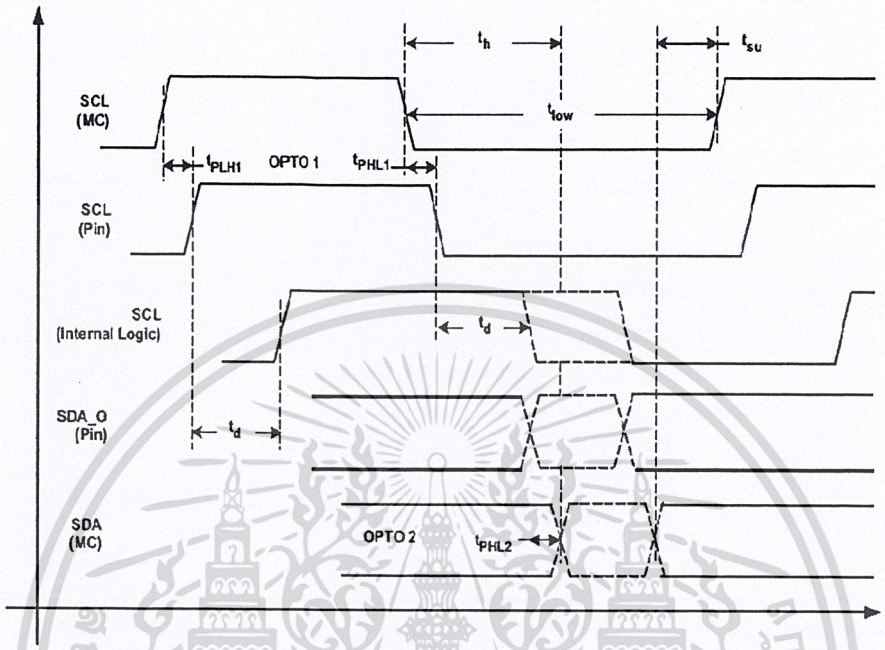


Figure 2. TPS2384 Internal SCL Delay

Table 3 shows target t_{PHL} (total sum for SCL and SDA_O opto-isolators) values that can be derived from the following equations.

$t_{h(min)} < t_{PHL} + t_{d(SCL)} < t_{h(max)}$

$t_{h(min)} - t_{d(SCL)} < t_{PHL} < t_{h(max)} - t_{d(SCL)}$

and

$t_{PHL} + t_{d(SCL)} < t_{low} - t_{su}$

$t_{PHL} < t_{low} - t_{su} - t_{d(SCL)}$

Table 3. Opto-Isolator t_{PHL} Values

CONSIDERING SDA_O HOLD REQUIREMENTS			CONSIDERING SDA_O SETUP REQUIREMENTS		
t_{PHL} (µs)	t_h (µs)	$t_{d(SCL)}$ (µs)	t_{PHL} (µs)	t_{su} (µs)	$t_{d(SCL)}$ (µs)
> –0.2	0.3	0.5	< 0.55	0.25	0.50
> –0.6	0.3	0.9	< 0.15	0.25	0.90
< 0.4	0.9	0.5			
< 0.0	0.9	0.9			

3 Opto-Isolator Selection

For the SCL and SDA_I signals, a medium-fast, low power, dual opto-isolator configuration is desired. For the SDA_O signal, a fast, medium power, single opto-isolator is desired, and for the low speed MS and PORB signals, a slow, low power, dual opto-isolator configuration is desired. Three NEC Electronics photo couplers were selected and the relevant details are summarized in Table 4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4. Photo-Coupler Parameters

NEC Electronics Device Number	Configuration	$I_{CCL(typ)}$	$t_{PLH(min)}$ [1]	$t_{PLH(typ)}$	$t_{PLH(max)}$	$t_{PLH(min)}$ [1]	$t_{PHL(typ)}$	$t_{PHL(max)}$
PS8802-2	Dual (MS, PORB)	200 µA	0.1 µs	0.6 µs	1.2 µs	0.1 µs	0.3 µs	0.8 µs
PS8821-2	Dual (SCL, SDA_I)	200 µA	0.1 µs	0.5 µs	0.9 µs	0.1 µs	0.3 µs	0.6 µs
PS9821-1 [2]	Single (SDA_O)	7 mA		50 ns	100 ns		45 ns	100 ns

(1) $t_{PLH(min)}$ and $t_{PHL(min)}$ are estimates for this report and are not data sheet specified.
(2) PS9121 is an acceptable substitute for the PS9821.

It might be noted that the propagation delay times are a bit high for the SCL/SDA_I device. The impact of these values are evaluated in the final timing analysis.

4 Power Consumption

The I²C interface support circuitry for the TPS2384 can be powered from the V3.3 pin if limited to less than 3mA peak. Exceeding the peak output current can cause internal digital circuit malfunction due to short circuit limiting of the V3.3 output. Excessively high DC currents should be evaluated with respect to power dissipation.

The V3.3 pin load current paths are highlighted in Figure 3. Included is loading by the 5 address lines, 4 opto-isolator output pullup resistors, and the 4 opto-isolator output amplifiers.

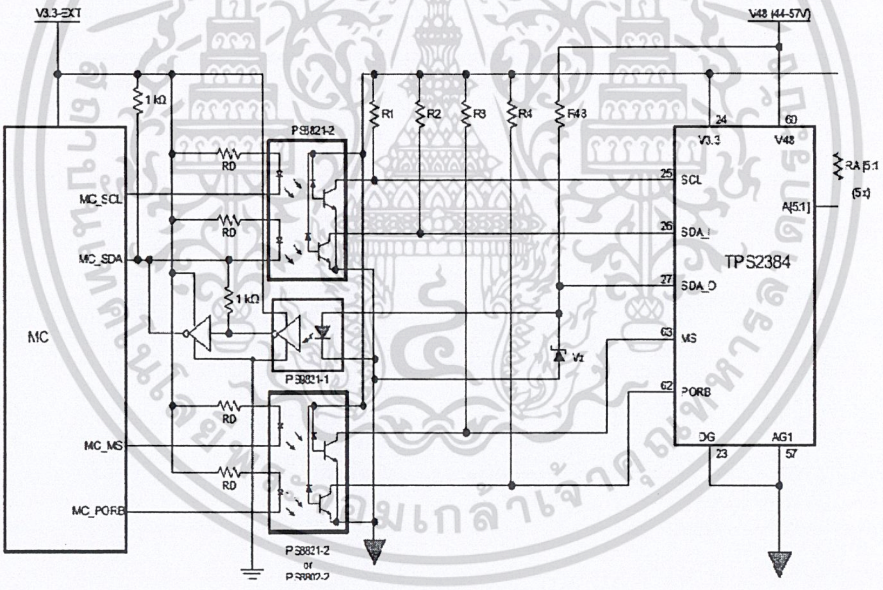


Figure 3. V3.3 Load Current Paths

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 DC Considerations

R3/R4: Select a value for these resistors based on MS/PORB threshold of 1.5V (and 150mV hysteresis) and the MS/PORB internal 50-kΩ resistor pull-down (R_{INT}).

$$V_{3.3(max)} \times \frac{R_{INT}/N}{R_{INT}/N + R3} > V_{TH(max)} = V_{TH(nom)} + V_{HYST}$$

Let: $R_{INT} = 0.8 \times R_{INT(nom)} = 40\ k\Omega$, N = Number of TPS2384 Devices

$$R3 < \frac{R_{INT}}{N} \times \left[\frac{V_{3.3(min)}}{V_{TH(max)}} - 1\right] \text{ For N = 2, } R3 < \left(\frac{40k}{2}\right) \times \left(\frac{3}{1.65} - 1\right) = 16.4\ k\Omega$$

R1/R2: Select R1/R2 for simultaneous SCL/SDA_I low (for V3.3 output current) and minimize R1/R2 for rise time signal considerations.

$I_{3.3(max)}(R1 \& R2) = 3\ mA - I_{opto} - I_{addr} - I_{R3/R4}$

$I_{3.3(max)}(R1 \& R2) = 3\ mA - 400\ \mu A - 50\ \mu A - 404\ \mu A = 2.1\ mA$

$$R1/R2 > \frac{V3.3}{0.5 \times I_{3.3(max)}(R1 \& R2)} = \frac{3.3}{0.5 \times 2.1\ mA} = 3.1\ k\Omega$$

For $V3.3_{(max)} = 3.7\ V$, R1/R2 > 3.5 kΩ

Table 5 summarizes the DC load requirement targets.

Table 5. DC Load Current Summary

	V3.3 = 3.3V	
Load	Target I_{LD}	Target R_{PU}
Address	50 µA	
PS8821-2	200 µA	
PS8802-2	200 µA	
R1	1.05 mA	3.1 kΩ
R2	1.05 mA	3.1 kΩ
R3	202 µA	16.4 kΩ
R4	202 µA	16.4 kΩ
	I_{SUM} = 3.0 mA	

4.2 AC Considerations

Bulk energy storage capacitance: Determine beneficial effects of V3.3 capacitance which sources current peaks during simultaneous *logic low* conditions. Considering V3.3 (V_S) with series source impedance R_S, minimum R_L (R1 || R2) can be determined so that V3.3 does not fall below 1.65V ($V_{TH} + V_{HYST}$) during simultaneous logic low (with I_S = 2.1mA). Figure 4 shows the circuit model.

$R_L = R_S = 1.65\ V/0.0021 = 786\ \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

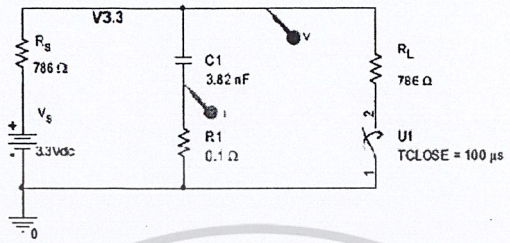


Figure 4. AC Load Model for V3.3

Target C1 value required to keep V3.3 above 1.65 V during U1 on time:

For I^2C bus speed = 100 kHz, $t_{low(max)}$ = 6 µs (very fast rise/fall times)

Target 4 × τ (98% droop) = $t_{low(max)}$

$$t_{low(max)} = 4 \times R \times C1 : R = R_L \left\| R_S = \frac{R_L}{2} \right.$$

$$t_{low(max)} = 2 \times R_L \times C1$$

$$C1(min) = \frac{t_{low(max)}}{2 \times R_L} = \frac{6\ \mu s}{2 \times 786} = 3.82\ nF$$

$$R_L = R1 \left\| R2;\ R1(min) = R2(min) = 2 \times R_L = 2 \times 786 = 1572\ \Omega \right.$$

This shows that a significantly small C1 is adequate to support V3.3 during relatively slow I^2C bus access. A reasonable bypass capacitor value of 0.1µF located at the V3.3 pin of the TPS2384 and at each pin of the dual opto-isolators provides good AC voltage stability. Assuming C1 = 0.3µF and R1 = R2 = 1572 Ω, yields $t_{low(max)}$ = 472 µs. This equates to a minimum I^2C bus access speed of 1.27 kHz. So, targeting R1 and R2 values between the minimum AC value (1572 Ω) and the minimum DC value (3.1 kΩ) provides good AC and DC performance.

The designer must keep in mind that the timing parameters detailed in Table 4 and used in Section 5 are based on I_F (set by RD in Figure 1 and Figure 3) and R_L (R1, R2, R3, R4 in Figure 1 and Figure 3) values specified in the opto-isolator manufacturers data sheet. Deviation from these values will have an impact on timing and must be evaluated.

5 Final Timing Analysis

MC writes must meet the TPS2384 setup and hold times by synchronizing data transitions to occur within the acceptable data transition window outlined in Section 2.1. MC reads from the TPS2384 must meet the MC setup and hold times as outlined in Section 2.2. The following equations define the acceptable data transition window times (during SCL low) for reads and writes.

Read Access (400 kHz SCL, t_0 at SCL rising edge):

$t_{accept1} = t_{high} + t_{h(max)}$

$t_{accept2} = t_{period} - t_{su(MC-min)}$

Write Access (400 kHz SCL, t_0 at SCL rising edge):

$t_{accept1} = t_{high} + t_{h(max)}$

$t_{accept2} = t_{period} - t_{su(2304-min)}$

NOTE: Rise and fall times are ignored here but must be considered by the designer.

Table 6 illustrates the impact of timing parameter variations during reads and writes. t_{MC} represents the delay variability that must be accounted for when designing SCL/SDA timing. Designers should target the data transitions to occur within the acceptable time windows, $t_{accept1}$ and $t_{accept2}$ for each condition.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 6. Timing Budget Summary

Reads								
Min	0.1	0.6	0.1	0.5		t_h =	0.9	
Max	0.9	1.2	0.6	0.9				
t_o	t_{PLH}	t_{high}	t_{PHL}	t_d	$t_{p\text{-}opto2}$	t_{mc}	$t_{accept1}$	$t_{accept2}$
0	0.1	0.6	0.1	0.5	0.1	1.4	1.5	2.4
0	0.1	0.6	0.1	0.9	0.1	1.8	1.5	2.4
0	0.1	0.6	0.6	0.5	0.1	1.9	1.5	2.4
0	0.1	0.6	0.6	0.9	0.1	2.3	1.5	2.4
0	0.1	1.2	0.1	0.5	0.1	2	2.1	2.4
0	0.1	1.2	0.1	0.9	0.1	2.4	2.1	2.4
0	0.1	1.2	0.6	0.5	0.1	2.5	2.1	2.4
0	0.1	1.2	0.6	0.9	0.1	2.9	2.1	2.4
0	0.9	0.6	0.1	0.5	0.1	2.2	1.5	2.4
0	0.9	0.6	0.1	0.9	0.1	2.6	1.5	2.4
0	0.9	0.6	0.6	0.5	0.1	2.7	1.5	2.4
0	0.9	0.6	0.6	0.9	0.1	3.1	1.5	2.4
0	0.9	1.2	0.1	0.5	0.1	2.8	2.1	2.4
0	0.9	1.2	0.1	0.9	0.1	3.2	2.1	2.4
0	0.9	1.2	0.6	0.5	0.1	3.3	2.1	2.4
0	0.9	1.2	0.6	0.9	0.1	3.7	2.1	2.4
Writes								
Min	0.1	0.6	0.1	t_h =	0.9			
Max	0.9	1.2	0.6					
t_o	t_{PLH}	t_{high}	t_{PHL}	t_{mc}	$t_{accept1}$	$t_{accept2}$		
0	0.1	0.6	0.1	0.8	1.5	2.25		
0	0.1	0.6	0.6	1.3	1.5	2.25		
0	0.1	1.2	0.1	1.4	2.1	2.25		
0	0.1	1.2	0.6	1.9	2.1	2.25		
0	0.9	0.6	0.1	1.6	1.5	2.25		
0	0.9	0.6	0.6	2.1	1.5	2.25		
0	0.9	1.2	0.1	2.2	2.1	2.25		
0	0.9	1.2	0.6	2.7	2.1	2.25		

6 Conclusion

This application of opto-isolator interface to the TPS2384 has been implemented for use with the MSP430 micro-controller. In all cases, the MC operating characteristics should be studied carefully and in some cases tailored to meet I^2C bus timing requirements. This may require SCL duty cycle adjustment and/or SDA transition time adjustment with respect to SCL. In some cases, this can be accomplished by slowing the I^2C bus speed to less than 400 kHz; however, this bus speed slowdown may limit the total number of controllable ports in larger systems.

7 References

1. *TPS2384, Quad Integrated Power Sourcing Equipment Power Manager* (SLUS634)
2. *TPS2384, Users Guide* (SLVU126B)
3. *I^2C Bus Specification*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products		Applications	
Amplifiers	amplifier.ti.com	Audio	www.ti.com/audio
Data Converters	dataconverter.ti.com	Automotive	www.ti.com/automotive
DSP	dsp.ti.com	Broadband	www.ti.com/broadband
Interface	interface.ti.com	Digital Control	www.ti.com/digitalcontrol
Logic	logic.ti.com	Military	www.ti.com/military
Power Mgmt	power.ti.com	Optical Networking	www.ti.com/opticalnetwork
Microcontrollers	microcontroller.ti.com	Security	www.ti.com/security
		Telephony	www.ti.com/telephony
		Video & Imaging	www.ti.com/video
		Wireless	www.ti.com/wireless

Mailing Address: Texas Instruments
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated

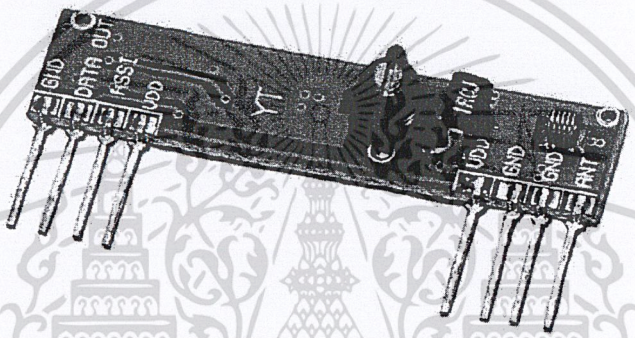
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RWS-374 Series

WENSHING®©

V1.02

Wireless Hi Sensitivity Receiver Module (RF ASK)



➢ Model: RWS-374-6(433.92MHz)

*Frequency Range: 433.92MHz

*Modulate Mode: ASK

*Circuit Shape: LC

*Date Rate: 4800 bps

*Selectivity: -108 dBm

*Channel Spacing: ±500KHz

*Supply Voltage: 5V

* High sensitivity passive design.

*Simple to apply with low external count.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

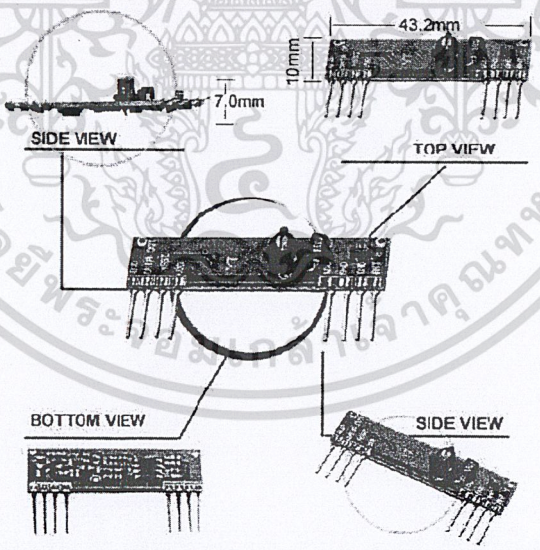
➢ Electrical Characteristics :

Characteristics	Sym	Min	Typ	Max	Units
Operating Radio Frequency	FC	433.42	433.92	434.42	MHz
Sensitivity	Pref	-106	-108	-110	dBm
Channel Width		-500		+ 500	KHz
Noise Equivalent BW	NEB		5	4	
Basoboard Data Rate				3	KB/S
Receiver Turn On Time				3	ms

➢ DC Characteristics :

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Vcc	Operating Supply Voltage		4.9	5	5.1	
I Tot	Operating Supply Voltage			4.5		
V Data	Data Out	1 Data = -10 uA (Low)	Vcc -0.5	Vcc		V
		1 Data = -10 uA (Low)			0.3	V

➢ Size:

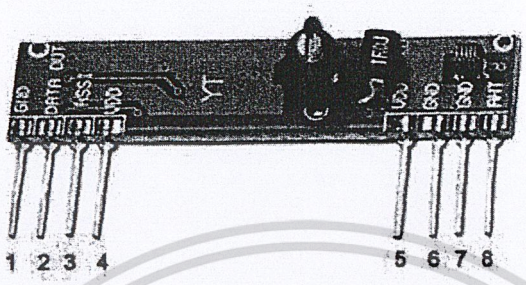


http://www.wenshing.com.tw ; http://www.rf.net.tw

RWS-374 Series Data Sheet P.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

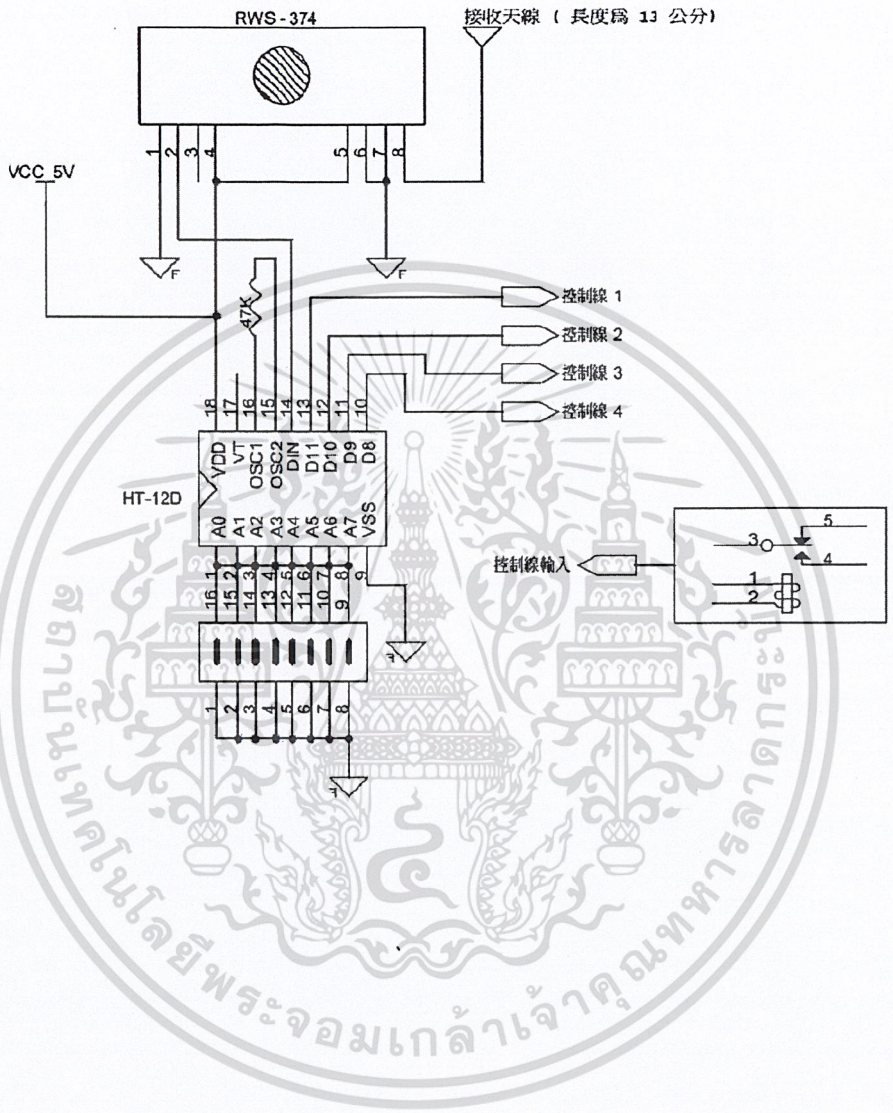
➢ Pin Assignment:



Pin	Function	Description
1	GND	
2	Digital Output	
3	Linear Out	
4	VCC	
5	VCC	
6	GND	
7	GND	
8	ANT	About 13cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

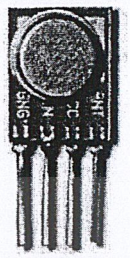
➢ Demo Circuit:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transmitter Module : TWS-BS3 (433.92 MHz)

*Frequency Range: 433.92 MHz
*Modulate Mode: ASK
*Circuit Shape: SAW
*Date Rate: 8kbps
*Supply Voltage: 3~ 12 V
*Power Supply and All Input / Output Pins: -0.3 to +12.0 V
*Non-Operating Case Temperature: -20 to +85 ℃
*Soldering Temperature (10 Seconds) : 230 ℃ (10 Seconds)



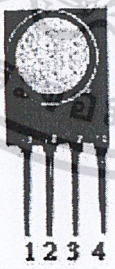
Absolute Maximum Ratings

Rating	Value	Unit
Power Supply and All Input/Output Pins	-0.3 to +12.0	V
Non-Operating Case Temperature	-20 to +85	℃
Soldering Temperature(10 seconds)	230	℃

Electrical Characteristics, T=25℃ , Vcc=3.6v, Freq=433.92MHz

Characteristic	Sym	Min.	Typ.	Max.	Uint
Operating Frequency (200KHz)	Vcc		433.92		MHz
Data Rate	ASK			8K	Kbps
Transmitter Performance(OOK@2.4kbps)					
Peak Input Current,12 Vdc Supply	ITP			45	mA
Peak Output Power	PO		10		mW
Tum On/ Tum Off Time	T ON/T OFF			1	US
Power Supply Vo ltage Range	Vcc	3		12	VDC
Operating Ambient Temperature	TA	-20		+85	℃
Tx Antenna Out (3V) +2.4dB	Vcc				mA

Application Note:

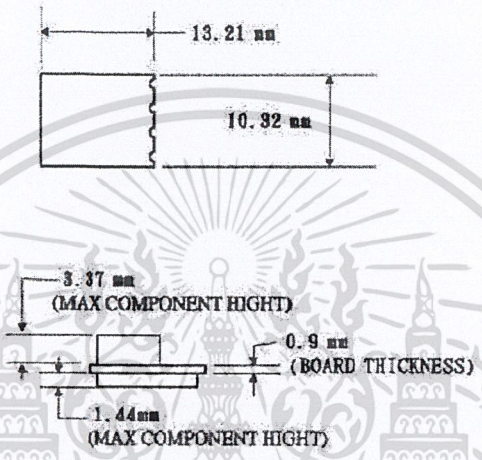


pin 1 : GND
pin 2 : Data in
pin 3 : VCC
pin 4 : ANT

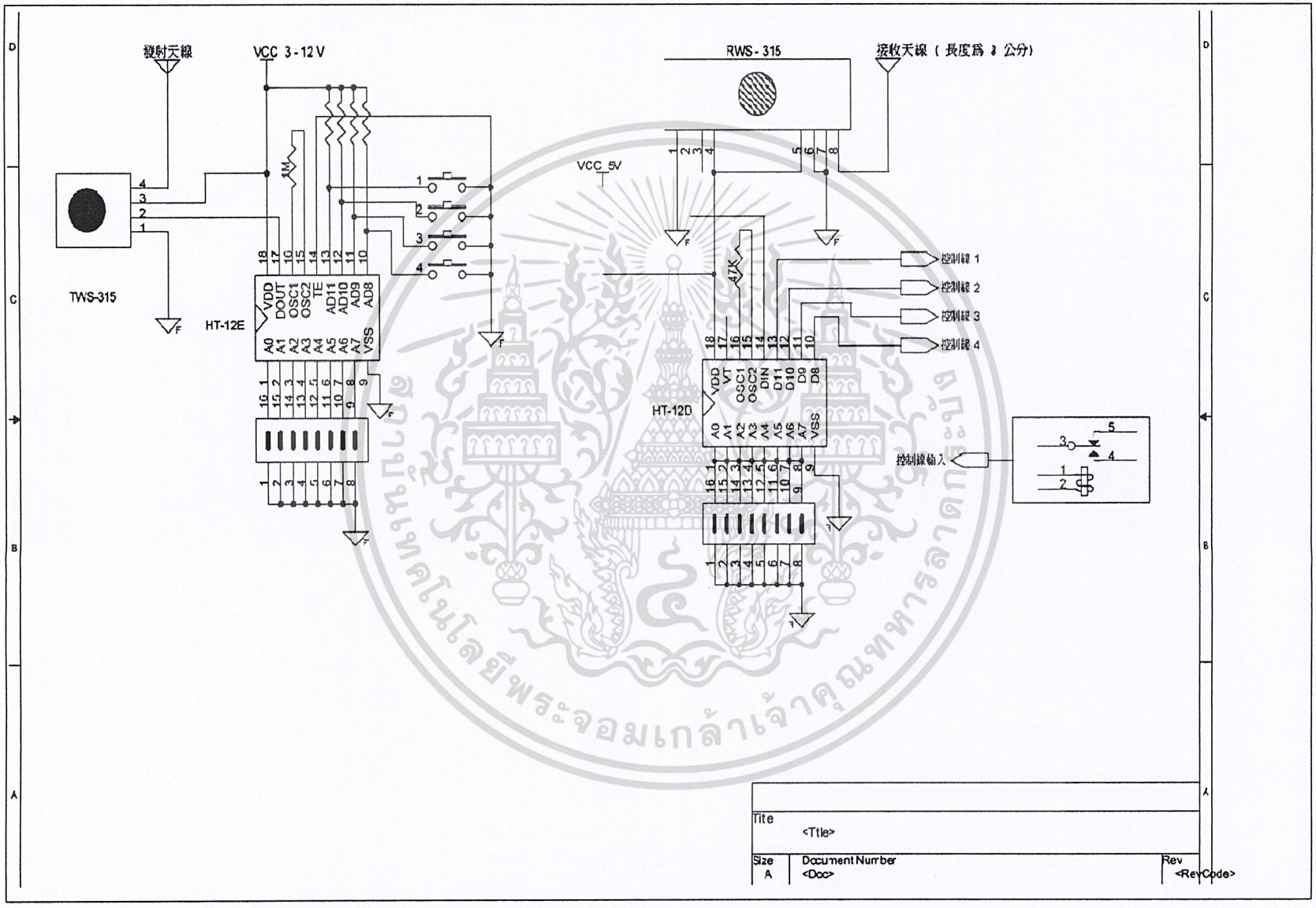
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Note:

TWS-BS UNIT:mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


發射天線
VCC 3-12 V
TWS-315
HT-12E
RWS-315
接收天線（長度爲 3 公分）
VCC 5V
HT-12D
控制線 1
控制線 2
控制線 3
控制線 4
控制線輸入
Title
<Title>
Size
A
Document Number
<Doc>
Rev
<RevCode>

เอกสารอ้างอิง

[1] ผศ.โอภาส ศิริครรชิตถาวร, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. เรียนรู้ระบบควบคุมอย่างง่ายด้วยโปรแกรมภาษา C กับ Arduino และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ POP-168.กรุงเทพ. อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์.

[2] พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. ทฤษฎีเครื่องรับวิทยุ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ. ส่งเสริมอาชีวะ,สนพ. ศูนย์.

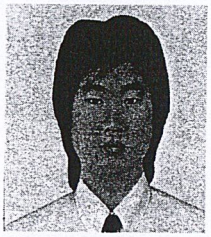
[3] วรวุฒิ ศรีทอง. " หลักการ เครื่องรับ-ส่งวิทยุ อย่างง่าย. " [Online]. Available : http://www.vcharkarn.com/vcafe/58456. 2007

[4] Saneengineer. " ไดโอด." [Online]. Available : http://www.saneengineer.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538961017&Ntype=66.

[5] Saneengineer. " รีเลย์." [Online]. Available : http://www.saneengineer.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538961013&Ntype=66.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายณัทภพ วัชรากรวุฒิ

เกิดวันที่ 16 สิงหาคม พ.ศ. 2531

ประวัติการศึกษา : สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาจากโรงเรียนอัสสัมชัญ สมุทรปราการ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2550

ที่อยู่ : 120/216 หมู่บ้านมณียาวิลย์ ถนนสุขุมวิท ซอย 101/1 แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพ 10260

เบอร์โทรศัพท์ : 08-0441-3235

อีเมล์ : Nuttaprop_me@hotmail.com

Facebook : -

ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม : Microsoft office , MATLAB , Protel 99 , Solid Work 2008 ,Visual Basic 6.0

ทักษะทางภาษาต่างประเทศ : ภาษาอังกฤษ

ฝึกงานที่ Sendai National College Of Technology (SNCT) ประเทศญี่ปุ่น ระหว่างเดือนเมษายน ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายถิรวุฒิ ก้อนจันต๊ะ

เกิดวันที่ 6 ธันวาคม พ.ศ.2531

ประวัติการศึกษา : สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาจากโรงเรียนเพชรพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมแมคาทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2550

ที่อยู่ : 665/30 ตำบลหนองไผ่ อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ 67140

เบอร์โทรศัพท์ : 08-9442-4544

อีเมล์ : Aroma_Koala@hotmail.com

Facebook : -

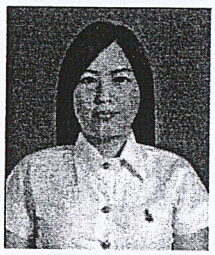
ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม : Microsoft office , MATLAB , Protel 99 , Solid Work 2008 , Auto CAD , CNC

ทักษะทางภาษาต่างประเทศ : ภาษาอังกฤษ

ฝึกงานที่บริษัท เบทาโกร เซฟตี้มีท แพ็คกิ้ง จำกัด ระหว่างเดือนเมษายน ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นางสาวปาริฉัตร ศรีปัญญา

เกิดวันที่ 26 ตุลาคม พ.ศ. 2530

ประวัติการศึกษา : สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาจากโรงเรียนนครสวรรค์ อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2550

ที่อยู่ : 10 ถนนเจริญผล อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร 66000

เบอร์โทรศัพท์ : 08-4045-6164

อีเมล์ : Eternity_1177@hotmail.com

Facebook : http://www.facebook.com/miharu1177

ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม : Microsoft office , PLC (OMRON) , Solid Work 2008 , Photoshop

ทักษะทางภาษาต่างประเทศ : ภาษาอังกฤษและภาษาญี่ปุ่นขั้นพื้นฐาน

ฝึกงานที่ Sendai National College of Technology (SNCT) ประเทศญี่ปุ่น ระหว่างเดือนเมษายน ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้