หุ่นยนต์อลวนหาจุดรั่วของก๊าซ

Gas Chaotic Sensor Robot

ณัฐภัทร วรประเสริฐศิลป์

NATHAPAT WORAPRASERTSILP

ณัฐพัชร์ กระดี่

NATTAPHAT KRADEE

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557

หุ่นยนต์อลวนหาจุดรั่วของก๊าซ

Gas Chaotic Sensor Robot

ณัฐภัทร วรประเสริฐศิลป์

NATHAPAT WORAPRASERTSILP

ณัฐพัชร์ กระดี่

NATTAPHAT KRADEE

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gas Chaotic Sensor Robot

Nathapat Woraprasertsilp

Nattaphat Kradee

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	หุ่นยนต์อลวนหาจุดรั่วของก๊าซ
Thesis Title	Gas Chaotic Sensor Robot
ชื่อนักศึกษา	นาย ณัฐภัทร วรประเสริฐศิลป์
	นาย ณัฐพัชร์ กระดี่
ระดับปริญญา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา	2557

(.....)

ผศ.ดร.กฤดากร กล่อมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	หุ่นยนต์อลวนหาจุดรั่วของก๊าซ
ชื่อนักศึกษา	นาย ณัฐภัทร วรประเสริฐศิลป์ รหัสนักศึกษา 54010443
	นาย ณัฐพัชร์ กระดี่ รหัสนักศึกษา 54010633
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. กฤดากร กล่อมการ
ระดับปริญญา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอ การขับเคลื่อนหุ่นยนต์โดยนำเอาสัญญาณอลวน (Chaotic) ที่ได้จากวงจรอนาล็อกมาประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์ตรวจหาจุดรั่วของก๊าซ เพื่อใช้เป็นหุ่นยนต์อลวนที่สามารถหาจุดรั่วของก๊าซได้ เพราะปัจจุบันนั้นไม่ค่อยมีการนำวงจรอลวนมาประยุกต์ใช้งานด้านสารสนเทศเท่าที่ควร

ด้วยเหตุนี้ทางเราจึงได้จัดทำโครงงานนี้ขึ้นเพื่อเป็นตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานวงจรอลวน เพื่อให้เข้าใจถึงประโยชน์ของวงจรอลวนเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้แล้ววงจรอลวนที่จัดทำขึ้นนั้น ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับหุ่นยนต์ประเภทต่างๆได้ เช่น หุ่นยนต์สำรวจพื้นที่ หุ่นยนต์สังเกตการณ์ หุ่นยนต์ทำความสะอาด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Gas Chaotic Sensor Robot	
Student	Mr. Nathapat Woraprasertsilp	ID. 54010443
	Mr. Nattaphat Kradee	ID. 54010633
Advisor	Asst.Prof.Dr. Kitdakorn Klomkarn	
Graduate Level	Bachelor Degree of Engineering	
Department	Information Engineering	
Academic Year	2014	

Abstract

This paper is represent how to operate Chaotic Robot by chaotic signal that response with gas leak point , because of nowaday there are not using chaotic circuit to apply to Information technology.

In addition to, this project hadhave many benefit to reproduce, chaotic circuit for taking advantage in a lot of kind of robot such as robotic space exploration, observation robot, cleaning robot.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ทางผู้จัดทำได้ทำจนประสบความสำเร็จขึ้นมาได้ เพราะได้รับความอนุเคราะห์ทางด้านต่างๆ ทั้งคำปรึกษาทางด้านวิชาการและคำแนะนำในการลงมือปฏิบัติงานรวมถึงการช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆจาก ผศ.ดร. กฤดากร กล่อมการ ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์มา ณ ที่นี้ด้วย

ทางผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อนๆวิศวกรรมสารสนเทศที่ได้ให้ความช่วยเหลือให้ความสนับสนุนคำแนะนำ เป็นผลทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นาย ณัฐภัทร วรประเสริฐศิลป์

นาย ณัฐพัชร์ กระดี่

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 1

1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 เคออติก 3

2.1.1 นิยามของเคออติก 3

2.1.2 คุณสมบัติของเคออส 4

2.1.3 ประโยชน์ของเคออส 5

2.1.4 ทฤษฎีของลอเรนซ์ 5

2.1.5 สมการลอเรนซ์ 7

2.2 วงจรขยาย 9

2.2.1 ตัวขยายสัญญาณเชิงดำเนินการ 9

2.2.2 หลักการพื้นฐานของออปแอมป์ 9

2.2.3 คุณลักษณะของออปแอมป์ในอุดมคติ 10

2.2.4 การใช้ออปแอมป์ในการขยายสัญญาณ 10

2.3 มอเตอร์ 15

2.3.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2 โครงสร้างและการทำงานพื้นฐาน 16
2.3.3 ทฤษฎีมอเตอร์กระแสตรง 16
2.4 ไดโอด 18
2.4.1 ชนิดของไดโอด 18
2.4.2 คุณสมบัติของไดโอด 19
2.4.3 ความต้านทานของตัวไดโอด 20
2.4.4 ความต่างศักย์คร่อมตัวไดโอดด้านไบแอสตรง 20
2.4.5 ความต่างศักย์คร่อมตัวไดโอดด้านไบแอสกลับ 20
2.4.6 คุณลักษณะสมบัติระหว่างความต่างศักย์และกระแสของโอด 21
2.5 สัญญาณคลื่นไซน์ 22
2.5.1 เฟสของสัญญาณ 23
2.5.2 โดเมนเวลาและโดเมนความถี่ 23
2.6 สัญญาณพัลส์ 25
2.6.1 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม 25
2.6.2 รูปคลื่นพัลส์ 25
2.6.3 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์ 26
2.6.4 สมการคลื่นพัลส์ในทางทฤษฎี 27
2.6.5 ความแตกต่างคลื่นพัลส์ในทางทฤษฎีและปฏิบัติ 27
2.7 ประวัติและความเป็นมาของเซ็นเซอร์ 28
2.8 นิยามของแก๊สเซ็นเซอร์ 29
2.9 เซ็นเซอร์รับกลิ่นในท้องตลาด 32
2.10 รายละเอียดเกี่ยวกับแก๊ส 34
2.10.1 แก๊สปิโตรเลียมเหลว 34
2.11 ตัวตรวจจับแก๊ส MQ-2 35
2.11.1 ลักษณะโครงสร้างของเซ็นเซอร์แก๊สแอลพีจี 35
2.11.2 ลักษณะเด่นของเซ็นเซอร์แก๊สแอลพีจี 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.11.3 ความไวต่อการตอบสนองสูงในการตรวจจับแก๊สแอลพีจี และส่วนประกอบก๊าซ 35
2.12 เซอร์โวมอเตอร์ 35
2.12.1 การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ 35
2.12.2 โครงสร้างการต่อ Servo SG-90 กับ Arduino 36
บทที่ 3 การสร้างวงจรและการออกแบบ 37
3.1 ภาพรวมของการทำงานทั้งหมด 37
3.2 วงจรรวมของหุ่นยนต์ 37
3.2.1 วงจรตรวจสอบแก๊ส 37
3.2.2 วงจรขับมอเตอร์ 38
3.2.3 วงจรตรวจจับและวัดระยะทาง 39
3.2.4 วงจรเซอร์โวมอเตอร์ 39
3.2.5 การสร้างเคออสแบบวงจรอนาล็อก 40
บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลการทดลอง 40
4.1 วิธีการทดลอง 41
4.1.1 ทดสอบวงจร mq-2 gas sensor 41
4.1.2 ทดสอบวงจรเคออส 41
4.1.3 ทดสอบวงจรตรวจจับและวัดระยะทาง 42
4.2 ผลการทดลอง 43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 47
5.1 สรุปผลการทดลอง 47
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน 47
5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา 48
บรรณานุกรม 49
ภาคผนวก 50
ภาคผนวก ก รายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ 51
ภาคผนวก ข โค้ดที่เกี่ยวข้อง 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตารางพฤติกรรมต่างๆของระบบเคออส 7

2.2 ตารางเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของไดโอดเมื่อไบแอสตรงและไบแอสกลับ 19

2.3 ตารางแสดงตัวอย่างชนิดของเซ็นเซอร์และวัสดุที่ใช้ทำเซ็นเซอร์ 31

2.4 ตารางแสดงเทคโนโลยีของเซ็นเซอร์ประเภทต่างๆ 32

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 สัญญาณเคออสที่สร้างจากสมการ Lorenz 6

2.2 สัญญาณเคออสจากสมการ Lorenz ในลักษณะ 3 มิติ 8

2.3 สัญญาณเคออสจากสมการ Lorenz ในลักษณะ 2 มิติ ระหว่างระนาบต่างๆ 8

2.4 สัญลักษณ์ของออปแอมป์ 10

2.5 วงจรป้อนกลับ 11

2.6 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับขั้วสัญญาณ 11

2.7 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบง่าย 12

2.8 วงจรอินทิเกรเตอร์ 12

2.9 การป้อนสัญญาณที่ขั้วบวกและป้อนสัญญาณที่ขั้วลบ 13

2.10 การป้อนสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณที่เป็นอิสระต่อกันให้กับออปแอมป์ 13

2.11 การป้อนสัญญาณอินพุตร่วมให้กับขั้วอินพุตทั้งสองของออปแอมป์ 13

2.12 การขยายผลต่างของอินพุตทั้งสองค่าของออปแอมป์ 14

2.13 วงจรที่นำมาขยายสัญญาณอลวน 14

2.14 การหมุนของมอเตอร์ในทิศทางเมื่อขั้วไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ 17

2.15 ไดโอดแบบจุดสัมผัส 18

2.16 ไดโอดแบบหัวต่อหัว 18

2.17 สัญลักษณ์ไดโอดในการต่อวงจร 19

2.18 ลักษณะสมบัติของไดโอดอุดมคติ 19

2.19 การไหลของกระแสในไดโอด 20

2.20 สัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด 21

2.21 คลื่นสัญญาณไซน์ 22

2.22 ความเร็วเชิงมุม 23

2.23 สัญญาณไซน์ซึ่งมีเฟสเลื่อนไป 0 องศา 90 องศาและ 180 องศา 23

2.24 โดเมนเวลาของสัญญาณทั้งสองที่ความเข้มและความถี่ต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา 24

2.25 โดเมนเวลาเทียบกับโดเมนความถี่ของสัญญาณทั้งสองที่ความถี่แตกต่างกัน 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมหลายๆประเภท ไม่ว่าจะเป็นโรงงานผลิตน้ำมัน โรงกลั่นน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติ โรงงานเคมี โรงงานปิโตรเคมี โรงงานผลิตรถยนต์ ล้วนแต่มีโอกาสที่จะสัมผัสกับก๊าซภายในอากาศและไอระเหยที่เป็นอันตราย ซึ่งผู้ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายนั้นคือผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ในโรงงานนั้นเอง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีอุปกรณ์ในการตรวจจับก๊าซที่เป็นอันตรายในขณะปฏิบัติงาน เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานในโรงงานมั่นใจว่าพื้นที่ในการปฏิบัติงานมีความปลอดภัย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับทฤษฎีอลวน ซึ่งสามารถนำมาปรับใช้กับตัวหุ่นยนต์ตรวจสอบก๊าซ เพื่อนำมาทำเป็นหุ่นยนต์อลวนซึ่งสามารถตรวจสอบจุดที่รั่วไหลของก๊าซในโรงงานนั้นได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากกับโรงงานที่เกี่ยวกับสารเคมี หรือโรงงานที่เกี่ยวกับก๊าซต่างๆ ซึ่งตัวหุ่นยนต์อลวนตรวจสอบก๊าซนั้นจะช่วยลดอันตรายที่เกิดจากการรั่วไหลของก๊าซต่างๆในโรงงานได้ เพราะจะทำให้เรารู้ว่าเริ่มมีก๊าซรั่วไหล ณ จุดใด ทำให้สามารถแก้ไขสถานการณ์ได้ทันก่อนที่จะเกิดอันตราย

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

- Gas Chaotic Sensor Robot สามารถเคลื่อนที่แบบอลวนเพื่อตรวจสอบก๊าซ LPG ได้
- Gas Chaotic Sensor Robot สามารถป้องกันการชนกับสิ่งกีดขวางได้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ศึกษาเกี่ยวกับวงจรอนาล็อก และการออกแบบวงจร
- ได้เรียนรู้เกี่ยวกับการทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจสอบก๊าซ LPG
- ได้เรียนรู้เกี่ยวกับการทำงานของวงจรอลวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถตรวจจับปริมาณก๊าซ LPG ที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหล ณ จุดต่างที่หุ่นยนต์ตรวจสอบก๊าซทำงานอยู่
- สามารถใช้เครื่องตรวจจับ ที่สร้างมาเพื่อลดอันตรายและเตือนถึงภัยที่อาจเกิดขึ้นได้
- เพื่อส่งเสริมให้บุคคลทั่วไปสนใจในการทาหุ่นยนต์ที่มาจากวงจรอนาล็อก

1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้

Software

- โปรแกรม Pspice

Hardware

- IC 7805
- ล้อ 2 ชุด
- มอเตอร์ 12 V 2 ตัว
- แบตเตอร์รี่ 12 V 1.3 amp 1 ก้อน
- แผงวงจร 4 แผง
- ฮีตซิงก์ 8 ตัว
- อุปกรณ์ขยายสัญญาณ LF 351 8 ตัว
- ไดโอด D1N914 5ตัว
- ตัวต้านทาน 1kΩ 10kΩ 120kΩ 1000kΩ
- ตัวเก็บประจุ 22nF 220nF 390nF 470nF 1uF 10uF
- ทรานซิสเตอร์ TIP41 TIP42
- ออสซิโลสโคป
- โวลต์มิเตอร์
- พาวเวอร์ซัพไพล์ 12 V
- มอเตอร์กระแสตรง
- แก๊สเซนเซอร์ MQ-2
- ออปแอมป์ (LF411)
- อัลตร้าโซนิกเซนเซอร์
- เซอร์โวมอเตอร์
- คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เคออติก

2.1.1 นิยามของเคออติก

ทฤษฎีอลวนคือการศึกษาในทางคณิตศาสตร์ที่นำมาประยุกต์เข้าวิชาหลากหลายแขนงอาทิ เช่น ฟิสิกส์, วิศวกรรม, เศรษฐศาสตร์, ชีวภาพเป็นต้น ทฤษฎีอลวนศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของระบบที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูงในเงื่อนไขขั้นต้นหรือระบบที่รู้จักกันในชื่อปรากฏการณ์ผีเสื้อ (Butterfly Effect) กล่าวคือถ้าระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของเงื่อนไขเริ่มต้นจะส่งผลกระทบต่อเอาท์พุตอย่างมากส่งผลให้ยากต่อการคาดเดาในระยะยาวปรากฏการณ์นี้อาจเกิดได้แม้แต่กับระบบที่มีการกำหนดค่า (deterministic) หรือไม่มีค่าสุ่มมาเกี่ยวข้องเอาไว้นั้นหมายความว่าพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในอนาคตในถูกกำหนดโดยค่าอินพุตที่มีการเปลี่ยนตั้งแต่เริ่มต้นโดยไม่มีปัจจัยสุ่มมาเกี่ยวข้องหรือกล่าวได้ว่าระบบที่เกิดปรากฏการณ์นี้ไม่อาจสามารถคาดเดาได้ พฤติกรรมเหล่านี้อาจเรียกได้ว่า simple chaos หรือ deterministic chaos พฤติกรรมแบบอลวน (chaotic behavior) เป็นพฤติกรรมที่ดูไร้ระเบียบที่ดูเหมือนว่าเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแบบเชิงสุ่ม (random) แต่ deterministic ที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งที่แท้จริงแล้วแฝงไว้ด้วยระเบียบ

ระบบที่ประพฤติตัวแบบเคออติกจะไวต่อเปลี่ยนแปลงของเงื่อนไขเริ่มต้น (sensitively dependention initial condition) ทำให้ไม่สามารถทำนายได้ในระยะยาว(long-term unpredictable) โดยความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยที่เกิดขึ้นจากการวัดเงื่อนไขเริ่มต้นจะเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียลเมื่อเวลาผ่านไปและจากหลักการความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก ทำให้เราไม่สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ทุกตัวได้อย่างแม่นยำได้ เพราะการให้ความแม่นยำอย่างหนึ่งมากจะให้ความไม่แน่นอนในอีกอย่างหนึ่ง และถึงแม้ตัวแปรที่อธิบายระบบของเรามีเพียงตัวแปรเดียว ความแม่นยำของค่าที่วัดได้จะจากัดอยู่ค่าหนึ่ง ความไม่แน่นอนที่เหลือจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งทำให้เลขนัยสำคัญที่เกิดขึ้นมีมากจนเราไม่สามารถทำนายอะไรได้เลย ดังนั้นเคออสจึงเกิดขึ้นได้ทั้งในทางทฤษฎีและในทางปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระบบที่เป็นเชิงเส้น จะเกิดความคลาดเคลื่อนเมื่อเวลาผ่านไป เป็นสัดส่วนกับความคลาดเคลื่อนเริ่มแรก เนื่องจากความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นพฤติกรรมแบบอลวน จึงไม่มีในระบบเชิงเส้น เคออสเกิดขึ้นได้เฉพาะระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) แต่ไม่ใช่ว่าระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นจะเกิดความอลวนเสมอไป จะมีช่วงพารามิเตอร์ที่ทาให้ระบบประพฤติตัวแบบอลวน แต่ระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นบางระบบก็เป็นเคออสตลอดเวลา

จุดที่เป็นประเด็นสำคัญอีกอย่างหนึ่งในทฤษฎีเคออส คือความอ่อนไหวอย่างสูงของเงื่อนไขเริ่มต้นกับ Principle of weak ที่ถือว่าสาเหตุเบื้องต้นเพียงนิดเดียว สามารถก่อให้เกิดผลกระทบได้มาก

2.1.2 คุณสมบัติของเคออส

1. มีคุณสมบัติแบบไม่เชิงเส้น โดยที่ฟังก์ชันของเชิงเส้นนั้นคือ $f(x+y) = f(x) + f(y)$ นั่นคือในระบบไม่เป็นเชิงเส้นจะมีผลลัพธ์ของระบบทั้งหมดไม่เท่ากับผลรวมที่เกิดจากส่วนย่อยๆรวมกันโดยอาจจะมากหรือน้อยกว่าก็ได้ แต่มีข้อสังเกตุคือระบบไม่เชิงเส้นทุกระบบนั้นไม่จำเป็นเสมอไปว่าจะเป็นระบบเคออสเสมอไป

2. ระบบไม่ได้เกิดแบบสุ่ม คือในระบบเคออส พฤติกรรมทั้งหลายเกิดขึ้นภายใต้กฎเกณฑ์ที่แน่นอน เหตุการณ์ที่ไม่สามารถทำนายล่วงหน้าแบบการทอยลูกเต๋าหรือการโยนเหรียญ จะไม่เป็นเคออสเพราะเกิดจากการสุ่ม ฉะนั้นจึงกล่าวได้ว่าเคออสนั้นเป็น deterministic ไม่ใช่ probabilistic

3. ระบบจะไวต่อสภาวะเริ่มต้น (sensitivity of initial conditions) การเริ่มต้นที่เงื่อนไขต่างกันนิดเดียวอาจทำให้ผลในตอนสุดท้ายแตกต่างกันมาก สาเหตุที่ระบบเคออสไวต่อสภาวะเริ่มต้นก็เพราะว่ามันจะขยายความแตกต่างของเงื่อนไขเริ่มต้นและผลลัพธ์ให้เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเพราะความแตกต่างเมื่อเทียบกับเวลาแล้วมีค่าแบบเอกซ์โพเนนเชียล

4. ไม่สามารถทำนายล่วงหน้าในระยะยาวได้ (long-term prediction is impossible) ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องจากข้อที่ 3 เพราะการที่ไวต่อสภาวะเริ่มต้นจะทำให้เราไม่รู้ว่า ระบบที่เราสังเกตการณ์อยู่จะเป็นอย่างไรในระยะยาว บางทีเราไม่สามารถทำนายในระยะสั้น ได้เช่นกัน

5. ระบบที่เป็นเคออสนั่นมักมีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบแฟรกทัล (fractal) เมื่อเราพล็อตเส้นทางการเคลื่อนที่นี้จะพบว่าถ้าเราสังเกตเส้นทางการจากสเกลเล็กหรือใหญ่เพียงใดลักษณะเส้นทางก็จะเหมือนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ประโยชน์ของเคออส

1. ใช้ในการสร้างระบบเคออส โดยในการทำงานบางอย่างนั้นการใช้เคออสเข้ามาช่วยจะทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่า อย่างเช่นหุ่นยนต์ที่มีระบบเคออสหาทุ่นระเบิดที่สามารถค้นหาครอบคลุมพื้นที่และยังลดความเสี่ยงของนักกู้ระเบิดได้อีกด้วยและในกรณีของเครื่องล้างจานที่ใช้เคออสสามารถล้างจานได้สะอาดและประหยัดน้ำกว่าเครื่องล้างจานแบบที่ไม่เป็นเคออส

2. ใช้ในการวิเคราะห์ระบบและทำนายอนาคต ถึงแม้ว่าการทำนายระบบเคออสนั่นจะไม่สามารถทำนายในระยะยาวได้ แต่ว่าเราสามารถทำนายระบบเคออสในช่วงหนึ่งหรือระยะสั้นได้ หากเราหาโมเดลที่มาอธิบายพฤติกรรมของระบบนั้นและทราบสภาวะเริ่มต้นได้อย่างแม่นยำ

3. ใช้ในการควบคุม-สร้างความเสถียรให้กับระบบ เนื่องจากสภาวะเริ่มต้นของเคออสนั่นมีความสำคัญต่อระบบเคออสอย่างมาก การรบกวนเพียงเล็กน้อยอาจก่อให้เกิดผลขยายได้มาก โดยในงานควบคุมของวิศวกรนั่นวิศวกรต้องคอยควบคุมระบบโดยที่อาจเติมสัญญาณรบกวนที่เหมาะสมสู่ระบบเคออส ส่งผลให้ควบคุมระบบให้เกิดประสิทธิภาพและเสถียรภาพ

4.ระบบเคออสนั้นสามารถประยุกต์เข้ากับหลายสาขาวิชาเช่น การใช้สัญญาณเคออสในการเข้ารหัสข้อมูล หรือว่าการเข้ารหัสรูปภาพได้ เป็นต้น

2.1.4 ทฤษฎีของลอเรนซ์ (Lorenz's Theory)

จากความก้าวหน้าของการประดิษฐ์เครื่องคอมพิวเตอร์ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่สำคัญคือ Edward Lorenz แห่งสถาบัน MIT เมื่อกลางทศวรรษที่ 60 อาจารย์ด้านอุตุนิยมวิทยา (meteoro logy) ผู้นี้พยายามสร้างโมเดลการคำนวณในการพยากรณ์อากาศโดยใช้สมการง่ายๆ แสดงการปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกระแสลม เขาป้อนข้อมูลที่จุดทศนิยม 6 หลัก คือ 0.506127 เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งพิมพ์ผลออกมาทุกๆนาที ด้วยความเบื่อหน่ายที่ต้องนั่งคอยผลลัพธ์นานๆ เพราะคอมพิวเตอร์ยุคนั้นทำงานช้า Lorenz จึงตัดตัวเลขหลังจุดทศนิยมออกไปเสีย 3 หลัก ให้เหลือ 0.506 Lorenz เอาผลลัพธ์จากระยะหนึ่งมาเป็นจุดเริ่มต้นของการคำนวณ แล้วเริ่มต้นโปรแกรมใหม่ ผลของการคำนวณระยะแรกเหมือนกับการทดลองเก่าๆ ที่เคยทำมาครั้งแล้วครั้งเล่า หลังจากลุกไปชงกาแฟแล้วกลับมาดูตัวเลขใหม่ ปรากฏว่าผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีความแตกต่างกันสิ้นเชิง โมเดลของดินฟ้าอากาศไปกันคนละทาง

Lorenz คิดว่าเครื่องคอมพิวเตอร์คงจะมีอะไรผิดพลาด จึงทดลองซ้ำอีก ผลคำนวณยังคงยืนยันค่าความแตกต่างเหมือนครั้งแรก เมื่อทดลองต่อไปอีกสองสามครั้ง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ก็ยำถึงความถูกต้องของคอมพิวเตอร์ จนในที่สุดเขาก็ได้รู้ว่าความแตกต่างของโมเดลนั้นมาจากการลดตัวเลข 3 หลักหลังจุดทศนิยมซึ่งเป็น “เงื่อนไขเบื้องต้น” (initial condition) ในการคำนวณ เพราะความต่างของตัวเลขหลังจุดทศนิยมเพียงน้อยนิด ในเหตุเบื้องต้นคือ 1 : 1,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดเป็นผลลัพธ์ที่ต่างออกไปจากจุดเริ่มต้นจำนวนมหาศาลอย่างไม่น่าเชื่อถือ เปรียบเสมือนการไหวตัวของกระแสลมเบาๆที่มาจากการกระพือปีกผีเสื้อแต่กลับกลายไปสร้างผลกระทบใหญ่หลวงทางดินฟ้าอากาศได้ Lorenz ขึงขนานนามว่าเป็น “ผลกระทบผีเสื้อ” (Butterfly effect) ซึ่งกลายเป็นถ้อยคำที่โด่งดังไปทั่วโลก

ในที่สุดเขาก็สรุปว่ากาลดตัวเลขขนาด 3 หลักหลังจุดทศนิยมซึ่งเป็นเงื่อนไขเบื้องต้นในการคำนวณทำให้เกิดผลลัพธ์ที่แตกต่างกันไปจากจุดเริ่มต้นจำนวนมหาศาลอย่างไม่น่าเชื่อถือ โดยสมการของลอเรนซ์ เป็นดังนี้

$$\frac{dX}{dt} = \sigma(y - x) \qquad (2.1)$$

$$\frac{dY}{dt} = rx - y - xz \qquad (2.2)$$

$$\frac{dZ}{dt} = xy - bz \qquad (2.3)$$

รูปที่ 2.1 สัญญาณเคออสที่สร้างจากสมการ Lorenz

เมื่อ a,b และ c เป็นค่าคงที่ และสำหรับ a = 10, c = 8/3 เมื่อมีการเปลี่ยนค่า b จะทำให้เกิดพฤติกรรมต่างๆ ตามตารางที่ 2-1 โดยที่ลอเรนซ์ พบว่าระบบจะเกิดพฤติกรรมไร้ระเบียบเมื่อ b มีค่ามากกว่า 24.74 และผลที่ได้แตกต่างกันไปขึ้นกับเงื่อนไขเริ่มต้นและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จากเหตุการณ์ดังกล่าวกระตุ้นให้นักวิจัยหลายท่านหันมาวิจัยทฤษฎีไร้ระเบียบมากขึ้น ทั้งที่นำสมการของลอเรนซ์มาศึกษาต่อและปรับเข้ากับงานของตนหรือคิดค้นระบบไร้ระเบียบใหม่ ในงานที่ตนเองเกียวข้องอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 พฤติกรรมต่างๆของระบบเมื่อ a = 10, c = 8/3 และค่า b มีการเปลี่ยนค่าในช่วงต่างๆกันมีผลลัพธ์ในแต่ละช่วงดังต่อไปนี้

b	Attractor
B < 1.00	-มีจุดสมดุลเสถียรที่จุดกำเนิด [0,0,0]
1.00 < b < 13.93	-มีจุดสมดุลเสถียรเกิดขึ้นใหม่ 2 จุด ในขณะที่จุดกำเนิด [0,0,0] กลายเป็นจุดสมดุลไม่เสถียรเกิดพฤติกรรมไร้ระเบียบชั่วคราว
13.93 ≤ b ≤ 24.74	
B > 24.74	-เกิดพฤติกรรมไร้ระเบียบ

ศาสตราจารย์ Lorenz กล่าวว่า "ในทางทฤษฎีด้านอุตุนิยมวิทยา ผีเสื้อใหญ่ตัวหนึ่งกระพือปีกที่ฮ่องกง สามารถทำให้ดินฟ้าอากาศที่แคลิฟอร์เนียเปลี่ยนแปลงเป็นพายุได้เมื่อหนึ่งเดือนให้หลัง" ทฤษฎีไร้ระเบียบอกจากพูดถึงความสำคัญของการเปลี่ยนแปลงของสาเหตุเบื้องต้นแล้วยังพูดถึงเรขาคณิตเศษส่วน (fractal geometry)

คุณสมบัติสำคัญของ fractal หรือเศษส่วนไม่รู้จบ คือ "ความคล้ายตนเอง" (self-similarity) นั่นคือโครงสร้างของเศษส่วนที่ขยายตัวออกไปอย่างไม่สิ้นสุด ไม่ว่าในมิติทางกาล(time) หรือมิติทางเทศะ (space) ล้วนแล้วแต่มีรูปร่างคล้ายคลึงซ้ำกับรูปแบบอันแรก อันเป็นแม่แบบของมัน

Benoit Mandelbrot ผู้คนคว้าทฤษฎีไร้ระเบียบทางคณิตศาสตร์ สรุปความเชื่อมโยงแนบแน่นระหว่างคณิตศาสตร์เศษส่วนกับทฤษฎีไร้ระเบียบไว้ดังนี้

"ความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างที่เป็นเศษส่วน (fractal) กับระบบที่ไร้ระเบียบ (Chaotic system) เกิดจากคุณสมบัติที่ว่า การเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นค่าเริ่มต้น ประกอบกับการพัฒนาลักษณะพลวัตอันซับซ้อนและกลับไปกลับมา ทำให้เศษส่วนแต่ละอันจึงไม่เหมือนกันร้อยเปอร์เซ็นต์ แต่ละภาพจะมีความคลาดเคลื่อนไปบ้างย้อมต่างกันไป เป็นสิ่งที่ทฤษฎีไร้ระเบียบพยายามตอบคำถามว่าทำไมเกล็ดหิมะแต่ละเกล็ดที่โปรยปรายลงมา จึงมีความแตกต่างไปเล็กน้อย ก็เนื่องจากว่าผลรวมของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเกล็ดแต่ละเกล็ดต่างกัน"

2.1.5 สมการของลอเรนซ์ (Lorenz Equation)

สมการลอเรนซ์เป็นสมการเชิงอนุพันธ์ (Different Equation) เป็นระบบพลวัตไม่เป็นเชิงเส้น 3 มิติ ทฤษฎีดังกล่าวใช้อธิบายการเคลื่อนตัวของก๊าซและของเหลว สมการที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ Lorenz Attractor เขียนอยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์เชิงอนุพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

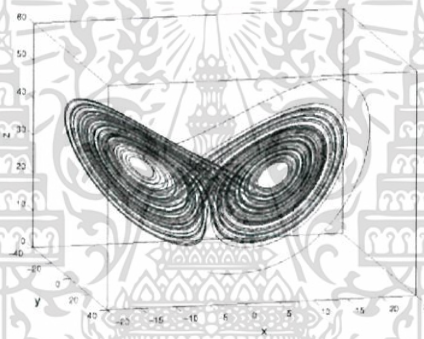
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dX}{dt} = \sigma(y - x) \tag{2.1}$$

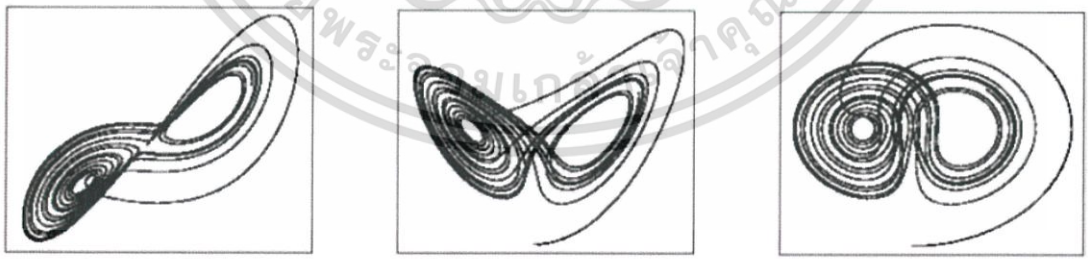
$$\frac{dY}{dt} = rx - y - xz \tag{2.2}$$

$$\frac{dZ}{dt} = xy - bz \tag{2.3}$$

σ คือค่าอัตราส่วนระหว่างแรงต้านของของเหลวและแรงดันของก๊าซหรือของเหลว , ρ คือค่าความต่างของอุณหภูมิระหว่างช่วงบนสุดกับล่างสุดของตัวกลาง และ β คืออัตราส่วนระหว่างความกว้างกับความยาวของภาชนะที่ใช้บรรจุ เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า The Butterfly effect เนื่องด้วยลักษณะการกระจายตัวของค่าที่ได้มีลักษณะคล้ายกับปีกผีเสื้อ ถ้าเราเปลี่ยนแปลงค่า σ, ρ หรือ β เพียงตัวเดียว ถึงแม้ว่าจะเป็นเพียงเล็กน้อยก็ตาม ผลลัพธ์ที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมโดยสิ้นเชิง จากสมการของ Lorenz เมื่อพล็อตความสัมพันธ์ลงบนแกน X,Y,Z จะได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สัญญาณเคออสจากสมการ Lorenz ในลักษณะ 3 มิติ



(a) (b) (c)

รูปที่ 2.3 สัญญาณเคออสจากสมการ Lorenz ในลักษณะ 2 มิติ ระหว่างระนาบต่างๆ
(a) ระนาบ x,y (b) ระนาบ x,z (c) ระนาบ y,z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วงจรขยาย

ในวงจรขยายทั่วไปนั้นมักมีอุปกรณ์ที่เรียกกว่า Operational Amplifier หรือเรียกสั้นๆว่า ออปแอมป์ (Op-amp) ซึ่งออปแอมป์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ เนื่องจากออปแอมป์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับวงจรแต่งสัญญาณ ซึ่งเป็นตัวกลางในการดำเนินการสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าซึ่งในทฤษฎีจะกล่าวถึงอุปกรณ์ออปแอมป์บางตัวที่ใช้ในการออกแบบวงจร

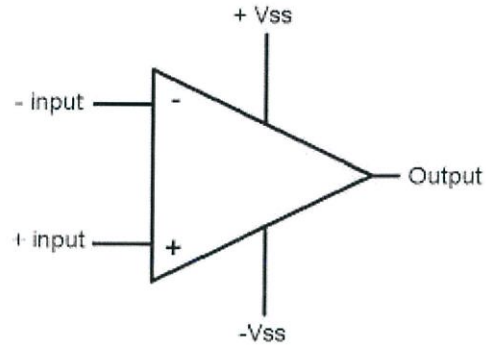
2.2.1 ตัวขยายสัญญาณเชิงดำเนินการ

ตัวขยายสัญญาณเชิงดำเนินการ (Operational Amplifier) หรือเรียกสั้นๆว่าออปแอมป์ (Op-amp) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่มีอัตราขยายสูง โดยออปแอมป์ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแสดงสูตรคณิตศาสตร์ในรูปแบบของวงจรคอมพิวเตอร์อนาล็อก ซึ่ง ณ ปัจจุบันวงจรได้ใช้เทคโนโลยีวงจรอินทิเกรเตอร์ ดังนั้นวงจรจึงประกอบไปด้วยออปแอมป์หลายๆ ตัว ด้วยส่วนประกอบที่ถูกต้องออปแอมป์สามารถแสดงประสิทธิภาพได้หลากหลาย ออปแอมป์สามารถขยายสัญญาณอินพุตโดยให้มีค่าเป็นบวกหรือลบได้ โดยที่วงจรออปแอมป์สามารถแบ่งได้เป็น amplifiers summers integrators และ differentiators ยังสามารถเป็นตัวกรองคลื่นความถี่ ตัวแปลงค่ากระแส – ค่าความต่างศักย์, ตัวแปลงค่าความต่างศักย์ – ค่ากระแส, คอมพาราเตอร์ เป็นต้น

2.2.2 หลักการพื้นฐานของออปแอมป์

ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอัตราการขยายและอิมพิแดนซ์ อินพุต Z_i หรือ R_i สูงมาก และมีอินพิแดนซ์เอาท์พุต Z_o หรือ R_o ต่ำมาก ถ้าจ่ายสัญญาณอินพุตให้ขั้วบวกของออปแอมป์จะได้สัญญาณเอาท์พุตมีมุมที่อินเฟสกับสัญญาณอินพุต แต่ถ้าจ่ายสัญญาณอินพุตให้กับขั้วลบของออปแอมป์จะได้สัญญาณเอาท์พุตมีมุมที่ต่างเฟสกับสัญญาณอินพุต 180 องศาหรือมุมตรงข้ามกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 สัญลักษณ์ของออปแอมป์

2.2.3 คุณลักษณะของออปแอมป์ในอุดมคติ

1. อัตราขยายของออปแอมป์แบบลูปเปิดมีค่าสูงมากจนเป็นอนันต์ AV = infinity
2. Z_{in} มีค่าสูงมากจนถือได้ว่าเป็น infinity
3. Z_{out} มีค่าต่ำมากจนถือได้ว่าเป็น 0
4. อัตราขยายของออปแอมป์ไม่ขึ้นอยู่กับความถี่
5. เมื่อ V_{in} = 0 จะได้ V_{out} เป็น 0 ด้วย

จากคุณสมบัติดังกล่าวแล้ว มีผลสืบเนื่องดังนี้

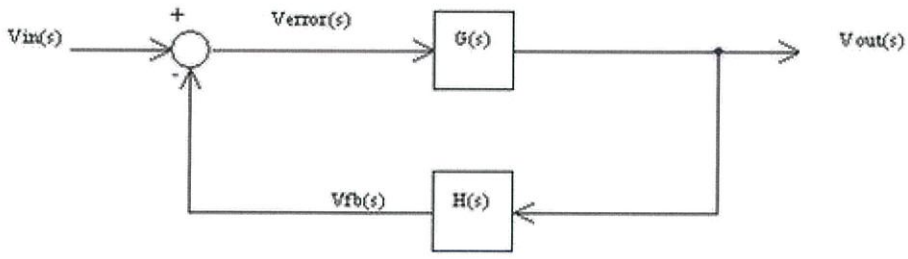
1. i_{in} = 0 เนื่องด้วย Z_{in} สูงมาก
2. ความต่างศักย์ระหว่างขั้วอินพุตทั้งสองของออปแอมป์เป็น 0 เนื่องจาก i_{in}, Z_{in} = 0

2.2.4 การใช้ออปแอมป์ในการขยายสัญญาณ

2.2.4.1 ทฤษฎีการป้อนกลับ

เป็นการป้อนสัญญาณจากเอาท์พุตกลับมาทางอินพุตอีกครั้ง ซึ่งจะมีสองแบบคือ ป้อนกลับแบบกลับมาเสริมกับอินพุต (Positive feedback) หรือ ป้อนกลับแบบมาหักล้างกับอินพุต (Negative Feedback)

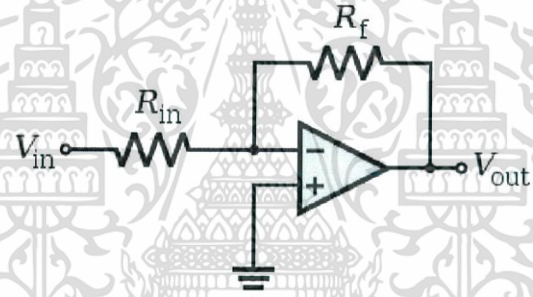
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 วงจรป้อนกลับ

2.2.4.2 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับขั้วสัญญาณ

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับขั้วสัญญาณ (Inverting Amplifier) ความต่างศักย์ระหว่าง $V_{in}+$ และ $V_{in}- = 0$ ดังนั้นความต่างศักย์เข้า $V_{in}- = 0$ กระแสย่าน R_i และ R_f มีค่า i



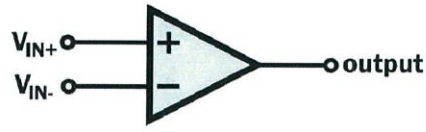
รูปที่ 2.6 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับขั้วสัญญาณ

2.2.4.3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณหรือเรียกสั้นๆว่า คอมพาราเตอร์ (Comparator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ออปแอมป์ทำการเปรียบเทียบระหว่างความต่างศักย์โดยทาการอินพุต 2 สัญญาณที่มีค่าความต่างศักย์เป็นบวกและค่าความต่างศักย์เป็นลบ และเอาท์พุตที่ได้มีเพียงสัญญาณเดียวเป็นค่าไบนารี่ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อบ่งชี้ว่าสัญญาณใดมีค่าที่มากกว่า

ซึ่งส่วนใหญ่อุปกรณ์นี้มักจะใช้ในการวัดสัญญาณหรือว่าแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลเช่น analog-to-digital converters (ADCs) เป็นต้น

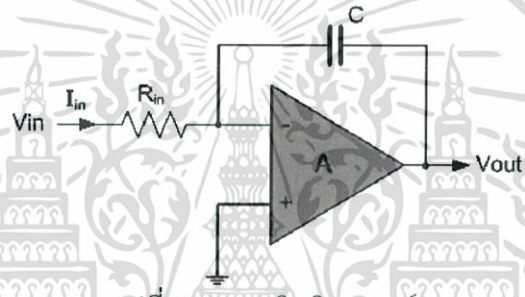
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบง่าย

2.2.4.4 วงจรอินทิเกรเตอร์

เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีพื้นฐานมาจากออปแอมป์ วงจรอินทิเกรเตอร์สามารถแสดงแทนสูตรทางคณิตศาสตร์ของการอินทิเกรตที่เทียบกับเวลา โดยที่วงจรอินทิเกรเตอร์มีความต่างศักย์อินพุตเข้าผ่านค่า R และมีค่า C เป็นตัวป้อนสัญญาณเอาท์พุตกลับ

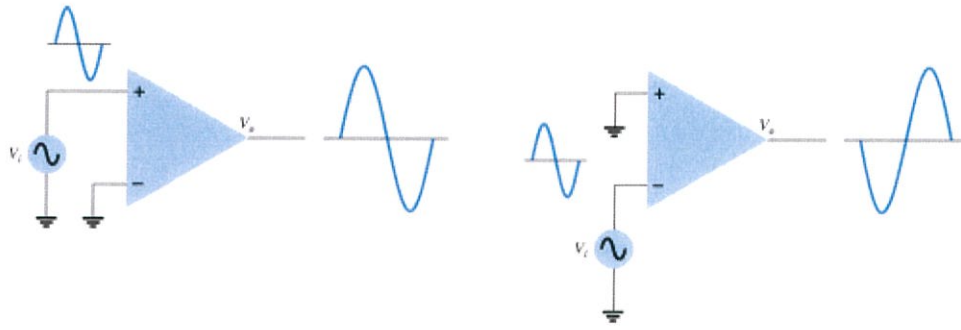


รูปที่ 2.8 วงจรอินทิเกรเตอร์

2.2.4.5 การทำงานที่อินพุตด้านเดียว

การทำงานที่อินพุตด้านเดียว (Single Ended Input) คือการป้อนสัญญาณอินพุตที่ขั้วใดขั้วหนึ่ง ส่วนขั้วอินพุตที่เหลือต่อลงกราวด์ ถ้าป้อนสัญญาณอินพุตที่ขั้วบวกและต่อขั้วลบลงกราวด์ สัญญาณเอาท์พุตที่ได้รับการขยายกับสัญญาณอินพุตจะมีมุมอินเฟสกัน ดังรูป ในทางตรงข้ามถ้าป้อนสัญญาณอินพุตที่ขั้วลบและต่อขั้วบวกลงกราวด์จะได้รับสัญญาณที่มีมุมต่างเฟสกับสัญญาณอินพุต 180 องศา ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

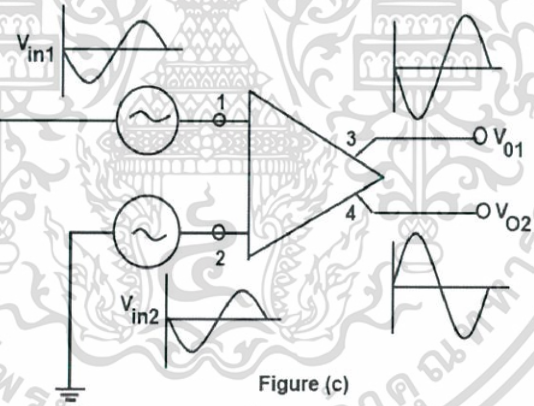


(a) (b)

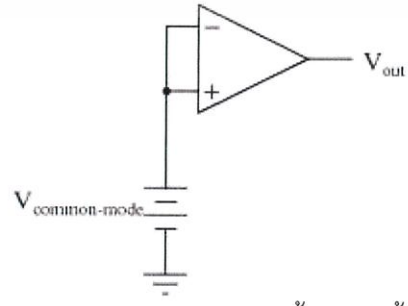
รูปที่ 2.9 การป้อนสัญญาณที่ขั้วบวกและป้อนสัญญาณที่ขั้วลบ

2.2.4.6 การทำงานที่อินพุตสองด้าน

การทำงานที่อินพุตสองด้าน (Double Ended Input) คือการป้อนสัญญาณอินพุตทั้งสองด้าน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 อย่างคือแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential) และแบบโหมดร่วม (Common Mode) การทางานแบบดิฟเฟอเรนเชียล คือการป้อนกันสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณที่เป็นอิสระต่อกัน ให้กับขั้วอินพุตทั้ง 2 และ การทำงานแบบโหมดร่วม คือ การป้อนสัญญาณอินพุตร่วมให้กับขั้วทั้งสอง ของออปแอมป์ดังรูป ดังที่ได้ตามรูป



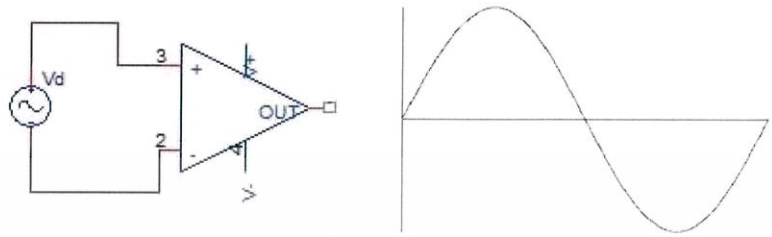
รูปที่ 2.10 การป้อนสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณที่เป็นอิสระต่อกันให้กับออปแอมป์



รูปที่ 2.11 การป้อนสัญญาณอินพุตร่วมให้กับขั้วอินพุตทั้งสองของออปแอมป์

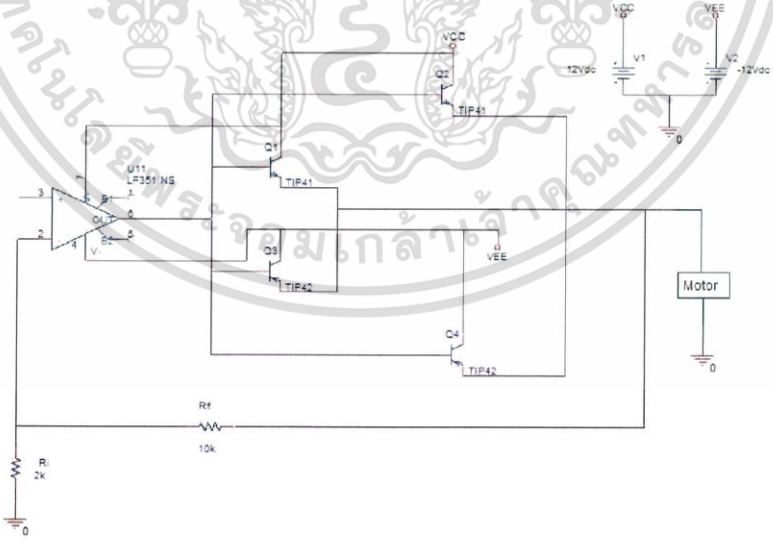
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากขั้วอินพุตของออปแอมป์เป็นบวกและลบสัญญาณอินพุตจึงหักล้างกัน ดังนั้นสัญญาณเอาท์พุตจึงเกิดจากการขยายผลต่างของสัญญาณอินพุตทั้ง นั่นคือ $V_1 - V_2$ ซึ่งจะสามารถเขียนใหม่เพื่อพิจารณาดังรูป จะสังเกตุได้ว่าสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตอินเฟสกัน



รูปที่ 2.12 การขยายผลต่างของอินพุตทั้งสองค่าของออปแอมป์

ในทางอุดมคติ สัญญาณอินพุตทั้ง 2 ขั้วต้องได้รับการขยายที่เท่ากัน ทำให้เกิดสัญญาณที่มีขั้วตรงข้ามกันที่อินพุต สัญญาณเหล่านี้หักล้างกันแล้วหยุดหายไป สัญญาณเอาท์พุตจึงเป็น 0 โวลต์ แต่ในทางปฏิบัติยังมีสัญญาณเอาท์พุตเหลืออยู่เล็กน้อย โดยเราเรียกว่า สัญญาณโหมดร่วม จากการที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นนี้ ออปแอมป์จะมีคุณสมบัติในการขยายความต่างศักย์ ซึ่งถ้าต้องการขยายกระแสจะต้องใช้ทรานซิสเตอร์มาช่วยในการขยาย ในการทดลองได้ใช้วงจรขยายตามรูปซึ่งจะมีอัตราส่วนความต่างศักย์ขยายเป็น



รูปที่ 2.13 วงจรที่นำมาขยายสัญญาณอลวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 มอเตอร์

โดยทั่วไปมอเตอร์ที่ใช้งานปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะระบบไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกระแส หลักการหมุนและโครงสร้างได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current motors: AC motors) เป็นมอเตอร์และทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดของมอเตอร์ไหลกลับไปมาตลอดเวลา สามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามความสำคัญและสัดส่วนของการใช้งานได้ดังนี้

2.3.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว (single phase induction motors) แบ่งเป็น

- เริ่มเดินเครื่องด้วยการแยกเฟส (split-phase start)
- แบบเริ่มเดินเครื่องด้วยตัวเก็บประจุ เดินเครื่องด้วยการเหนี่ยวนำ (capacitor start induction run)
- แบบเริ่มเดินและเดินเครื่องด้วยตัวเก็บประจุ (capacitor start and run)
- แบบรีพัลล์ชัน (repulsion start)

มอเตอร์เหนี่ยวนาสามเฟส (three-phase induction motors) แบ่งเป็น

- แบบกรงกระรอก (squirrel-cage) แบ่งออกเป็นชนิด single speed, two speed และ three speed
- แบบโรเตอร์พันลวด (wound-rotor) แบ่งออกเป็นชนิด slip ring และ commutator
- มอเตอร์ซิงโครนัส (synchronous motors)
- มอเตอร์สเต็ปปิง (stepping motors)
- มอเตอร์แบบมีคอมมิวเตเตอร์ (commutator motors)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (direct current motors: DC motors)

- มอเตอร์แบบวงจรขั้วแม่เหล็กขนาน (shunt motors)
- มอเตอร์แบบวงจรขั้วแม่เหล็กวงจรอนุกรม (series motors)
- มอเตอร์แบบวงจรขั้วแม่เหล็กผสม (compound motors)

มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นมอเตอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะมีความแข็งแรงทนทาน, ราคาถูก, ประสิทธิภาพสูง, ความแน่นอนในการใช้งานสูง และบำรุงรักษาความสะอาดได้ง่าย ซึ่งในปัจจุบันอาจกล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมเกือบทั้งหมดใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นต้นกำลังกล ขนาดมอเตอร์เหนี่ยวนาสามเฟสจะมีขนาดตั้งแต่ต่ากว่า 1 แรงม้าที่ความต่างศักย์ต่ำ (110-660โวลต์) กระทั่งถึงหลายพันแรงม้าที่ความต่างศักย์สูง (3.0 กิโลโวลต์ หรือสูงกว่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 โครงสร้างและการทำงานพื้นฐาน

มอเตอร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล การหมุนของมอเตอร์เกิดจากแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetic field) 2 ชุด คือที่สเตเตอร์ (stator) และ โรเตอร์ (rotor) พยายามที่จะจัดเส้นตรงแรงแม่เหล็กให้อยู่ในแนวเดียวกัน การที่สนามแม่เหล็กทั้ง 2 ชุดกระทำลักษณะดังกล่าวทาให้มอเตอร์หมุนได้และยิ่งมุมที่แตกต่างกันของแนวแกนของสนามแม่เหล็ก ทั้งที่สเตเตอร์และโรเตอร์รวมทั้งความเข้มของสนามแม่เหล็กมีค่าเท่าไร ก็ยิ่งทำให้เกิดแรงทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระทำให้แนวของสนามแม่เหล็กทั้ง 2 ชุดเคลื่อนเข้าหากันมากเท่านั้น ผลลัพธ์ของแรงกระทำอันนี้คือแรงบิดของมอเตอร์หรือทอร์ก (torque) โดยปกติแล้วสนามแม่เหล็กในมอเตอร์แบบต่างๆจะมีทั้งแบบหมุนไปรอบๆตัวของมอเตอร์และแบบที่หยุดที่อยู่กับที่ ตัวอย่างแบบสนามแม่เหล็กหมุนได้แก่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิดเหนี่ยวนาแบบกรงกระรอก ส่วนแบบสนามหยุดนิ่งได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์เหนี่ยวนาแบบกระรอกเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากโครงสร้างที่ง่าย แข็งแรง และไม่ต้องใช้แปรงถ่าน (carbon brush) มีการทางานเกิดจากสนามแม่เหล็กในแกน (core) ที่เกิดจากขดลวดปฐมภูมิ (primary winding) หมุนแล้วเหนี่ยวนาโรเตอร์ที่ขดลวดทุติยภูมิ (secondary winding) ให้หมุนตาม หรือตัวนาในโรเตอร์เกิดจากสนามแม่เหล็กที่มีค่าคงที่ แต่เคลื่อนที่หมุนไปรอบๆ สเตเตอร์สนามแม่เหล็กจะถูกส่งผ่านช่องอากาศ (air gap) มาเหนี่ยวนาตัวนาโรเตอร์ ทาให้เกิดกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก จากโรเตอร์ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนจากสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนา เกิดจากความต่างศักย์กระแสสลับที่ป้อนเข้าทางสเตเตอร์ สำหรับในระบบ 50 เฮิร์ต ที่ใช้กันในประเทศไทยจะทาให้สนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วที่ 750 รอบต่อนาที 1,000 รอบต่อนาที 1,500 รอบต่อนาที และ 3,000 รอบต่อนาที สาหรับมอเตอร์แบบ 8 ขั้ว 6 ขั้ว 4 ขั้ว และ 2 ขั้วตามลาดับเราเรียกความเร็วนี้ว่าความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์ (synchronous speed)

2.3.3 ทฤษฎีมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) เป็นทรานสดิวเซอร์แรงบิดซึ่งมีคุณลักษณะพิเศษคือแรงบิดของเพลาของมอเตอร์กระแสตรงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาร์มมาเจอร์ แรงบิดของเพลาของมอเตอร์กระแสตรงจะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ หลักการนี้แสดงได้ในรูป ในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างสนามที่ประกอบด้วย เส้นแรงแม่เหล็ก และขดลวดตัวนำเหล่านั้นอยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ r ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลาและกระแสเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T=K\phi i \qquad (2.3.1)$$

เมื่อ T คือ แรงบิดของเพลา มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร

K คือ เส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์

i คือ กระแส มีหน่วยเป็น แอมแปร์

ø คือ ค่าคงตัว

ดังนั้นแรงบิดของเพลาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสเมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวมันเอง ค่าความต่างศักย์นี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลาของมอเตอร์และต้านการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ย้อนกลับนี้ และความเร็วของเพลามอเตอร์คือ

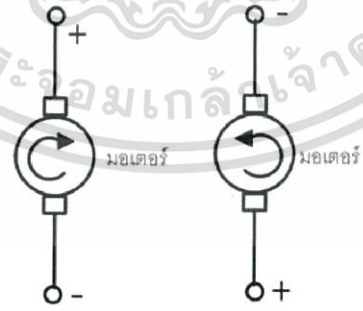
$$E=K\phi\omega \qquad (2.3.2)$$

เมื่อ E คือ ความต่างศักย์ย้อนกลับหรือ emf มีหน่วยเป็น โวลต์

Ø คือ เส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์

ω คือ ความเร็วของมอเตอร์ มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที

การทำให้มอเตอร์กระแสตรงทำงาน ก็เพียงเราป้อนความต่างศักย์แล้วทำให้กระแสไหลผ่านมอเตอร์กระแสตรง โดยการหมุนจะหมุนเป็นหมุนตามเข็มนาฬิกา หรือหมุนทวนเข็มนาฬิกา ก็จะเป็นขึ้นอยู่ว่าป้อนความต่างศักย์ที่เป็นบวกให้กับขั้วไหน



รูป 2.14 การหมุนของมอเตอร์ในทิศทางเมื่อขั้วไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์

จากสมการ (2.3.2) จะเห็นได้ว่า ความเร็วของมอเตอร์แปรผันตามความต่างศักย์ที่ตกคร่อมมอเตอร์ ดังนั้นถ้ามีความต่างศักย์ที่ตกคร่อมมอเตอร์กระแสตรงสูง จะทำให้มอเตอร์กระแสตรงจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมุนด้วยความเร็วรอบสูง ในทางกลับกัน ถ้าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมมอเตอร์กระแสต่ำ จะทำให้มอเตอร์กระแสตรงหมุนด้วยรอบที่ต่ำเช่นกัน

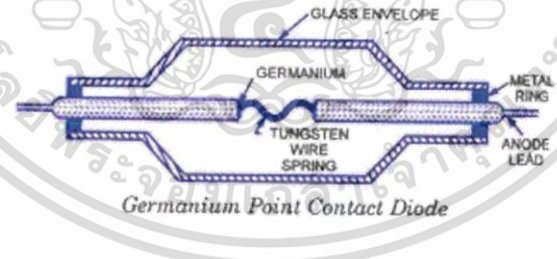
2.4 ไดโอด (Diode)

เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของวงจรอิเลคทรอนิคส์ทั่วไปในสมัยก่อนไดโอดมักจะเป็นแบบหลอดสุญญากาศ ปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเป็นไปอย่างรวดเร็วทาให้สิ่งประดิษฐ์ชนิดใหม่ ซึ่งทำด้วยสารกึ่งตัวนาได้เข้ามาแทนที่หลอดสุญญากาศ ไดโอดที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำมีสองขั้วและมีขนาดเล็กใช้งานได้ง่าย

2.4.1 ชนิดของไดโอด

ไดโอดทำจากสารกึ่งตัวนำแบ่งได้ตามชนิดของเนื้อสารที่ใช้ เช่น เป็นชนิดเยอรมันเนียมหรือเป็นชนิดซิลิกอน นอกจากนี้ไดโอดยังแบ่งตามลักษณะตามกรรมวิธีที่ผลิต คือ

1.ไดโอดชนิดจุดสัมผัส (Point-contact diode) ไดโอดชนิดนี้เกิดจากการนำสารเยอรมันเนียมชนิด N มาแล้วอัดสายเล็ก ๆ ซึ่งเป็นลวดพลาตินัม (Platinum) เส้นหนึ่งเข้าไปเรียกว่าหนวดแมว จากนั้นจึงให้กระแสค่าสูง ๆ ไหลผ่านรอยต่อระหว่างสายและผลึกจะทาให้เกิดสารชนิด P ขึ้นรอบ ๆ รอยสัมผัสในผลึกเยอรมันเนียม ดังรูป



รูปที่ 2.15 ไดโอดแบบจุดสัมผัส

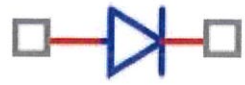
2. ไดโอดชนิดหัวต่อ P-N (P-N junction diode) เป็นไดโอดที่สร้างขึ้นจากการนาสารกึ่งตัวนาชนิด N มาแล้วแพร่อนุภาคอะตอมของสารบางชนิดเข้าไปในเนื้อสาร P ขึ้นบางส่วน แล้วจึงต่อขั้วออกใช้งานไดโอดชนิดนี้มีบทบาทในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และมีที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

รูปที่ 2.16 ไดโอดแบบหัวต่อหัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 คุณสมบัติของไดโอด

ไดโอดที่ใช้ในวงจรมีสัญลักษณ์ เป็นรูปลูกศรมีขีดขวางไว้ ดังรูปที่ 2.14

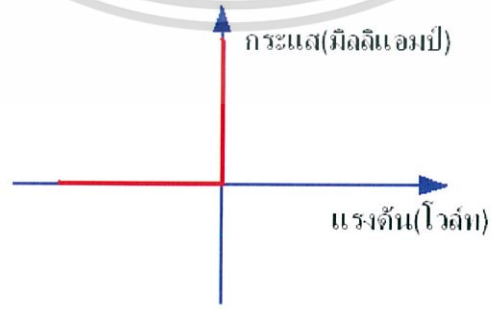


รูปที่ 2.17 สัญลักษณ์ไดโอดในการต่อวงจร

ตัวลูกศรเป็นสัญลักษณ์แทนสารกึ่งตัวนำชนิด P ซึ่งเป็นขั้วอาโนด (ขั้วบวก) ของไดโอด ลูกศรจะชี้ในทิศทางที่โฮลเคลื่อนที่ส่วนขีดคั่นเป็นสารกึ่งตัวนาชนิด N ซึ่งเป็นขั้วคาโถด (ขั้ว14 ลบ) ดังนั้นเราจะสามารถพิจารณาว่า ไดโอดถูกไบแอสตรงหรือไบแอสกลับได้ง่าย ๆ โดยพิจารณาดูว่า ถ้าขั้วอาโนดมีศักดาไฟฟ้าเป็นบวกมากกว่าคาโถดแล้ว ไดโอดจะถูกไบแอสตรง ถ้าขั้วอาโนดมีศักดาไฟฟ้าเป็นบวกน้อยกว่าคาโถดก็แสดงว่าไดโอดถูกไบแอสกลับ

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของไดโอดเมื่อไบแอสตรงและไบแอสกลับ

ไบแอสตรง	ไบแอสกลับ
1. มีกระแสไหลผ่านไดโอด	1. มีกระแสไหลผ่านไดโอด
2. ถือว่าไดโอดมีความต้านทานน้อยมาก	2. ถือว่าไดโอดมีความต้านทานสูงมาก
3. โดยทั่วไปถือว่าไดโอดลัดวงจร	3. โดยทั่วไปถือว่าไดโอดเปิดวงจร

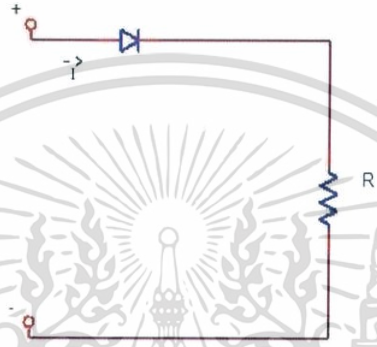


รูปที่ 2.18 ลักษณะสมบัติของไดโอดอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ความต้านทานของตัวไดโอด

เนื่องจากความต้านทานของตัวไดโอด ขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงถือว่าไดโอดมีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ลักษณะสมบัติระหว่างความต่างศักย์และกระแสจะเป็นตัวแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของกระแสที่ไหลผ่านตัวไดโอด (ID) กับค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวไดโอด (VD) ทั้งในทิศทางไบแอสตรง และไบแอสกลับ ลักษณะสมบัติทางด้านไบแอสตรงจะเริ่มมีกระแสไหลผ่านไดโอดเมื่อใส่ความต่างศักย์แก่ไดโอดด้วยค่า ๆ หนึ่งความต่างศักย์นี้คือค่าความต่างศักย์ที่เราเรียกว่าความต่างศักย์คัทอิน (cut in voltage) ของไดโอด



รูปที่ 2.19 การไหลของกระแสในไดโอด

2.4.4 ความต่างศักย์คร่อมตัวไดโอดด้านไบแอสตรง

ค่ากระแสอิ่มตัวย้อนกลับสาหรับซิลิกอนไดโอดกับของเยอรมันเนียมไดโอดยังมีค่าไม่เท่ากันด้วย ซิลิกอนไดโอดมีค่ากระแสอิ่มตัวน้อยกว่าของเยอรมันเนียมไดโอดประมาณ 1000 เท่าสำหรับค่าความต่างศักย์คัทอินทั้งของซิลิกอนและเยอรมันเนียมจะมีค่าไม่เท่ากัน ค่าความต่างศักย์คัทอินของซิลิกอนไดโอดมีค่าประมาณ 0.6 โวลต์ ส่วนของเยอรมันเนียมไดโอดมีค่าประมาณ 0.2 โวลต์

2.4.5 ความต่างศักย์คร่อมตัวไดโอดด้านไบแอสกลับ

การต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายความต่างศักย์เข้ากับ n-region และขั้วลบเข้ากับ p-region ของไดโอด การต่อแหล่งจ่ายความต่างศักย์ในลักษณะนี้จะทาให้อิเล็กตรอนอิสระใน n-region ถูกดึงให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก ในขณะเดียวกันโฮลก็จะถูกดึงจากขั้วลบเช่นกัน จากเหตุผลดังกล่าวจึงส่งผลให้บริเวณ Depletion Region ขยายกว้างมากขึ้น จนทาให้ความต่างศักย์ภายในมีค่าเท่ากับความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายความต่างศักย์แต่มีขั้วตรงกันข้าม จึงส่งผลให้ไดโอดไม่นำกระแสไฟฟ้าในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 คุณลักษณะสมบัติระหว่างความต่างศักย์และกระแสของโอด

ความต้านทานในตัวไดโอดพอที่จะแบ่งออกตามชนิดของความต่างศักย์ที่ให้กับตัวไดโอด ซึ่งแยกออกเป็นความต้านทานทางไฟตรงและความต้านทานไฟสลับ โดยความต้านทานทางไฟตรง (static resistance) จากลักษณะสมบัติความต่างศักย์และกระแสของไดโอดจะไม่เป็นลักษณะเชิงเส้น ดังนั้นความต้านทานในตัวไดโอดจึงไม่คงที่ จากกฎของโอห์มจะได้ความต้านทานทางไฟตรง ที่จะงดทำงานขณะไม่มีสัญญาณอื่นใดเข้ามาความต้านทานทางไฟสลับ (dynamic resistance) เมื่อไดโอดทำงานในขณะที่มีค่าสัญญาณความต่างศักย์กระแสสลับขนาดเล็ก ๆ ป้อนเข้ามาค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นที่ไดโอดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ค่าความต้านทานนี้จะแตกต่างจากความต้านทานทางไฟตรงเราเรียกค่าความต้านทานนี้ว่า ความต้านทานทางไฟสลับ การหาค่าความต้านทานทางไฟสลับหาค่าได้จากค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์คร่อมตัวไดโอด ที่เปลี่ยนไปกับค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลในตัวไดโอด เนื่องจากการทำงานของไดโอดเมื่อมีสัญญาณเข้ามา ณ จุดที่ไดโอดทำงานก็จะมีค่าไม่คงที่ไม่แน่นอน เกิดการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะสมบัติ แต่เมื่อคิดการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอสตรงค่าเล็ก ๆ ของกระแสและความต่างศักย์แล้วจะสามารถหาค่าความต้านทานทางไดนามิคหรือความต้านทานต่อไฟสลับได้

ซีเนอร์ไดโอด (Zener diode) ไดโอดธรรมดาเมื่อทำการไบแอสกลับจนถึงค่าความต่างศักย์พังจะทำให้เกิดการเสียหายได้ ซีเนอร์ไดโอดเป็นซิลิกอนไดโอดชนิดพิเศษที่กระแสย้อนกลับสามารถไหลเฉลี่ยทั่วพื้นที่รอยต่อของไดโอด จึงสามารถทนกระแสย้อนกลับได้สูงมาก ดังนั้นซีเนอร์ไดโอดจึงสามารถใช้ควบคุมความต่างศักย์โดยใช้ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวมันเองเป็นตัวควบคุมสัญลักษณ์ของตัวซีเนอร์ไดโอดเขียนได้ ดังรูป

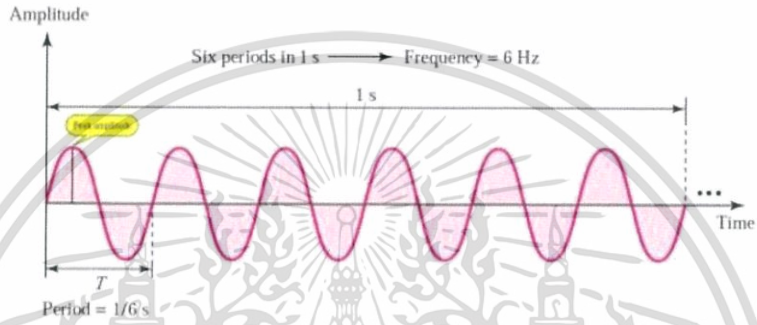
รูปที่ 2.20 สัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด

ซีเนอร์ไดโอดทางอุดมคติจะควบคุมความต่างศักย์ได้ต่อเมื่อถูกไบแอสกลับกล่าวคือ จะมีกระแสไหลผ่านไดโอดได้ดีต่อเมื่อไบแอสกลับจนถึงค่าความต่างศักย์ซีเนอร์เท่านั้น สำหรับกรณีไบแอสตรงซีเนอร์ไดโอดจะทำหน้าที่เหมือนไดโอดธรรมดาคือเสมือนเป็นตัวสัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สัญญาณคลื่นไซน์

สัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave Signal or Sinusoidal Wave Signal) มีอีกชื่อหนึ่งเรียกว่า สัญญาณอย่างง่าย (Simple Signal) สามารถอธิบายได้ด้วยฟังก์ชันประเภท Sinusoidal และไม่สามารถแบ่งย่อยออกเป็นฟังก์ชันที่ง่ายกว่านั้นได้ สัญญาณคลื่นไซน์เป็นสัญญาณซ้ำคาบมูลฐานสำหรับการสื่อสารแบบ Analog มีลักษณะเส้นโค้งต่อเนื่อง ที่มีการแกว่งด้วยคาบเวลาคงที่ T (วัดจากท้องคลื่น ถึง ยอดคลื่น) ดังรูป



รูปที่ 2.21 คลื่นสัญญาณไซน์

สัญญาณดังรูปสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ $S(t) = A\sin(2\pi f + \varnothing)$

S(t) คือ ความเข้มของสัญญาณ ณ เวลา t ใดๆ ในช่วงพิจารณา

A คือ ความเข้มสูงสุดของสัญญาณ (Peak Amplitude) วัดจากจุดสมดุลถึงยอดคลื่น

f คือ ความถี่ของสัญญาณ ซึ่งสัมพันธ์เป็นส่วนกลับของคาบเวลา T วินาที

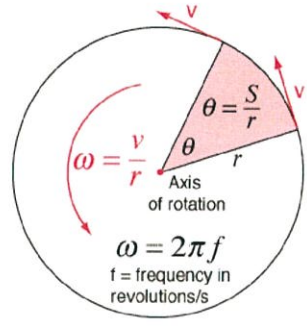
ø คือ เฟส หรือ ตาแหน่งเชิงมุม ณ จุดเริ่มต้น t = 0 ของสัญญาณ

เราสามารถสร้างสัญญาณไซน์ที่มีความสูง *A* หน่วย ได้จากรูปวงกลมรัศมี *A* นิยามด้วยสมการ $x^2 + y^2 = A^2$ สอดคล้องกับ ทฤษฎีบท Pythagoras สำหรับความยาวด้านของสามเหลี่ยมมุมฉาก ภายในวงกลม และ ด้วยทฤษฎีบทดังกล่าว เราสามารถเขียน ค่าของ x และ y ในรูปของ A ดังต่อไปนี้ $x(\theta)=A\cos(\theta)$ และ $y(\theta)=A\sin(\theta)$

ถ้าสมมติให้ $\text{Sine}(t) = y(\theta(t))$ จะได้ว่า $\theta(t) = \omega t + \varphi$, $\omega = 2\pi ft$

อีกนัยหนึ่ง ความเข้มของสัญญาณไซน์ ณ เวลา t ใดๆ สามารถคำนวณได้จากความสูง y ของสามเหลี่ยมมุมฉาก ภายในวงกลมรัศมี A ที่มุม $\theta(t) = \omega t + \varphi$ เรียก ω ว่า ความเร็วเชิงมุม ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

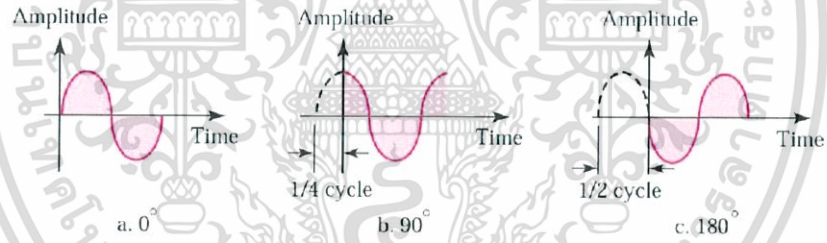


รูปที่ 2.22 ความเร็วเชิงมุม

2.5.1 เฟสของสัญญาณ

เฟสของสัญญาณ คือ ตำแหน่งเชิงมุม φ (radian) ณ จุดเริ่มต้น(เวลา t = 0) หรือ คือการ เลื่อนของสัญญาณ ในแกนเวลา ณ คาบแรกเนื่องจาก $\theta(t) = \omega t + \varphi$ ดังนั้น เราอาจแบ่งมุม θ(t) ออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ωt และ φ ซึ่งเป็นตำแหน่งซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา (t) และตำแหน่ง คงที่หรือเฟสของสัญญาณ ตามลำดับ

หน่วยการวัดของเฟสได้แก่ rad หรือ องศา โดยที่ 2π rad = 360 องศา จากรูปที่ 2.5.3 คือรูปสัญญาณไซน์หนึ่งคาบที่มีเฟสเลื่อน ไป 0 องศา 90 องศาและ 180 องศา ตามลำดับ



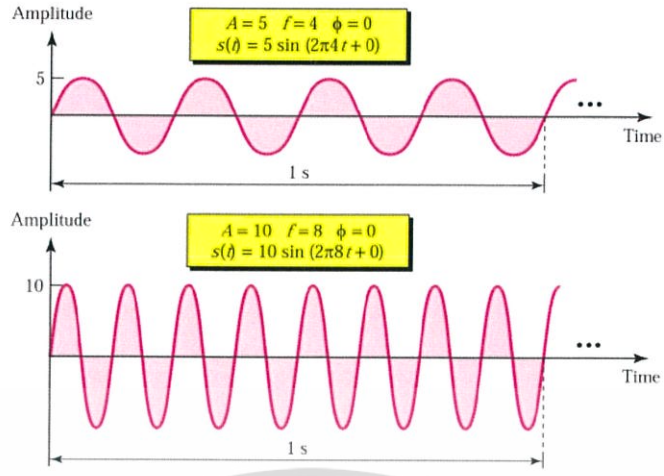
รูปที่ 2.23 สัญญาณไซน์ซึ่งมีเฟสเลื่อนไป 0 องศา 90 องศาและ 180 องศา ตามลำดับ

2.5.2 โดเมนเวลาและโดเมนความถี่

สัญญาณไซน์สัญญาณหนึ่งประกอบด้วยสมบัติ 3 ประการ ไดแก่ ความเข้ม ความถี่และเฟส การนำเสนอสัญญาณดังกล่าวด้วยแผนภาพ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ สามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การแสดงผลในโดเมนเวลา (Time-domain Plots) และในโดเมนความถี่ (Frequency-domain Plots)

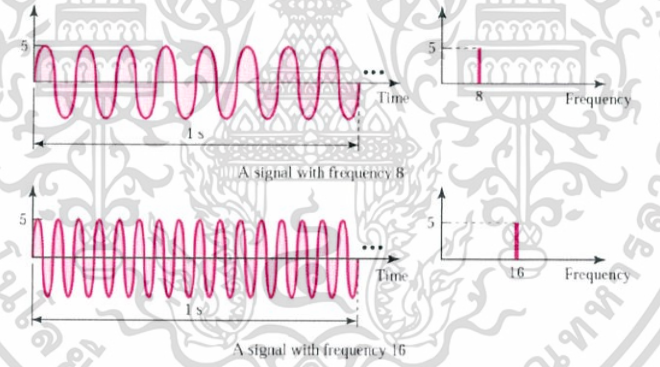
การแสดงผลในโดเมนเวลา เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของความเข้ม (A) เทียบกับเวลา (t) โดยที่สำหรับความถี่ (f) และ เฟส (φ) นั้นถึงแม้จะไมมีการแสดงอย่างชัดเจน แต่สามารถวัดได้ ดังตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 โดเมนเวลาของสัญญาณทั้งสองที่ความเข้มและความถี่ต่างกันเมื่อเทียบกับเวลา

การแสดงผลในโดเมนความถี่ เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและความถี่ของสัญญาณ ดังตัวอย่างเปรียบเทียบการแสดงผลในโดเมนเวลาและการแสดงผลในโดเมนความถี่ของสัญญาณที่สมมูลกันต่อไปนี้



รูปที่ 2.25 โดเมนเวลาเทียบกับโดเมนความถี่ของสัญญาณทั้งสองที่ความถี่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาจากแผนภาพใน **รูปที่** 2.25 จะเห็นว่าเราสามารถอธิบายคุณสมบัติด้านความเข้มและ ความถี่ของสัญญาณในการแสดงผลในโดเมนความถี่ด้วยแท่งตรง (Spike) เพียง 1 แท่ง ซึ่งกระชับกว่าการแสดงด้วยการแสดงผลในโดเมนเวลาของสัญญาณที่สมมูลกัน

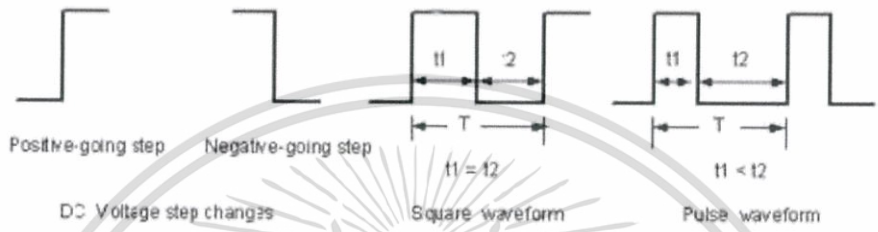
ดังนั้น สัญญาณการแสดงผลในโดเมนความถี่จึงเหมาะสำหรับใช้อธิบายสัญญาณอนาล็อกชนิดซ้ำคาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สัญญาณพัลส์

2.6.1 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

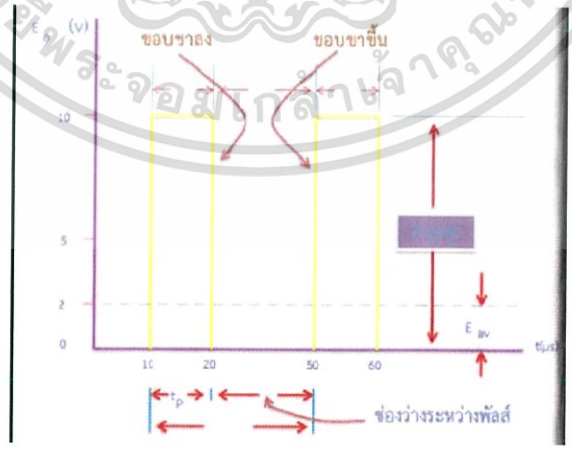
เกิดจากระดับความต่างศักย์กระแสตรงที่เปลี่ยนแปลงเป็นขั้น (Step changes) หรือรูปคลื่นขั้นบันไดสองลักษณะคือ Positive-going step และ Negative-going step ดังรูป



รูปที่ 2.26 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

2.6.2 รูปคลื่นพัลส์

เป็นคลื่นลักษณะเช่นเดียวกับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสนั่นเองที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันอย่างรวดเร็วจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่ง และเปลี่ยนกลับลงมาอย่างรวดเร็วเข้าสู่ระดับปกติแต่มีความแตกต่างจากรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสตรงที่ช่วงเวลาของรูปคลื่นที่ปรากฏจะสั้นกว่าช่วงเวลาของรูปคลื่นที่ปรากฏจะสั้นกว่าช่วงเวลาของรูปคลื่นที่ไม่ปรากฏ



รูปที่ 2.27 รูปคลื่นพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 คุณลักษณะของรูปคลื่นพัลส์

รูปคลื่นพัลส์ในอุดมคติ (Ideal pulse waveform) คือรูปคลื่นที่พิจารณาโดยไม่คิดค่าช่วงเวลาศูนย์เสียที่เกิดขึ้นในขณะที่พัลส์มีการเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงและจากสูงไปต่ำดังแสดงในรูป 2.24

เมื่อพิจารณารูปคลื่นพัลส์ที่ได้ในรูปจะมีส่วนประกอบต่างๆของรูปพัลส์ดังนี้ ระดับแรงดันจาก 0 V ถึง 10 V เรียกว่าค่าสูงสุด (peak value) ในช่วงเวลาที่แรงดันเปลี่ยนแปลง 0 V เป็น 10 V พิจารณาที่เวลา t = 0 เรียกว่าขอบขาขึ้น (leading edge) ในช่วงเวลาที่แรงดัน 10 V เป็น 0 V พิจารณาที่เวลา t = 0 เรียกว่าขอบขาลง (trailing edge) ระยะตั้งแต่ขอบขาขึ้นถึงขอบขาลงเรียกว่าความกว้างของพัลส์ (pulse width) ใช้ตัวย่อ จุดเริ่มต้นของพัลส์ลูกแรกไปจนถึงจุดเริ่มต้นของพัลส์ลูกต่อไปเรียกว่าช่วงเวลาที่พัลส์เกิดซ้ำ (pulse repetition time) ใช้ตัวย่อ พัลส์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกันหลายๆ พัลส์เรียกว่าชุดของพัลส์ (pulse train) ในชุดของพัลส์หนึ่งชุดที่เกิดขึ้นในเวลา
และเมื่อพิจารณาจากรูปอีกจะพบว่า

-ขนาดของพัลส์ (Pulse amplitude) คือค่าที่วัดจากระดับแรงดันศูนย์โวลต์ไปถึงค่าสูงสุด (Peak value)

-คาบเวลาของพัลส์ (Time period) ใช้ตัวย่อ T คือระยะเวลาที่วัดจากขอบหน้าของพัลส์ที่เวลา t = 0 จนถึงขอบหน้าของพัลส์รูปคลื่นต่อไป

-ความถี่ของพัลส์ (Pulse Repetition Frequency or PRF) คือค่าส่วนกลับของเวลา หรือ PRF = PPS (pulse Per Sec)

-ความกว้างของพัลส์ (Pulse Width or PW) คือช่วงเวลาที่วัดจากขอบหน้าของพัลส์จนถึงขอบหลังของพัลส์

-ช่องว่างระหว่างพัลส์ (Space width or SW) คือช่วงเวลาที่วัดจากขอบหลังของพัลส์รูปคลื่นแรกจนถึงขอบหน้าพัลส์รูปคลื่นถัดไป

-อัตราส่วนของพัลส์ (M / S ratio) คืออัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ (PW) กับช่องว่างระหว่างพัลส์ (SW) M / S ratio = PW / SW

-วัฏจักรหน้าที่ (Duty cycle) คือร้อยละของอัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ (PW) กับคาบเวลาของพัลส์ (T)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 สมการคลื่นพัลส์ในทางทฤษฎี

อัตราการเกิดพัลส์ซ้ำ (prr) จะมีค่าเท่ากับส่วนกลับช่วงเวลาทีพัลส์เกิดซ้ำ (prr) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$prr = \frac{1}{prt} \quad (Hz)$$

ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นใดๆ อาจเป็นแรงดันหรือกระแสก็ตาม ก็คือส่วนประกอบของไฟตรงของคลื่นนั้นๆ การหาค่าแรงเฉลี่ย(average voltage value) หรือในทฤษฎีจากรูปทำได้โดยการหารพื้นที่ของพัลส์ด้วยช่วงเวลาที่พัลส์เกิดค่าแรงดันเฉลี่ยนี้ก็คือค่าอ่านได้จริง จากโวลต์มิเตอร์กระแส

$$E_{av} = \frac{A_p}{prt} \quad (Volt)$$

$$A_p = T_p \cdot E_{peak} \quad (Sec\text{-}Volt)$$

เมื่อ E_{av} คือ ค่าแรงดันเฉลี่ย มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt)

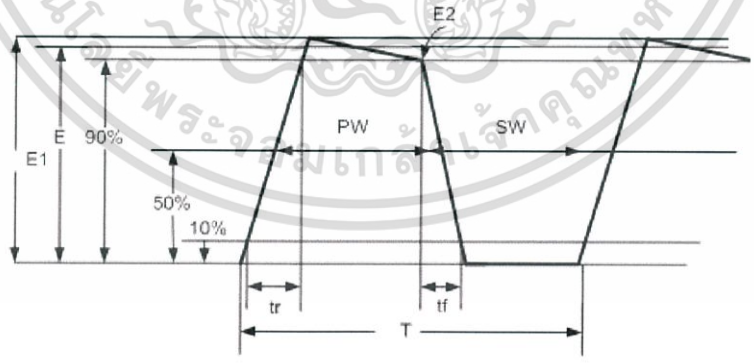
A_p คือ พื้นที่ของพัลส์มีหน่วยเป็นวินาที –โวลต์ (Sec - Volt)

prt คือ ช่วงเวลาที่พัลส์เกิดซ้ำมีหน่วยเป็นวินาที (Sec)

T_p คือ ความกว้างของพัลส์มีหน่วยเป็นวินาที (Sec)

E_{peak} คือ แรงดันสูงสุด มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt)

2.6.5 ความแตกต่างคลื่นพัลส์ในทางทฤษฎีและปฏิบัติ



รูปที่ 2.28 รูปคลื่นพัลส์ในทางปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปคลื่นพัลส์ในทางปฏิบัติจะแตกต่างกับทฤษฎี ดังนี้

-เวลาไต่ขึ้น (Rise time) คือ ระยะเวลาของสัญญาณพัลส์ขอบหน้าเปลี่ยนแปลงจากขนาดของสัญญาณที่ 10 % ไปจนถึง 90 % ของขนาดสูงสุด

-เวลาตก (Fall time) คือ ระยะเวลาของสัญญาณพัลส์ขอบหลังตกจากระดับสัญญาณที่ 90 % ลงไปถึง 10 % ของขนาดสูงสุด

-ความกว้างของพัลส์ (PW) ต้องวัดมาจากค่าเฉลี่ยของความกว้างทั้งหมด คือวัดที่ 50 % ของขนาดสูงสุดของแรงดันเฉลี่ย และค่าช่องว่างของพัลส์ (SW) ก็เช่นเดียวกัน ดังนั้น (T) จะเท่ากับ PW + SW

-ค่าขนาดแรงดันเฉลี่ยของพัลส์ (Average pulse amplitude) คือ ค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดของขอบหน้าและขอบหลัง

-ความลาดเอียง (Tilt) คือ ความลาดเอียงบริเวณระดับสัญญาณสูงสุดขอบหน้าถึงขอบหลังของพัลส์

-ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นพัลส์ (Vav) คือ การนาเอาพื้นที่ที่เกิดพัลส์ ในช่วงความกว้างของพัลส์ (PW) ทั้งด้านบวกและด้านลบของพัลส์มารวมกัน และหาร ด้วยคาบเวลาของพัลส์

2.7 ประวัติและความเป็นมาของเซ็นเซอร์

การตรวจจับปริมาณสารมีจุดมุ่งหมายสำคัญ เพื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์หรือตัวแปลต่างๆ ทั้งในระหว่างกระบวนการผลิตและเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ รูปแบบและวิธีการวัดมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วไม่ว่าจะเป็นการวัดตัวแปรทางกายภาพและทางเคมี ตัวอย่างการวัดทางกายภาพ เช่น การวัดปริมาตร มวล ความหนาแน่น อัตราการไหล ความดันและอุณหภูมิ เป็นต้น ในการวัดตัวแปลทางเคมี ในปัจจุบันมีเครื่องมือต่างๆ เช่น แก๊สและลิคควิดโครมาโตรกราฟี (Gas-Liquid chomatroghaphy) พีเอชมิเตอร์ (pH meter) อิออนซีเลคทีฟอิเล็กโตรด (Ion-selective electrode) และสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectro photo meter) เป็นต้น เครื่องมือวัดเหล่านี้ทำงานได้ดี ทั้งการวัดตัวแปร หรือสารตัวอย่างโดยตรงหรือมีการทำตัวอย่างเปลี่ยนสภาพที่ทำให้เครื่องมือวัดหรือเซ็นเซอร์ตอบสนอง

การใช้วัสดุในการวิเคราะห์ปริมาณสารที่เรียกว่า Chemical assay มักใช้เวลาในการวิเคราะห์ เช่น TGS sensors ของ Figaro Engineering Company ที่ใช้เนื้อสารของดีบุกออกไซด์ (SnO_2) เป็นตัวเพื่อวิเคราะห์ แอลพีจี (LPG) เอ็นจีวี (NGV) และคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ปัจจุบันมีการใช้หัววัดทางเคมีไปติดกับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าในการหาปริมาณสารตัวอย่างได้ในระยะเวลาอันรวดเร็วเครื่องมีวัดแบบนี้ เรียกว่า เคมีเซ็นเซอร์ (Chemsensor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาในการวิเคราะห์ด้านเคมีที่ยังไม่ได้สร้างฐานรองซิลิกอนเป็นจำนวนมาก เช่นใช้ โลหะออกไซด์ สารประกอบเชิงซ้อน เซรามิก โพลีเมอร์และ อิออนซีเลคทีฟอิเล็กโตรด เป็นต้น แต่การสร้างแก๊สเซนเซอร์ บนเทคโนโลยีซิลิกอน ย่อมเป็นที่น่าสนใจมากกว่า เพราะตัวอุปกรณ์ที่สามารถสร้างได้เล็ก ซึ่งจะได้ทำสามารถผลิตได้จำนวนมาก ซึ่งทำให้ราคาต่ออุปกรณ์มีราคาถูกและยังสามารถสร้างเป็นวงจรรวมได้อีกด้วย

Pd gate MOSFET หรือมอสเฟตโดยที่ส่วนเกทจะถูกเปลี่ยนจากอลูมิเนียม (Al) เป็นพลาเดียม (Pd) แทน ซึ่งพลาเดียมเป็น Highly catalytically active metal ที่สามารถแยกโมเลกุลของไฮโดเจน (H_2) ออกเป็นไฮโดรเจนอะตอม (H+) ซึ่งอะตอมเหล่านี้จะแพร่เข้าไปยังรอยต่อ Pd-SiO_2 ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสเดรนในมอสเฟต

ปัจจุบันนี้ มีความต้องการ การพัฒนาการใช้อุปกรณ์ตรวจจับทางเคมีกันมาก เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ทางเคมีภายนอกห้องปฏิบัติการ Zemel ได้รวบรวมความต้องการที่จะได้อุปกรณ์ตรวจจับทางเคมีในอุดมคติดังนี้ ราคาไม่แพง ตัวอุปกรณ์มีขนาดเล็ก ผลที่ได้สามารถแสดงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า มีอัตราส่วนสัญญาณกับสัญญาณรบกวนที่ดี รูปทรงแข็งแรง สร้างได้ง่าย สามารถผลิตได้ในจำนวนต่อครั้งมากๆ มีความน่าเชื่อถือ มีการแยกสารเคมี มีการตอบสนองที่ดีและไม่การตอบสนองต่ออุณหภูมิและรังสีต่างๆ

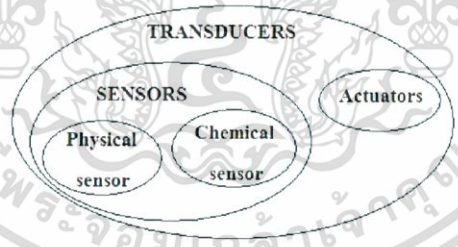
ความต้องการที่กล่าวมานี้ย่อมเป็นไปไม่ได้ แต่มีการวิจัยมากมายที่แสดงให้เห็นว่าการสร้างแก๊สเซนเซอร์บนฐานรองซิลิกอนจะไม่สามารถสนองความต้องการ ที่ได้กล่าวมาแล้วมากที่สุด

2.8 นิยามของแก๊สเซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์จะเป็นส่วนที่สำคัญ สำหรับการควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแสดงผลออกมาแทนการตอบสนองของประสาทสัมผัสของมนุษย์ ที่นอกจากเราจะสามารถได้ยิน สัมผัสดมกลิ่น การลิ้มรสการมองเห็น เราจะได้รับอันตรายจากสิ่งที่เราสัมผัสเหล่านั้น โดยตรงเกินปริมาณที่ร่างกายสามรถรับได้ เซ็นเซอร์จะสามารถแสดงเป็นค่าทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้ค่าเท่ากับการตอบสนองของร่างกาย แต่อย่างไรก็ตาม อาจกล่าวได้ว่าการพัฒนาเซ็นเซอร์ที่มีการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้สัญญาณดิจิตอลเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการตรวจจับการตอบสนองต่อสารเคมี และกรณีที่มีการทำกล้องซีซีดี ที่สามารถแยกแยะปราสาทการมองเห็นได้สูงมาก หรือแม้แต่การทำไมโครโฟน ที่มีความไวต่อการตอบสนองต่อเสียงได้ดี ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นจุดเริ่มของการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณดิจิตอล ในทางอิเล็กทรอนิกส์ของตัวตรวจจับทางเคมี ซึ่งสามารถรับรู้รสและได้กลิ่นของสิ่งไม่มีชีวิต ถึงแม้แต่ระบบชีววิทยาที่มีการคุ้มกัน และการวัดปริมาณกลูโคสการวัดความเข้มข้นของสารเคมีและควบคุมปริมาณที่ต้องใช้ความถูกต้องสูง เพื่อที่จะแทนที่หรือเป็นตัววัดระบบทางชีววิทยาเหล่านี้ จนในที่สุดตรวจจับที่มีการตอบสนองและการแยกแยะที่ดี วัสดุตรวจจับทางเคมีในเชิงพาณิชย์ จะต้องสามารถปรับค่าเริ่มต้นแต่ยังไม่สามารถแยกแยะ และมีความไวตอบสนองได้ดีพอ อย่างไรก็ตาม ถ้ามีสารชีววิทยาที่สามารถเป็นตัวตรวจจับทางเคมีและทางชีววิทยาที่สามารถแยกแยะสาร และตอบสนองที่ดีที่เหมือนระบบชีววิทยานั้นได้รับการยอมรับ ในช่วงทศวรรษได้มีการวิจัยทางนี้อย่างกว้างขวางและเกิดเซ็นเซอร์ต่างๆ มากมายเข้าสู่ตลาด ตัวอย่างเซ็นเซอร์ที่ได้รับความแพร่หลายมากที่สุดคือ กลูโคส เซนเซอร์ในปัจจุบันสามารถสร้างได้ง่ายและมีราคาถูก จนสามารถใช้แล้วทิ้งได้เลย เพื่อนให้การตอบสนองที่ดีและมีประสิทธิภาพและยังแสดงผลเป็นดิจิตอล เพื่อง่ายต่อการใช้งานการแยกแยะชนิดของเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ในการตรวจจับ สามารถแบ่งออกเป็นหลักกว้างๆ คือ ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) เซนเซอร์ (Sensor) และแอคชิวเอเตอร์ (Actuators) ความหมายคำว่า ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) มีรากศัพท์มาจากภาษาลาติน จากคำว่า " transduco – traduco " ซึ่งหมายถึง " การเปลี่ยนสภาพ-การแปลงสภาพ " ดังนั้น อุปกรณ์จะต้องเป็นการเปลี่ยนแปลงหรือการแปลงสภาพ พลังงานจากระบบหนึ่งไปเป็นระบบอื่นโดยที่รูปแบบอาจเปลี่ยนได้ ซึ่งจะเป็นความหมายของทรานซิดิวเซอร์ (Transducer) การวัดค่าต่างๆ ในสิ่งแวดล้อม ทรานสดิวเซอร์จะเป็นอุปกรณ์ ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากพลังงานรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง โดยพลังงานมีหลายรูปแบบเช่น พลังงานทางไฟฟ้า ทางกลศาสตร์ ทางแสง ทางความร้อน แม่เหล็กและจากการแผ่รังสี ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 การจัดกลุ่มของทราสดิวเซอร์ (Transducers)

เซ็นเซอร์ (Sensor) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่แปลงสัญญาณเป็นรูปแบบต่างๆ เป็นทางไฟฟ้า ส่วนทางแอคชิวเอเคอร์(Actuators) จะเป็นทรานสดิวเซอร์ที่แปลงสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณในรูปแบบอื่น โดยทั่วไปสัญญาณจะอยู่ในรูปแบบกลศาสตร์ ตัวอย่างของเซ็นเซอร์เช่น เซ็นเซอร์วัดความดันพีเอช (pH) เซ็นเซอร์และโฟโต้ทรานซิสเตอร์ ตัวอย่างของแอคชิวเอเตอร์ (Actuators) เช่น โซลินอยย์ และเลเซอร์ไดโอต ส่วนเคมีแอคชิวเคเตอร์ (Chemical Actuators) เมื่อเราป้อนศักย์ทางไฟฟ้าจะทำให้เกิด ไฮโดรเจนและออกซิเจน จอภาพจะเป็นทรานสดิวเซอร์ชนิดพิเศษที่แปลงสัญญาณทางไฟฟ้าไปเป็นรูปแบบที่มองเห็นเช่น จอภาพซีอาร์ที,จอแอลซีดี ซึ่งเป็นอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงผลที่เราสามารถพบเห็นได้ทั่วไป

โดยทั่วไประบบควบคุมการทำงานของทรานสดิวเตอร์ในทางอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยเซ็นเซอร์ที่อยู่ในส่วนของอินพุตไปยังสัญญาณทางไฟฟ้า จากนั้นสัญญาณไฟฟ้าจะผ่านการขยายสัญญาณ ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ในส่วนของเอาท์พุตของการขยายสัญญาณจะถูกแปลงสัญญาณโดยแอคชิวเอเตอร์เพื่อแสดงบนหน้าจอ ส่วนชนิดและวัสดุที่ทำเป็นตัวเซ็นเซอร์จะแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างชนิดของเซ็นเซอร์และวัสดุที่ใช้ทำเซ็นเซอร์

ชนิดของเซ็นเซอร์	**วัสดุเซ็นเซอร์**	Sensor Function
อุณหภูมิ	$(Mn,Cu)(Mn,CO,Ni)_2O_4$, $COAl_2O_4$,$NiAl_2O_4$, $Mg(Al,Cr,Fe)_4O_4$,Sic, $BaTiO_3$,VO_2, $(Mn,Zn)Fe_2,O_4$	NTC thermistor PTC thermistor Temperature switch
ความชื้น	$MgCr_2O_4$-TiO_3,V_2O_5-TiO_2, $ZnCr_2O_4$-$LiZnVo_4Al_2O_3$, $Ca_{10}(PO_4)(OH)_2$ ZrO2-MgO	ความนำไฟฟ้า
ก๊าซ	SnO_2,ZnO,Y-Fe_2O_3, α-Fe_2O_3,TiO_2MgO CoO-Mgo,Zro_2-CaO	ความนำไฟฟ้า
อิออน	AgX(X:Cl,Br,I,CN,SCN) PbS-Ag_2S,CdS-AgS CuS-Ag_2S	อิออน ซีเล็คทีฟ อิเล็กโตรด
ความเร็วแสง	$Pb(Zr,Ti)O_3$	เปียร์โซอิเล็กตริก (Piezoelectricty)
แสง	$PbTiO_3$,$LiTaO_3$ $LiNbO_3$,$Pb(Zr,Ti)O_3$ $CaF_2Li_2B_4O_7$	Pyroelectricty (Infrared detector) Thernoluminescence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงเทคโนโลยีของเซ็นเซอร์ประเภทต่างๆ

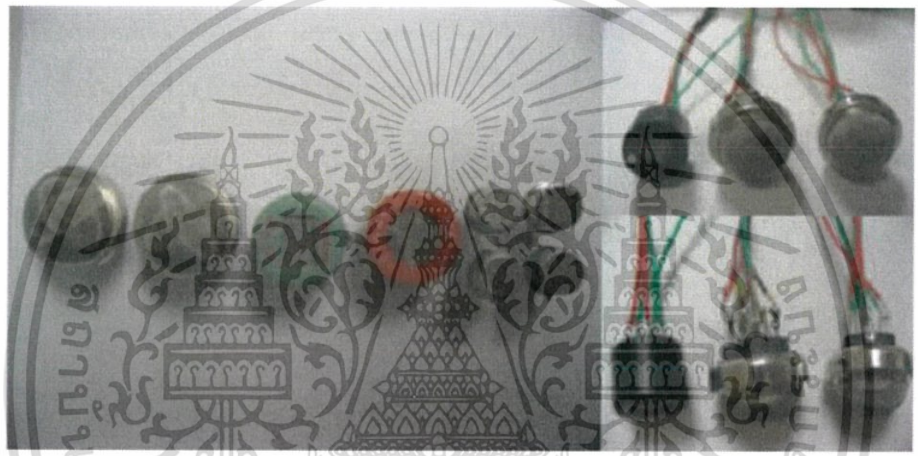
หลักการทำงาน	วัสดุเซ็นเซอร์	ระดับการพัฒนาในปัจจุบัน	ข้อดี	ข้อเสีย
วัดความต้านทาน	สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์	ใช้เชิงพาณิชย์แล้ว	ราคาถูก	ใช้พลังงานเยอะ
วัดความต้านทาน	โพลิเมอร์นำไฟฟ้า	ยังวิจัยอยู่	ทำงานที่อุณหภูมิห้อง	มีปัญหากับความชื้น
วัดความจุไฟฟ้า	โพลิเมอร์	ยังวิจัยอยู่	ทำเป็นชิพได้	มีปัญหากับความชื้น
วัดมวล	การสั่นของผลึกควอตซ์ (Quartz Crystal Microbalance)	ใช้ในเชิงพาณิชย์แล้ว	ความไวสูง	ราคายังสูงอยู่
วัดแสง	กำทอนของคลื่นพลาสมอน (Surface Plasmon Resonance)	ยังวิจัยอยู่	ความไวสูง สัญญาณรบกวนต่ำ	ราคาถูก
วัดกระแส	สารผสมอนินทรีย์หรืออินทรีย์	ใช้เชิงพาณิชย์แล้ว	ราคาถูก	มีขนาดใหญ่

2.9 เซ็นเซอร์รับกลิ่นในท้องตลาด

เซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ได้รับความนิยมสูงที่สุดคือ เซ็นเซอร์ที่เป็นเซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Semiconductor) ซึ่งเรียกว่า MOS ซึ่งมีการนำมาใช้เชิงพาณิชย์เป็นเวลานานมากกว่าสิบปีแล้ว โดยปัจจุบันเหลือเพียงบริษัทเดียวเท่านั้นที่ยังสามารถดำเนินธุรกิจผลิตและจำหน่ายเซ็นเซอร์ประเภทนี้ โดยการซื้อกิจการย่อยๆ ตามประเทศต่างๆ มาไว้ในครอบครอง นั่นคือบริษัท Figaro Engineering แห่งประเทศญี่ปุ่น แต่แม้ว่า เซ็นเซอร์ประเภทนี้จะมีการใช้งานเชิงพาณิชย์แล้ว อีกทั้งยังมีราคาที่ค่อนข้างถูก เช่น มีราคาตั้งแต่ตัวละ 1,000-6,000 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุเซ็นเซอร์ MOS ที่นิยมกันก็ได้แก่ ดีบุกออกไซด์ (SnO_2) สังกะสีออกไซด์ (ZnO) ทังสเตนออกไซด์ (WO_3) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เป็นต้น หลักการทำงานของวัสดุเซ็นเซอร์ 9 ประเภทนี้ก็ค่อนข้างง่าย วัสดุ MOS อยู่ในรูปผลึกเล็กๆ จำนวนมากที่มีผิวสัมผัสต่อกัน โดยในการนำไฟฟ้านั้น อิเล็กตรอนก็จะต้องวิ่งข้ามไปมาระหว่างผิวสัมผัสเหล่านั้น ซึ่งมักจะถูกเคลือบบางๆ ด้วยชั้นของก๊าซออกซิเจน ซึ่งก็จะทำให้เกิดแรงต้านทานไฟฟ้า ที่ทำให้อิเล็กตรอนข้ามไปมาได้ลำบากยิ่งขึ้น แต่ถ้ามีก๊าซซึ่งมีสมบัติทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 200-500 องศาเซลเซียส ก็จะทำให้ชั้นของออกซิเจนที่เคลือบอยู่นั้นลดลงไป ทำให้วัสดุ MOS นำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ซึ่งสมบัติเช่นนี้เอง ที่เราใช้ในการตรวจหากลิ่น ที่มีสมบัติทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง เซ็นเซอร์ชนิดนี้จึงต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่ง เพื่อเผาให้วัสดุมีอุณหภูมิเหมาะสม ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.30 เซ็นเซอร์ประเภท Metal Oxide Semiconductor ที่มีขายตามท้องตลาด

วัสดุเซ็นเซอร์ MOS เป็นสารอนินทรีย์ มีวัสดุอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งสามารถทำงานเป็นเซ็นเซอร์ โดยใช้หลักการเดียวกัน แต่เป็นวัสดุสารอินทรีย์นั่นคือ โพลิเมอร์นำไฟฟ้า ซึ่งผู้ที่ค้นพบได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมีเมื่อ ค.ศ. 2000 โพลิเมอร์นำไฟฟ้ามีสายโซ่ที่มีคุณสมบัติพิเศษ ที่ทำให้อิเล็กตรอน สามารถไหลไปมาได้ภายในสายโซ่และสามารถกระโดดข้ามระหว่างสายโซ่ได้ ซึ่งทำงานโดยการเปลี่ยนแปลงสมบัติการนำไฟฟ้า เมื่อมีโมเลกุลกลิ่นมาสัมผัสที่สายโซ่ของโมเลกุลโพลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 รายละเอียดเกี่ยวกับแก๊ส

2.10.1 ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกน้ำมันดิบในโรงงานน้ำมันหรือการแยกก๊าซธรรมชาติในโรงแยกก๊าซธรรมชาติ ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจะประกอบด้วยส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอน 2 ชนิด คือ โพรเพนและบิวเทน ในอัตราส่วนเท่าใดก็ได้ หรืออาจจะเป็นโพรเพนบริสุทธิ์ 100 เปอร์เซนต์ หรือ บิวเทน บริสุทธิ์ 100 เปอร์เซนต์ ก็ได้

สำหรับประเทศไทยก๊าซหุงต้มส่วนใหญ่ได้จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติโดยอัตราส่วนของโพรเพนและบิวเทนประมาณ 70:30 ซึ่งให้ค่าความร้อนสูง ทำให้ผู้ใช้ประหยัดเวลาและค่าเชื้อเพลิง

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวสามารถให้เป็นเชื้อเพลงในการหุงต้มในครัวเรือน ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และใช้ในยานพาหนะได้ เช่นเดียวกับก๊าซธรรมชาติที่สามารถเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ในประเทศไทยยังไม่มีการนำก๊าซธรรมชาติมาใช้งานในครัวเรือนโดยตรง ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

- เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วยก๊าซโพรเพนและบิวเทนเป็นหลัก
- ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี ปราศจากพิษ (แต่โดยทั่วไปจะเติมสารเคมีลงไปเพื่อความปลอดภัย)
- ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจะหนักกว่าอากาศ
- ติดไฟง่ายในช่วงของการติดไฟที่ 2-15 เปอร์เซนต์ ของปริมาณในอากาศ และอุณหภูมิที่ติดไฟได้เองคือ 400 องศาเซลเซียส
- เป็นเชื้อเพลิงที่นำมาใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพสูง มีการเผาไหม้สมบูรณ์
- ลดการสร้างก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อน
- มีราคาถูก
- ก๊าซอยู่ในสภาพแรงดันต่ำที่ 180 psi (pound per square inch)
- อัตราการสิ้นเปลืองก๊าซธรรมชาติเทียบเท่ากับการใช้เบนซิน

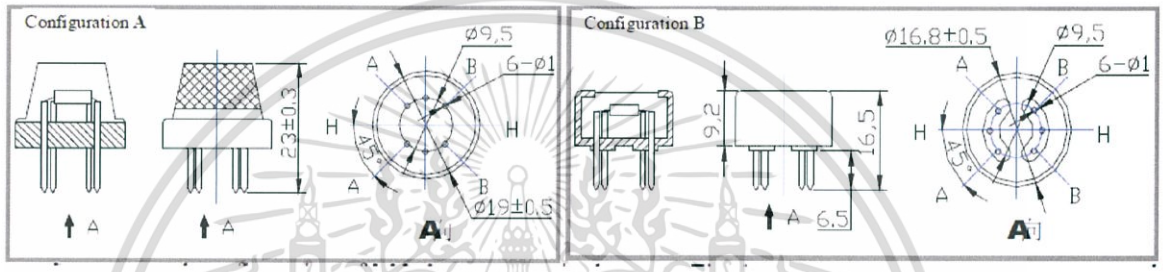
นอกจากนี้ ยังใช้แทนน้ำมันเบนซินในรถยนต์ เนื่องจากราคาถูกกว่า และมีค่าออกเทนสูงถึง 105 RON (Research Octane Number)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 ตัวตรวจจับแก๊ส MQ-2

2.11.1 ลักษณะโครงสร้างของเซ็นเซอร์ก๊าซแอลพีจี

โครงสร้างและการกำหนดค่าของแก๊สเซ็นเซอร์ MQ-2 ตัวเซ็นเซอร์ประกอบไปด้วย หลอด อะลูมิเนียมออกไซด์ (AL2O3) ดีบุกไดออกไซด์ (SnO2) Tin Dioxide (SnO2) sensitive layer ตัววัดขั้วไฟฟ้า และฮีสเตอร์(heater)ที่มีการแก้ไขเปลือกหุ้มเป็นพลาสติกและ สแตนเลส โดยจะมีลักษณะดัง **รูปที่** 2.10.1



รูปที่ 2.31 โครงสร้างของเซ็นเซอร์ก๊าซแอลพีจี

2.11.2 ลักษณะเด่นของเซ็นเซอร์ก๊าซแอลพีจี

-ตรวจสอบก๊าซได้หลายชนิด

2.11.3 ความไวต่อการตอบสนองสูงในการตรวจจับก๊าซแอลพีจี และส่วนประกอบก๊าซ

-โพรเพนและบิวเทน

-มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและราคาถูก

-ใช้วงจรไฟฟ้าอย่างง่ายในการตรวจจับก๊าซ

2.12 เซอร์โวมอเตอร์

2.12.1 การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

การหมุนของเซอร์โวมอเตอร์จะถูกควบคุมด้วยพัลส์หรือลอจิก 1 (5v) เป็นระยะเวลาที่กำหนดและหน่วงเวลาหรือส่งลอจิก 0 เป็นระยะเวลาคงที่ 20 มิลลิวินาทีสลับกันไป ส่งผลให้สามารถควบคุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ได้โดยทิศทางการหมุนเป็นดังนี้

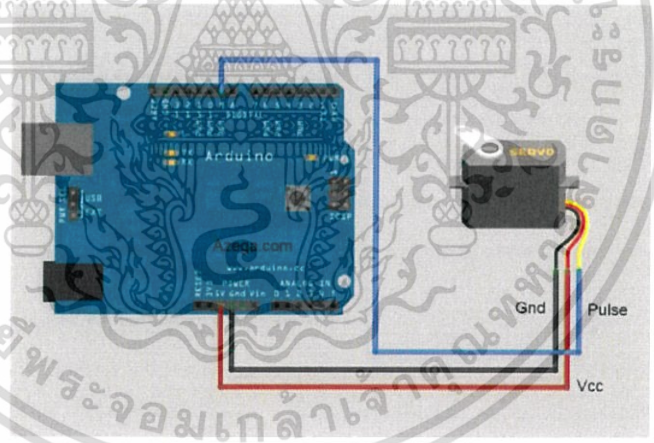
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณพัลส์ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

- เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปทางขวา (ตามเข็มนาฬิกา) เมื่อพัลส์บวกมีความกว้าง 1 มิลลิวินาที (1ms) และพัลส์ลบ 20 มิลลิวินาที
- เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปทางซ้าย(ทวนเข็มนาฬิกา) เมื่อพัลส์บวกมีความกว้าง 2 มิลลิวินาที และพัลส์ลบ 20 มิลลิวินาที
- เซอร์โวมอเตอร์จะอยู่กึ่งกลาง (หยุดหมุน) เมื่อพัลส์บวกมีความกว้าง 1.5 มิลลิวินาที และพัลส์ลบ 20 มิลลิวินาที

2.12.2 โครงสร้างการต่อเซอร์โวมอเตอร์ SG-90 กับอาร์ดูโน่

จะเห็นได้ว่าเซอโวมอเตอร์ sg-90 มีสายไฟจำนวน 3 สาย (รูปที่2.32) สายสีดำต่อกับ กราวด์ในบอร์ดอาร์ดูโน่ , สายสีแดงต่อไฟกระแสตรงจากบอร์ดอาร์ดูโน่ ซึ่งต่อในช่องที่จ่ายไฟ 5v และเส้นสีฟ้าต่อกับช่องในส่วนของดิจิตอลของบอร์ดอาร์ดูโน่ ในส่วนของช่องที่ให้สัญญาณพัลส์



รูปที่ 2.32 โครงสร้างของเซ็นเซอร์ก๊าซแอลพีจี

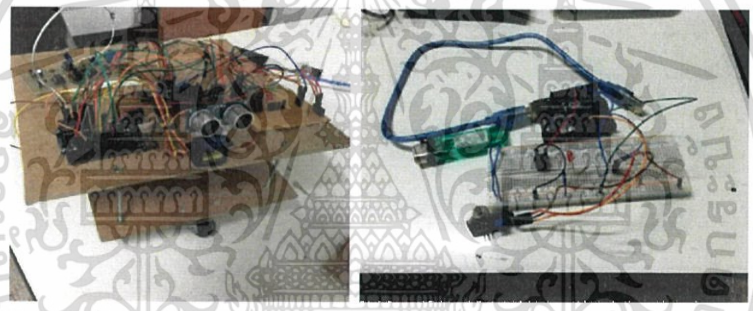
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การสร้างวงจรและการออกแบบ

3.1 ภาพรวมของการทำงานทั้งหมด

การทำงานของระบบนั้น จะแบ่งเป็น 3 โมดูล ดังนี้

1. ในส่วนของเซนเซอร์ มีหน้าที่ตรวจจับปริมาณแก๊ส เมื่อแก๊สเกินค่าที่กำหนด จะทำการแจ้งเตือน
2. ในส่วนของตัวหุ่นยนต์ มีหน้าที่ในการเคลื่อนที่แบบอลวนเพื่อตรวจหาจุดรั่วของแก๊ส
3. ในส่วนของอัลตราโซนิคและเซอร์โวมอเตอร์ มีหน้าที่ในการตรวจวัดระยะทางเพื่อป้องกันการชนสิ่งกีดขวาง และสามารถหาเส้นทางใหม่เมื่อพบสิ่งกีดขวาง



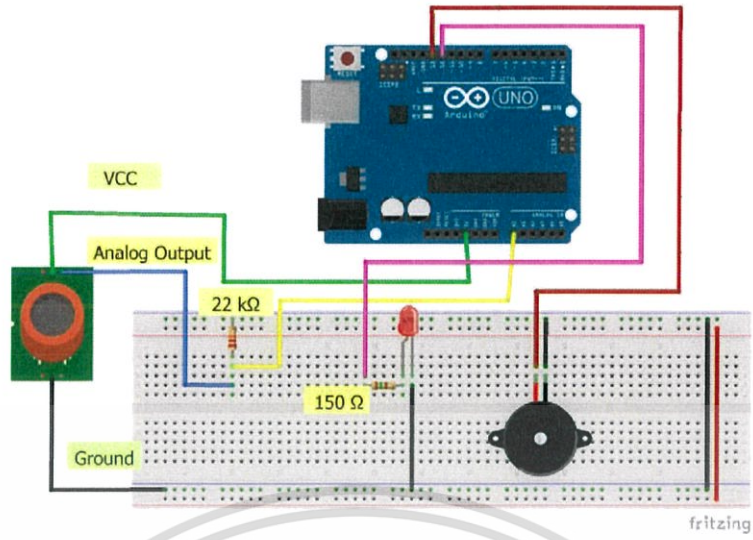
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของการทำงาน

3.2 วงจรรวมของหุ่นยนต์

3.2.1 วงจรตรวจสอบก๊าซ

เป็นวงจรที่ใช้สำหรับตรวจจับปริมาณแก๊สที่มีค่าเกินที่เรากำหนด โดยจะใช้ในการตรวจจับจุดรั่วของแก๊ส โดยเมื่อแก๊สที่รั่วมามีปริมาณเกินที่กำหนด ลำโพงจะเกิดเสียง และไฟแอลอีดีจะเกิดแสงสว่างขึ้น ดังรูป 3.2

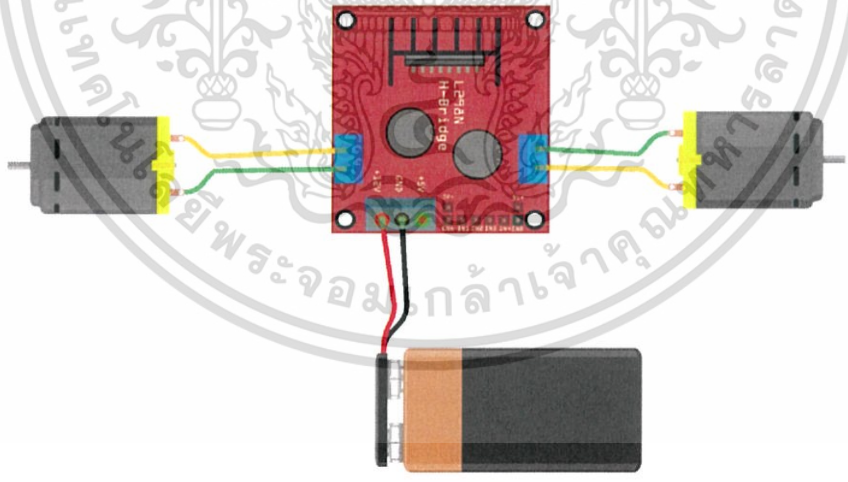
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรแสดงการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับแก๊ส

3.2.2 วงจรขับมอเตอร์

เป็นวงจรที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์โดยผ่านมอเตอร์ไดร์ฟ โดยการจ่ายไฟให้กับวงจรขับมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.3

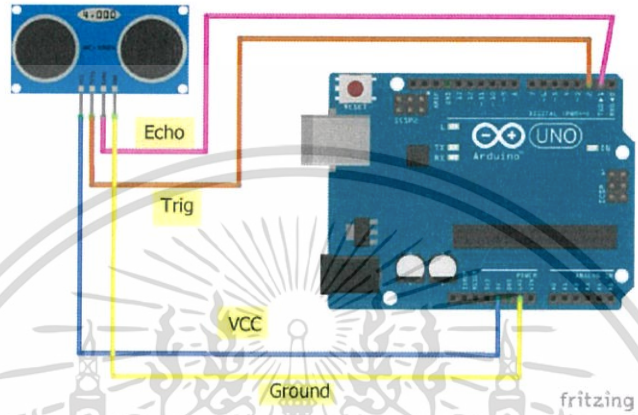


รูปที่ 3.3 วงจรแสดงการทำงานของอุปกรณ์ขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจรตรวจจับและวัดระยะทาง

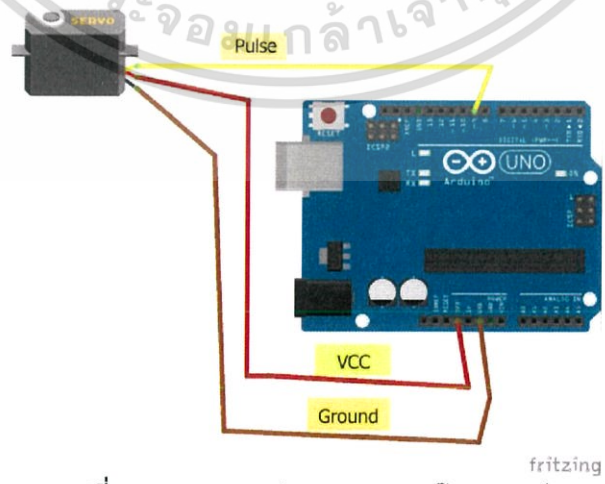
เป็นวงจรที่ใช้วัดระยะทาง ระหว่างตัวหุ่นยนต์และสิ่งกีดขวาง เพื่อที่จะกำหนดค่าระยะทางที่เหมาะสมที่จะหยุดการวิ่งของหุ่นยนต์ก่อนที่จะชนสิ่งกีดขวาง แล้วหุ่นยนต์จะทำการถอยหลังและเลือกเส้นทางใหม่



รูปที่ 3.4 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับและวัดระยะทาง

3.2.4 วงจรเซอร์โวมอเตอร์

เป็นวงจรที่ใช้ทำการหมุนอัลตราโซนิคซึ่งติดไว้กับเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อทำการตรวจวัดระยะทางได้โดยรอบ

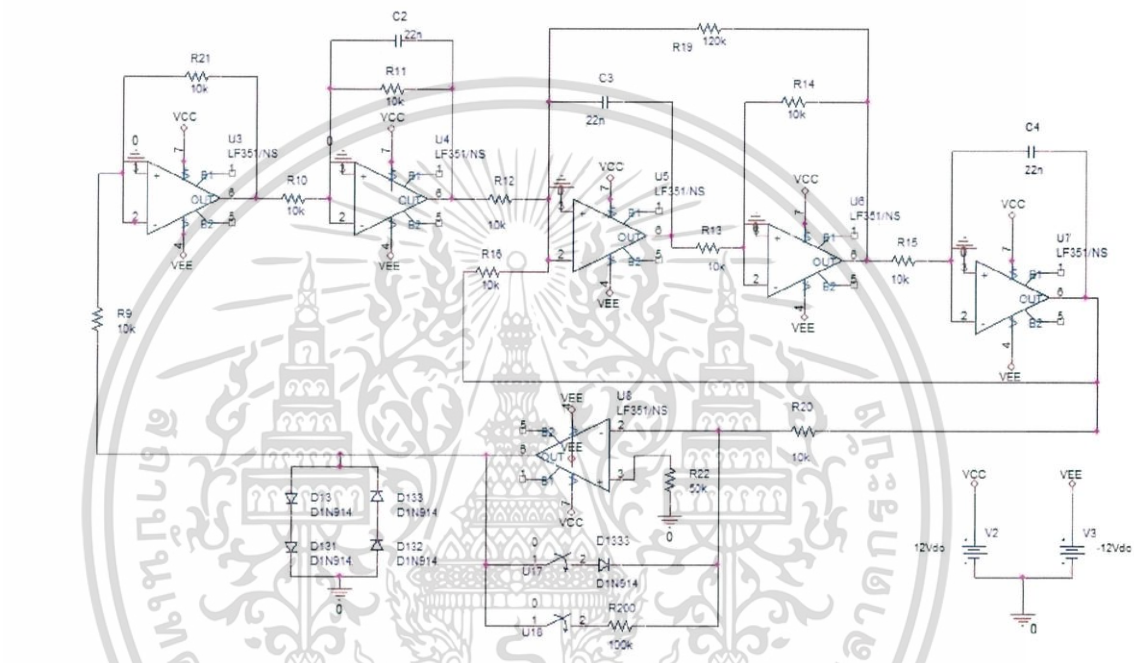


รูปที่ 3.5 แสดงการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การสร้างเคออสแบบวงจรอนาล็อก

ในการออกแบบวงจรสาหรับสร้างสัญญาณเคออสแบบอนาล็อกสามารถสร้างได้ง่ายโดยอาศัยรูปแบบสมการของลอเรนซ์ ซึ่งสมการมีความซับซ้อนไม่มากอีกทั้งฟังก์ชันแบบไม่เชิงเส้นในสมการบางสมการสามารถสร้างได้โดยใช้วงจรไฟฟ้า



รูปที่ 3.6 วงจรเคออสที่ออกแบบในโปรแกรม Pspice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีการทดลองและผลการทดลอง

4.1 วิธีการทดลอง

4.1.1 ทดสอบวงจร mq-2 แก๊สเซนเซอร์

จุดประสงค์

เพื่อทดสอบว่า เมื่อแก๊สแอลพีจีถึงปริมาณที่กำหนดจะมีการแจ้งเตือนหรือไม่

วิธีทดลอง

1) ต่อวงจร mq-2 แก๊สเซนเซอร์ ดังรูปที่ 3.2

2) นำไฟแช็คแก๊สมาจุดใกล้ๆบริเวณ mq-2 แก๊สเซนเซอร์

3) บันทึกผลการทดลอง

4.1.2 ทดสอบวงจรขยาย

จุดประสงค์

เพื่อศึกษาหลักการควบคุม และวงจรขยายเพื่อนำไปขับมอเตอร์กระแสตรงขนาดเล็ก

วิธีทดลอง

1) ต่อวงจรขยายเข้ากับวงจรเคออสโดยผ่านมอเตอร์กระแสตรง

2) เปิดสวิทช์ใช้จ่ายไฟให้กับวงจร ปรับให้ V_{in} = 0 volt วัดค่า V_{out}

3) ปรับ V_{in} ให้เป็น + และ – สลับกันหลายๆ ค่าวัด V_{out}

4) เปิดสวิทช์จ่ายไฟเข้ากับวงจรปรับให้ V_{in} = 0 volt วัดค่า V_{out}, I_{in} และ I_{out}

5) ปรับ V_{in} ให้เป็น + และ – สลับกันหลายๆ ค่าวัด V_{out}, I_{in} และ I_{out}

6) บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ทดสอบวงจรตรวจจับและวัดระยะทาง

จุดประสงค์

เพื่อวัดระยะทางที่ถูกต้อง เพื่อนำไปปรับใช้กับหุ่นยนต์ ในการป้องกันหุ่นยนต์ชนกำแพง

วิธีทดลอง

1) นำอุปกรณ์อัลตราโซนิคมาต่อวงจร ดังรูปที่ 3.4

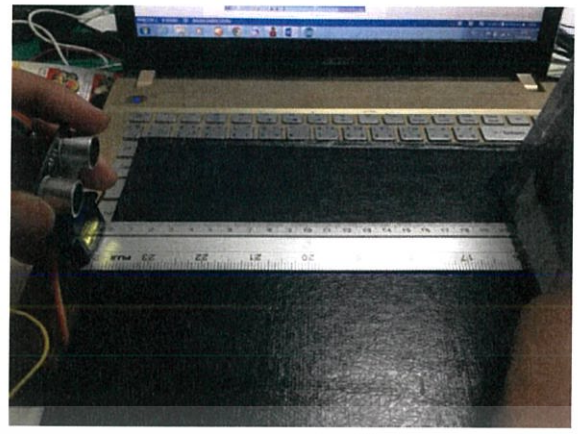
2) นำมาวัดระยะทาง 10 15 และ 20 เซนติเมตร

3) บันทึกผลการทดลอง

รูปที่ 4.1 แสดงการวัดระยะทาง 10 เซนติเมตร

รูปที่ 4.2 แสดงการวัดระยะทาง 15 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

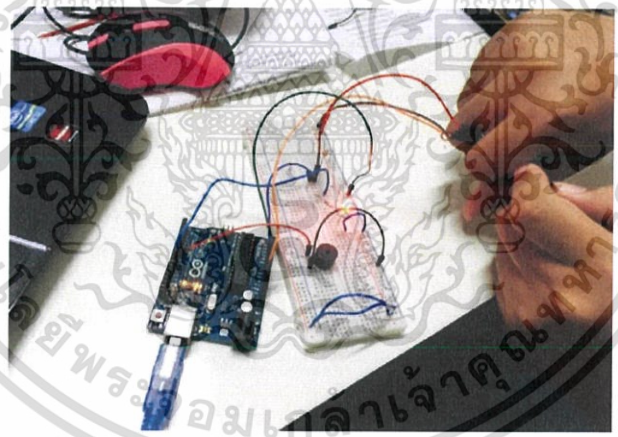


รูปที่ 4.3 แสดงการวัดระยะทาง 20 เซนติเมตร

4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองตอนที่ 4.1.1

พบว่าเมื่อทำการจุดไฟแช็คแก๊สใกล้ๆกับ mq-2 แก๊สเซนเซอร์ แล้วปริมาณแก๊สถึงค่าที่กำหนดไว้ จะทำให้ลำโพงเกิดเสียงแจ้งเตือน และหลอดไฟแอลอีดีจะเกิดแสงสว่างติดขึ้นมา

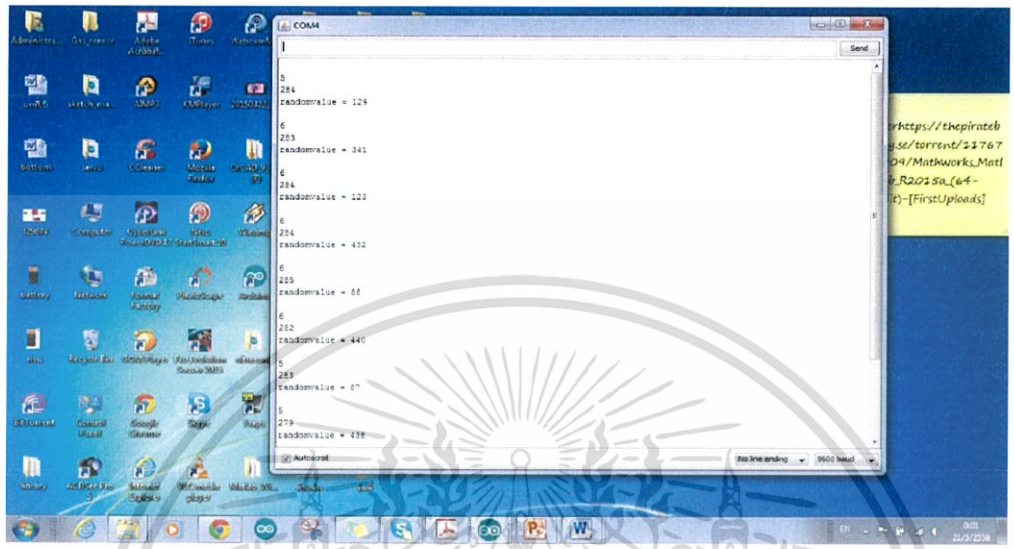


รูปที่ 4.4 ผลการทดลองที่ได้จากการจุดไฟแช็คแก๊สใกล้ๆ mq-2 แก๊สเซนเซอร์

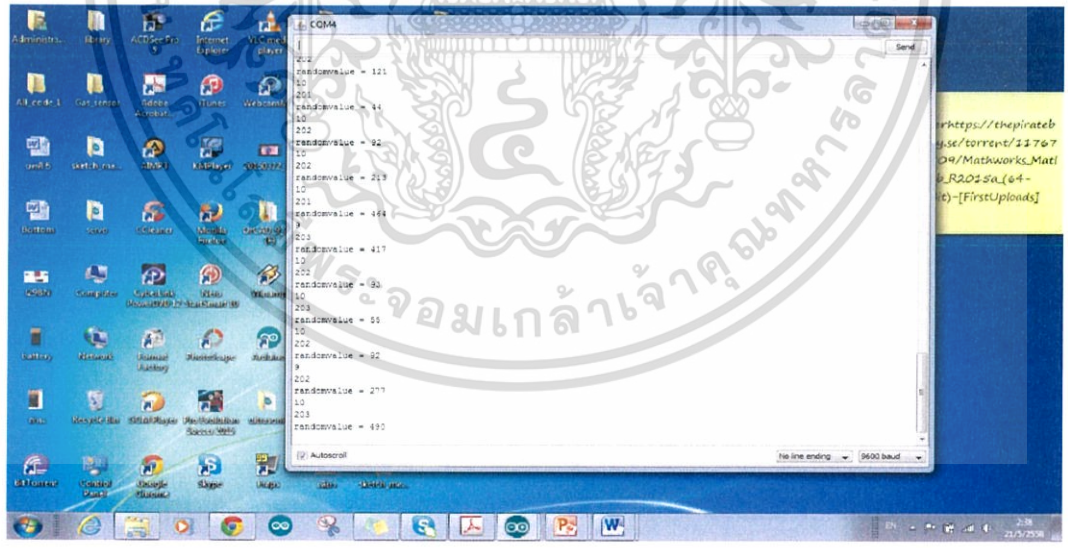
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองตอนที่ 4.1.2

จะพบว่าเมื่อทำการรันโปรแกรมแล้วนั้นค่าที่ได้ออกมานั้นจะเป็นค่าสุ่มที่ยากต่อการคาดเดา ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 ค่าที่ได้จากการรันโปรแกรมอาร์ดูโน่ในวงจรเคออส

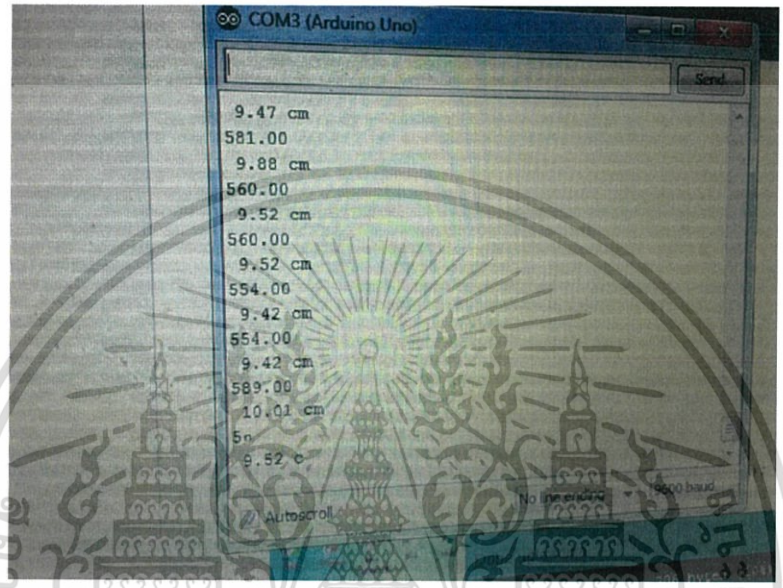


รูปที่ 4.6 ค่าที่ได้จากการรันโปรแกรมอาร์ดูโน่ในวงจรเคออส (1)

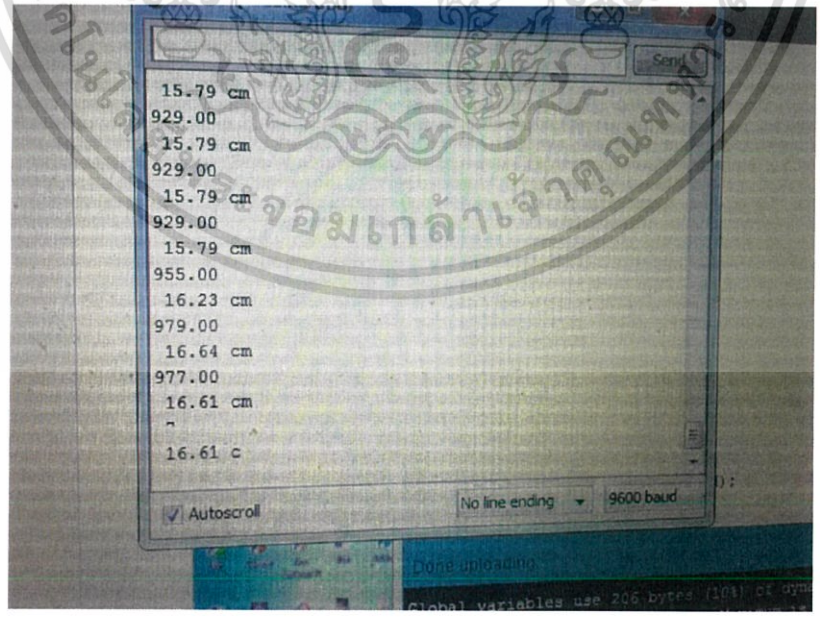
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองตอนที่ 4.1.3

จะเห็นว่าระยะทางที่วัดได้จากอัลตราโซนิค จะมีค่าใกล้เคียงกับระยะห่างจริง ซึ่งอาจจะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย จากการขยับของสิ่งกีดขวาง

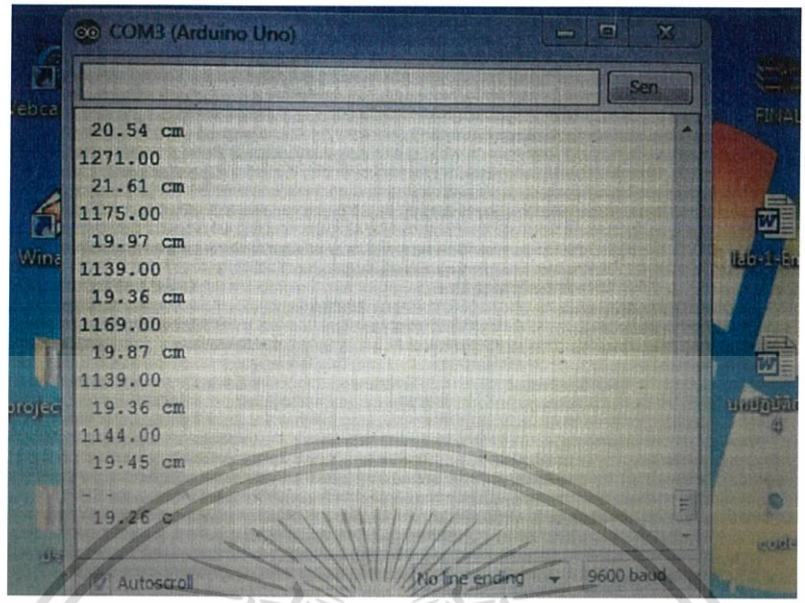


รูปที่ 4.7 ผลจากการวัดระยะทาง 10 เซนติเมตร



รูปที่ 4.8 ผลจากการวัดระยะทาง 15 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ผลจากการวัดระยะทาง 20 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

หุ่นยนต์อลวนหาจุดรั่วของก๊าซ สามารถตรวจจับก๊าซแอลพีจี ในอากาศได้และทำการแจ้งเตือน เพื่อให้ทราบว่าบริเวณนั้นมีก๊าซแอลพีจีอยู่ในอากาศ ซึ่งอุปกรณ์จะแจ้งเตือนจนกว่าจะมีการกดปุ่มรีเซท สามารถนำไปใช้งานได้จริงในบริเวณที่ใกล้แหล่งเก็บก๊าซแอลพีจี เพื่อการแจ้งเตือนผู้คนบริเวณใกล้เคียงหากเกิดการรั่วไหลของก๊าซแอลพีจีเกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะเป็นไปตามทฤษฎีอลวน(Chaos theory) ไม่สามารถทำนายการเคลื่อนที่ได้ แต่ยังสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ด้วยอุปกรณ์ที่นำมาประยุกต์ใช้กับตัวหุ่น ทำให้มีความมั่นใจได้ในการทำงานของตัวหุ่นยนต์

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

1. ปัญหาเกี่ยวกับวงจร

การออกแบบวงจรนั้นต้องแปลงสมการของลอเรนซ์ ทำให้ต้องใช้เวลาอย่างมากในการหาอัตราขยายที่เหมาะสมอีกทั้งการออกแบบในโปรแกรม Pspice พบว่าเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นโปรแกรมไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าเกิดความผิดพลาดที่จุดใด การต่อวงจรจริงอุปกรณ์ชำรุดเสียหายทำให้ในบางครั้งการทดลองไม่ได้ผลตามที่ต้องการ

2. ปัญหาเกี่ยวกับโปรแกรม

จากการที่ต้องแปลงสมการคณิตศาสตร์มาเป็น block diagram นั้นมีความซับซ้อน ทำให้ต้องใช้เวลาในการปรับตัวค่อนข้างมากจึงทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน

3. ปัญหาเกี่ยวกับการทดลอง

การทดลองหุ่นยนต์อลวนหาจุดรั่วของก๊าซประสบปัญหาเนื่องแก๊สเซนเซอร์ มีระยะการตรวจจับค่อนข้างน้อย ทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถแสดงความสามารถในการทำงานได้มากเท่าที่ควร และการทดลองจำเป็นต้องระมัดระวังเป็นอย่างยิ่ง เพื่อป้องกันอัคคีภัยที่อาจเกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางในการแก้ไขปัญหา

1. ต้องใช้เวลาในการศึกษาให้มากขึ้น ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษา ขอคำแนะนำจากผู้ชำนาญท่านอื่นๆ และสืบค้นวิธีการแก้ปัญหาจากหนังสือและอินเตอร์เน็ตเพิ่มเติม

2. การทดลองหุ่นยนต์ต้องทำในพื้นที่ปิด เพื่อให้ก๊าซมีพื้นที่แพร่กระจายน้อย มีความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้สามารถตรวจจับได้ง่ายขึ้น และเป็นการป้องกันอัคคีภัยอีกทางหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ภคิณี ศิริธรรมจักร และ ศิริพร กานต์กรกช และ สุชญา เชื้อขำ, การสร้างสัญญาณชีวภาพ โดยใช้ทฤษฎีอลวน (A construction of bio-signal using chaos theory), ปริญญานิพนธ์(วศ.บ (วิศวกรรมสารสนเทศ)) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2533

[2] วีนเดช พานิชย์วิลัย และ อัคร ใจยงค์, หุ่นยนต์อลวนสำหรับงานภาคสนาม(Chaotic Robot for Field Tasks), ปริญญานิพนธ์ (วศ.บ(วิศวกรรมสารสนเทศ)) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547

[3] Operational Amplifier. On-line. Available from Internet, http://en.wikipedia.org/wiki/Operational_amplifier

[4] Comparator . On-line. Available from Internet, http://en.wikipedia.org/wiki/Comparator

[5] Diode . On-line. Available from Internet, https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly1/wiki/d24e0/_.html

[6] Motor . On-line. Available from Internet, http://202.129.59.73/tn/motor10-52/motor1.htm

[7] MQ-2 Gas Sensor . On-line. Available from Internet, http://gasleakagedetector.blogspot.com

[8] Pulse. On-line. Available from internet, http://www.chapoo.hostei.com/page4.php

[9] Ultrasonic. On-line.Available from internet, http://www.robosoftsystems.co.in/wikidocs/index.php?title=Ultrasonic_Sensor_(HC-SR04)

[10] Servo Motor. On-line.Available from internet, http://en.wikipedia.org/wiki/Servomotor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

รายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์

1. LF351

2. TIP 41

3. TIP 42

4. MQ-2

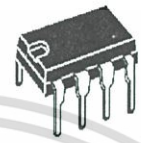
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

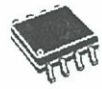
LF151
LF251 - LF351

WIDE BANDWIDTH SINGLE J-FET OPERATIONAL AMPLIFIER

- INTERNALLY ADJUSTABLE INPUT OFFSET VOLTAGE
- LOW POWER CONSUMPTION
- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J–FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : 16V/µs (typ)



N
DIP8
(Plastic Package)



D
SO8
(Plastic Micropackage)

DESCRIPTION

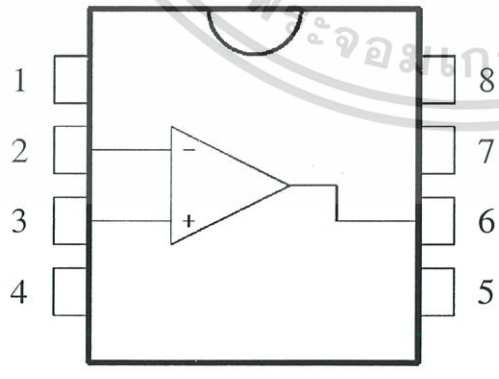
These circuits are high speed J–FET input single operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J–FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

ORDER CODES

Part Number	Temperature	Package	
		N	D
LF351	0°C, +70°C	•	•
LF251	–40°C, +105°C	•	•
LF151	–55°C, +125°C	•	•

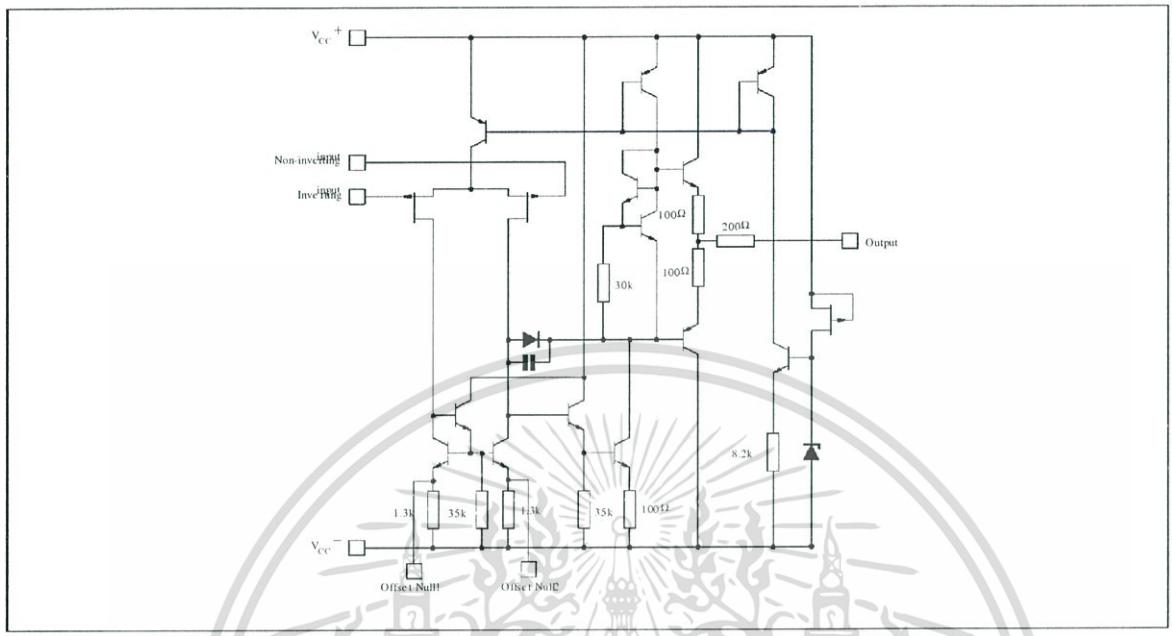
PIN CONNECTIONS (top view)



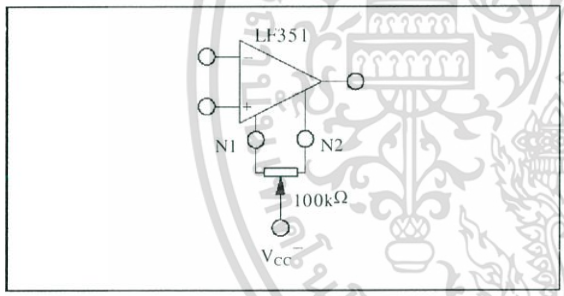
1 - Offset Null 1
2 - Inverting input
3 - Non-inverting input
4 - V_{CC}^-
5 - Offset Null 2
6 - Output
7 - V_{CC}^+
8 - N.C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCHEMATIC DIAGRAM



INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUITS



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_{CC}	Supply Voltage - (note 1)		±18	V
V_i	Input Voltage - (note 3)		±15	V
V_{id}	Differential Input Voltage - (note 2)		±30	V
P_{tot}	Power Dissipation		680	mW
	Output Short-circuit Duration - (note 4)		Infinite	
T_{oper}	Operating Free Air Temperature Range	LF351 LF251 LF151	0 to 70 –40 to 105 –55 to 125	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range		–65 to 150	°C

Notes :
1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC}^+ and V_{CC}^-.
2. Differential voltages are at the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and /or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

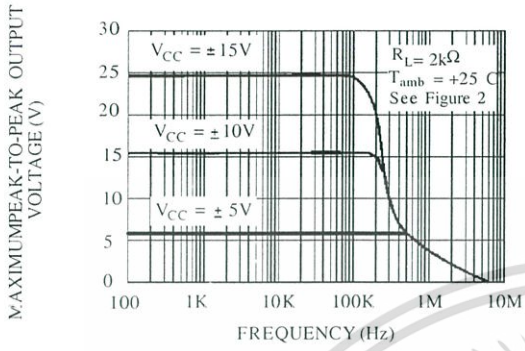
V_{CC} = ±15V, T_{amb} = 25°C (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	LF151 - LF251 - LF351			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage (R_S = 10kΩ) T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max.}$		3	10 13	mV
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		10		µV/°C
I_{io}	Input Offset Current * T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max.}$		5	100 4	pA nA
I_{ib}	Input Bias Current * T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max.}$		20	200 20	pA nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain (R_L = 2kΩ, V_O = ±10V) T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max}$	50 25	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio (R_S = 10kΩ) T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max}$	80 80	86		dB
I_{CC}	Supply Current (no load) T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max}$		1.4	3.4 3.4	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range	±11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio (R_S = 10kΩ) T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max}$	70 70	86		dB
Ios	Output Short-circuit Current T_{amb} = 25°C $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max}$	10 10	40	60 60	mA
$\pm V_{OPP}$	Output Voltage Swing T_{amb} = 25°C R_L = 2kΩ R_L = 10kΩ $T_{min.} \le T_{amb} \le T_{max}$ R_L = 2kΩ R_L = 10kΩ	10 12 10 12	12 13.5		V
SR	Slew Rate (V_i = 10V, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, T_{amb} = 25°C, unity gain)	12	16		V/µs
t_r	Rise Time (V_i = 20mV, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, T_{amb} = 25°C, unity gain)		0.1		µs
K_{OV}	Overshoot (V_i = 20mV, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, T_{amb} = 25°C, unity gain)		10		%
GBP	Gain Bandwidth Product (f = 100kHz, T_{amb} = 25°C, V_{in} = 10mV, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF)	2.5	4		MHz
R_i	Input Resistance		10^{12}		Ω
THD	Total Harmonic Distortion (f = 1kHz, A_V = 20dB, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, T_{amb} = 25°C, V_O = $2V_{PP}$)		0.01		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage (f = 1kHz, R_s = 100Ω)		15		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
Øm	Phase Margin		45		Degrees

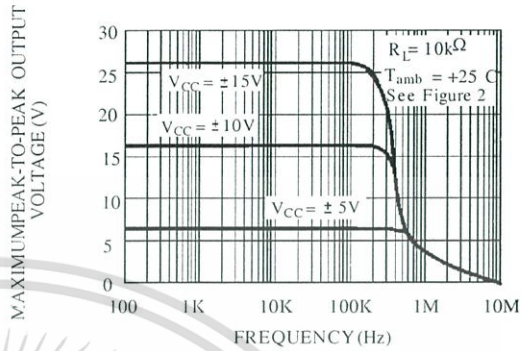
* The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

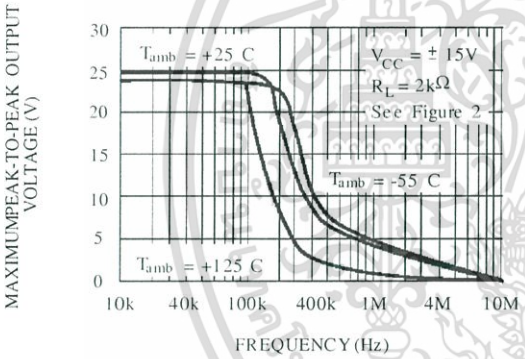
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



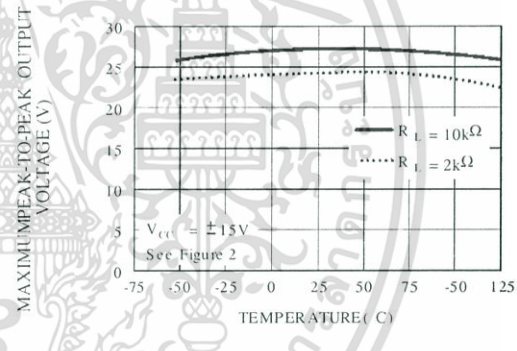
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



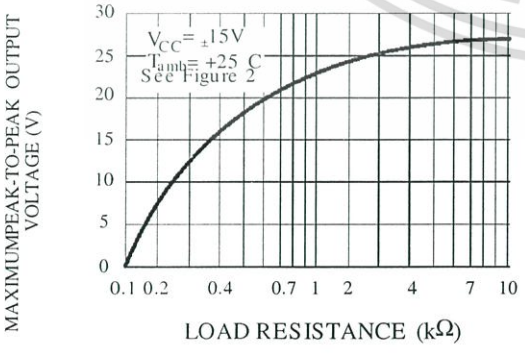
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



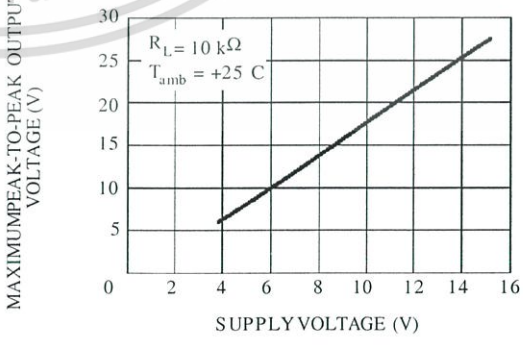
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREE AIR TEMP.



MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS LOAD RESISTANCE



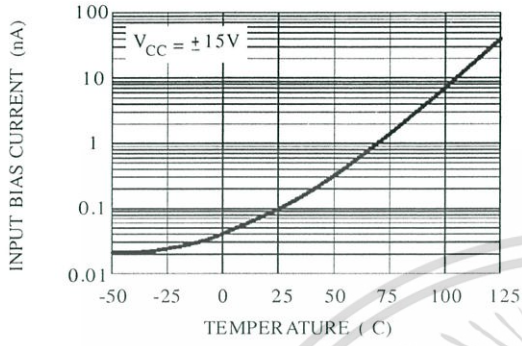
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS SUPPLY VOLTAGE



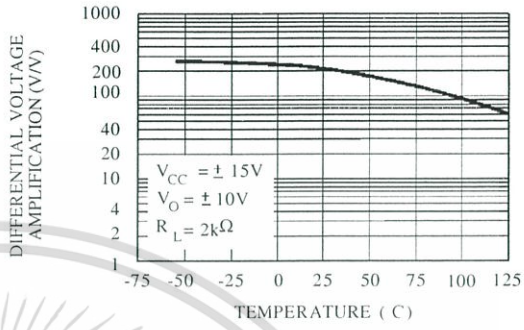
SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

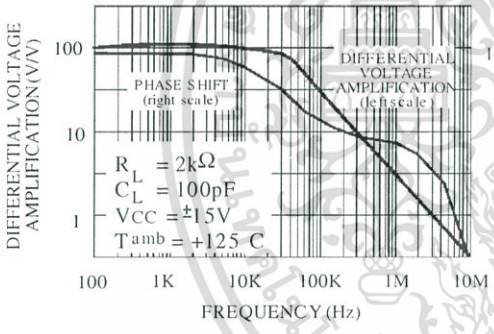
INPUT BIAS CURRENT VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



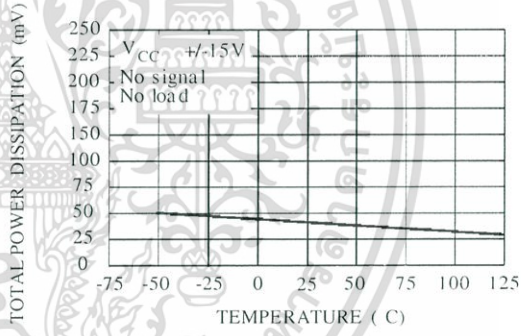
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



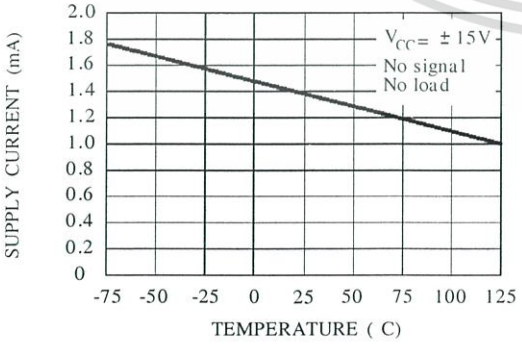
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION AND PHASE SHIFT VERSUS FREQUENCY



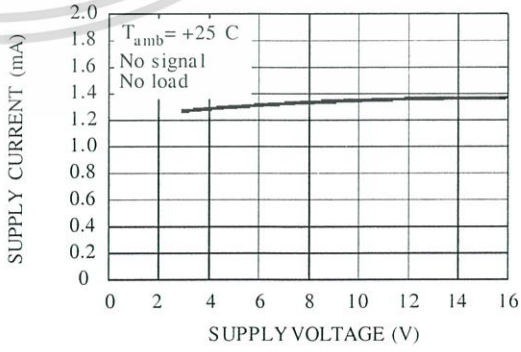
TOTAL POWER DISSIPATION VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER VERSUS FREE AIR TEMPERATURE

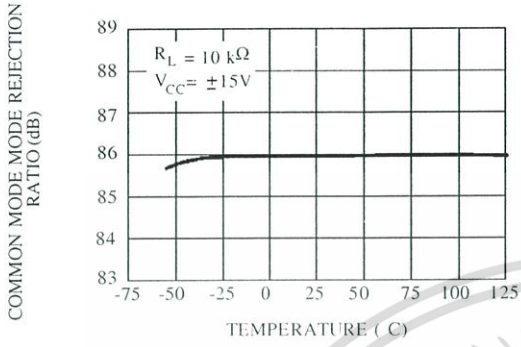


SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER VERSUS SUPPLY VOLTAGE

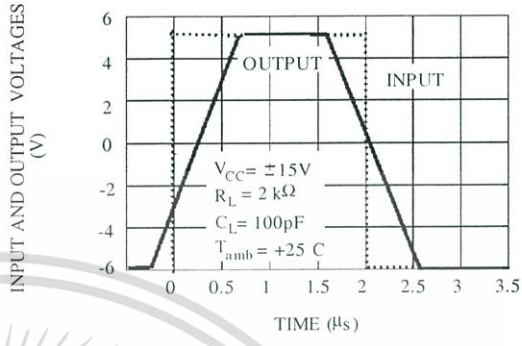


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

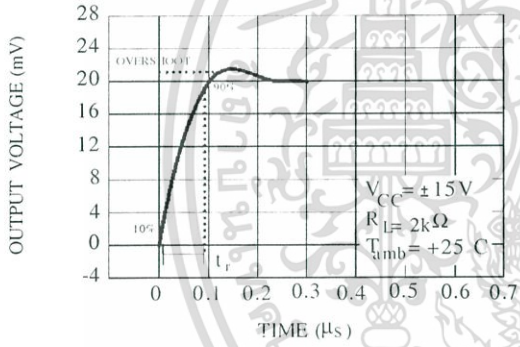
COMMON MODE REJECTION RATIO VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



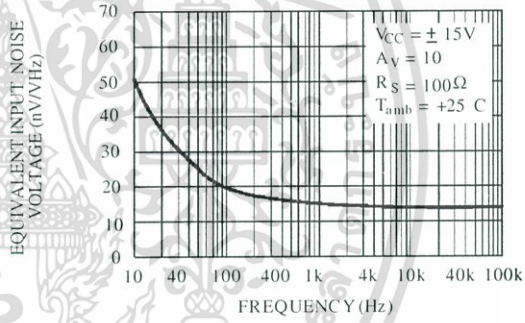
VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE



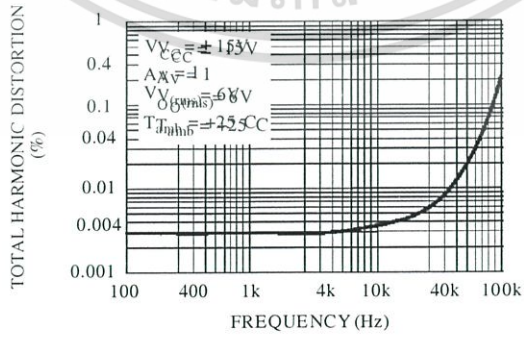
OUTPUT VOLTAGE VERSUS ELAPSED TIME



EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



TOTAL HARMONIC DISTORTION VERSUS FREQUENCY



SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Figure 1 : Voltage Follower

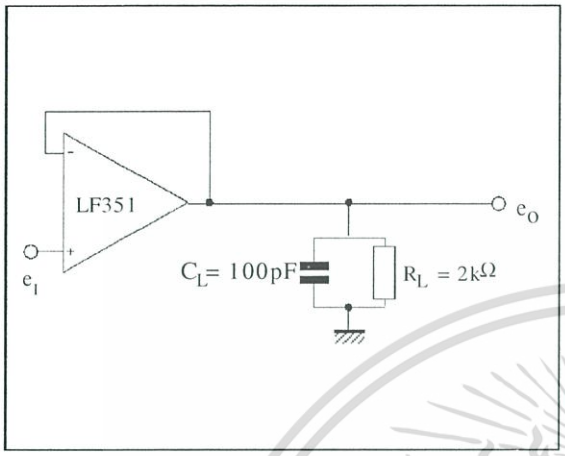
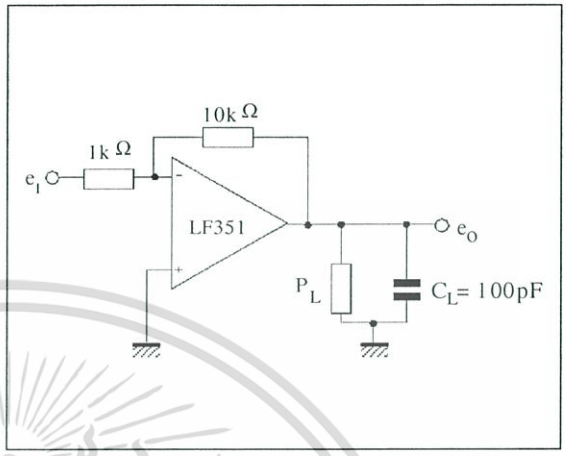
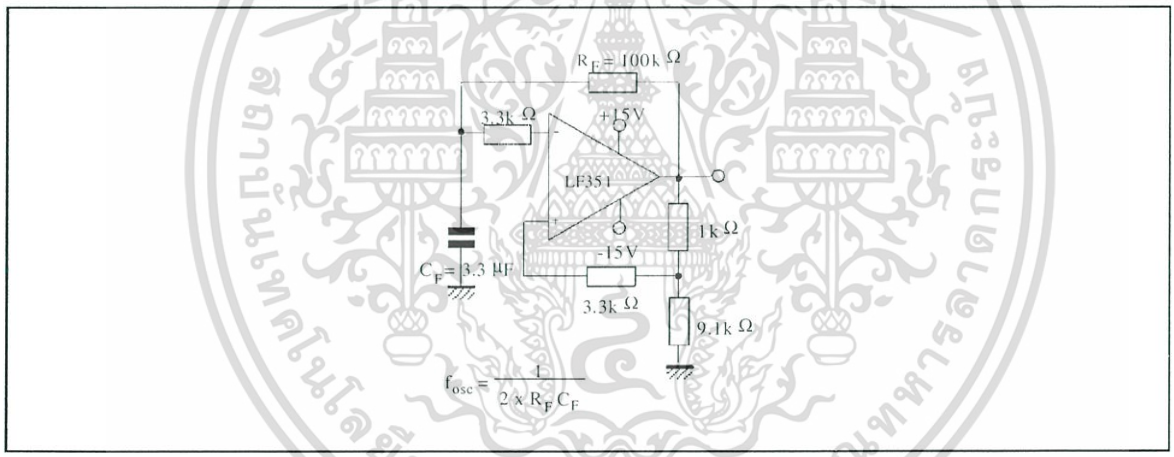


Figure 2 : Gain-of-10 Inverting Amplifier

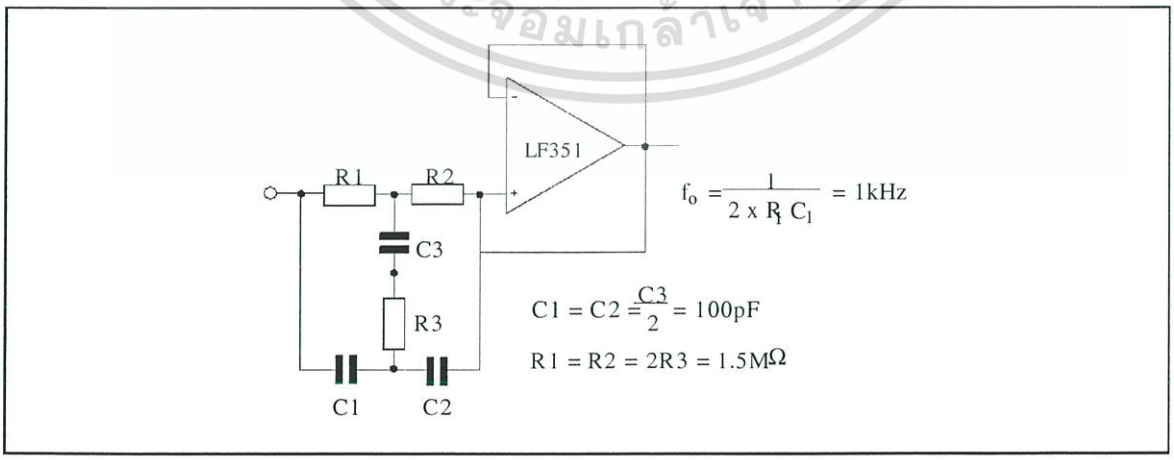


TYPICAL APPLICATION

(0.5Hz) SQUARE WAVE OSCILLATOR



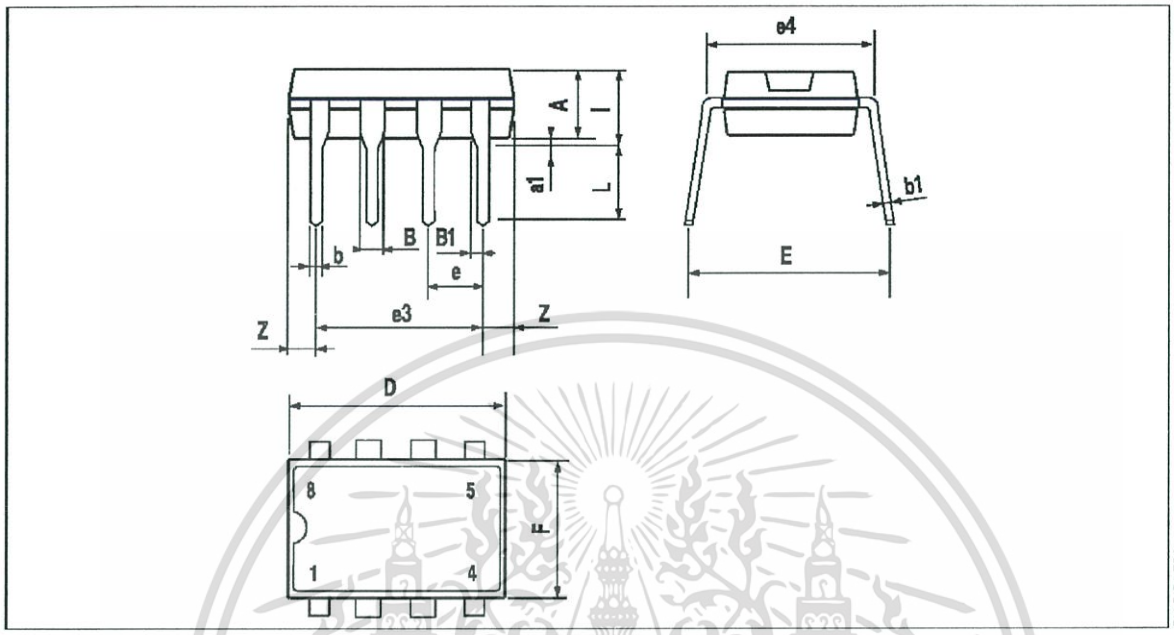
HIGH Q NOTCH FILTER



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE MECHANICAL DATA

8 PINS - PLASTIC DIP



PM-DIP8.EPS

Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

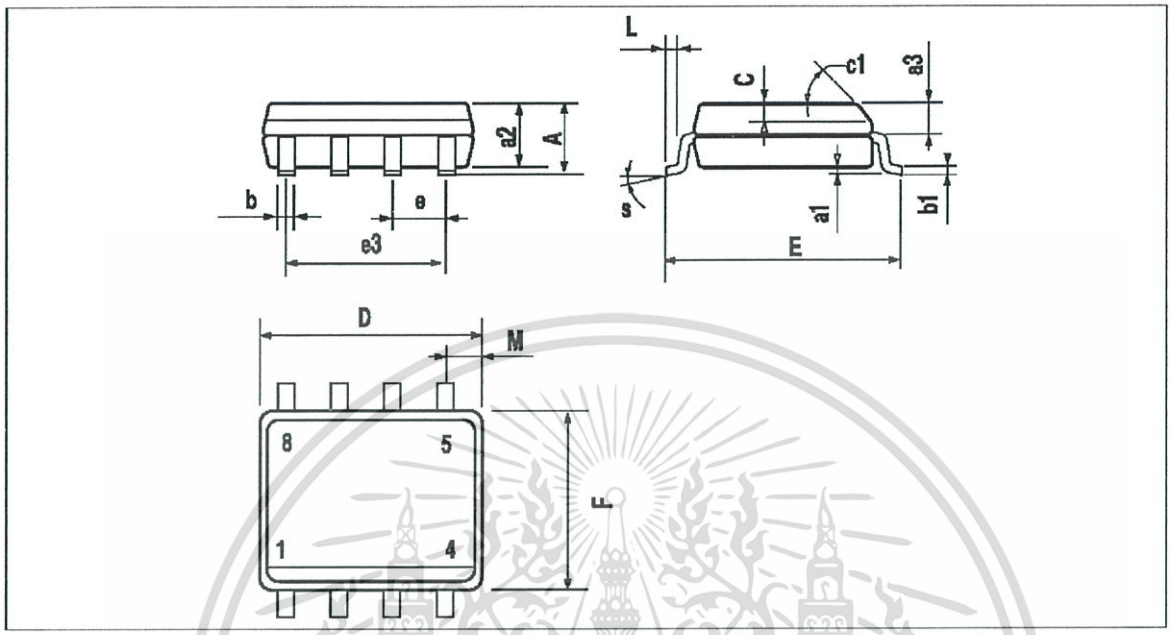
DIP8.TBL

SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE MECHANICAL DATA

8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



PM-SO8 EPS

Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1	45° (typ.)					
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S	8° (max.)					

SO8 TBL

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1997 SGS-THOMSON Microelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved

SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES
Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco
The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

ORDER CODE :

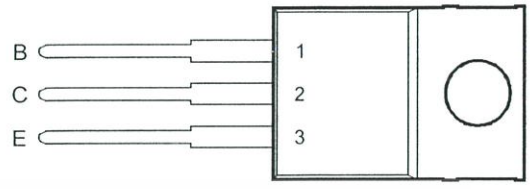
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Copyright © 1997, Power Innovations Limited, UK

DECEMBER 1970 - REVISED MARCH 1997

- **Designed for Complementary Use with the TIP42 Series**
- **65 W at 25°C Case Temperature**
- **6 A Continuous Collector Current**
- **10 A Peak Collector Current**
- **Customer-Specified Selections Available**

TO-220 PACKAGE
(TOP VIEW)



Pin 2 is in electrical contact with the mounting base.

MDTRACA

absolute maximum ratings at 25°C case temperature (unless otherwise noted)

RATING		SYMBOL	VALUE	UNIT
Collector-base voltage (I_E = 0)	TIP41	V_{CBO}	80	V
	TIP41A		100	
	TIP41B		120	
	TIP41C		140	
Collector-emitter voltage (I_B = 0)	TIP41	V_{CEO}	40	V
	TIP41A		60	
	TIP41B		80	
	TIP41C		100	
Emitter-base voltage		V_{EBO}	5	V
Continuous collector current		I_C	6	A
Peak collector current (see Note 1)		I_{CM}	10	A
Continuous base current		I_B	3	A
Continuous device dissipation at (or below) 25°C case temperature (see Note 2)		P_{tot}	65	W
Continuous device dissipation at (or below) 25°C free air temperature (see Note 3)		P_{tot}	2	W
Unclamped inductive load energy (see Note 4)		$½LI_C^2$	62.5	mJ
Operating junction temperature range		T_j	-65 to +150	°C
Storage temperature range		T_{stg}	-65 to +150	°C
Lead temperature 3.2 mm from case for 10 seconds		T_L	250	°C

NOTES: 1. This value applies for $t_p \leq 0.3$ ms, duty cycle ≤ 10%.
2. Derate linearly to 150°C case temperature at the rate of 0.52 W/°C.
3. Derate linearly to 150°C free air temperature at the rate of 16 mW/°C.
4. This rating is based on the capability of the transistor to operate safely in a circuit of: L = 20 mH, $I_{B(on)}$ = 0.4 A, R_{BE} = 100 Ω, $V_{BE(off)}$ = 0, R_S = 0.1 Ω, V_{CC} = 20 V.

PRODUCT INFORMATION

Information is current as of publication date. Products conform to specifications in accordance with the terms of Power Innovations standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Power INNOVATIONS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เว้นแต่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของลิขสิทธิ์ ทั้งนี้ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER		TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{(BR)CEO}$	Collector-emitter breakdown voltage	I_C = 30 mA (see Note 5)	I_B = 0	TIP41	40			V
				TIP41A	60			
				TIP41B	80			
				TIP41C	100			
I_{CES}	Collector-emitter cut-off current	V_{CE} = 80 V	V_{BE} = 0	TIP41			0.4	mA
		V_{CE} = 100 V	V_{BE} = 0	TIP41A			0.4	
		V_{CE} = 120 V	V_{BE} = 0	TIP41B			0.4	
		V_{CE} = 140 V	V_{BE} = 0	TIP41C			0.4	
I_{CEO}	Collector cut-off current	V_{CE} = 30 V	I_B = 0	TIP41/41A			0.7	mA
		V_{CE} = 60 V	I_B = 0	TIP41B/41C			0.7	
I_{EBO}	Emitter cut-off current	V_{EB} = 5 V	I_C = 0				1	mA
h_{FE}	Forward current transfer ratio	V_{CE} = 4 V	I_C = 0.3 A	(see Notes 5 and 6)	30			
		V_{CE} = 4 V	I_C = 3 A		15		75	
$V_{CE(sat)}$	Collector-emitter saturation voltage	I_B = 0.6 A	I_C = 6 A	(see Notes 5 and 6)			1.5	V
V_{BE}	Base-emitter voltage	V_{CE} = 4 V	I_C = 6 A	(see Notes 5 and 6)			2	V
h_{fe}	Small signal forward current transfer ratio	V_{CE} = 10 V	I_C = 0.5 A	f = 1 kHz	20			
$\|h_{fe}\|$	Small signal forward current transfer ratio	V_{CE} = 10 V	I_C = 0.5 A	f = 1 MHz	3			

NOTES: 5. These parameters must be measured using pulse techniques, t_p = 300 µs, duty cycle ≤ 2%.
6. These parameters must be measured using voltage-sensing contacts, separate from the current carrying contacts.

thermal characteristics

PARAMETER		MIN	TYP	MAX	UNIT
$R_{\theta JC}$	Junction to case thermal resistance			1.92	°C/W
$R_{\theta JA}$	Junction to free air thermal resistance			62.5	°C/W

resistive-load-switching characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER		TEST CONDITIONS †			MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{on}	Turn-on time	I_C = 6 A	$I_{B(on)}$ = 0.6 A	$I_{B(off)}$ = -0.6 A		0.6		µs
t_{off}	Turn-off time	$V_{BE(off)}$ = -4 V	R_L = 5 Ω	t_p = 20 µs, dc ≤ 2%		1		µs

† Voltage and current values shown are nominal; exact values vary slightly with transistor parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

TYPICAL DC CURRENT GAIN vs COLLECTOR CURRENT

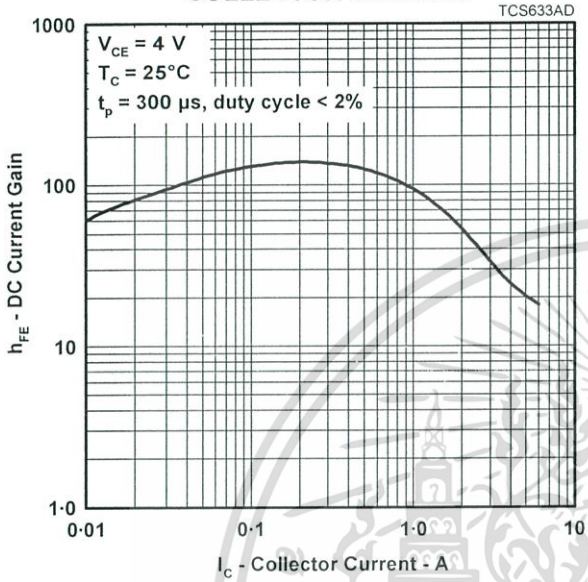


Figure 1.

COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE vs BASE CURRENT

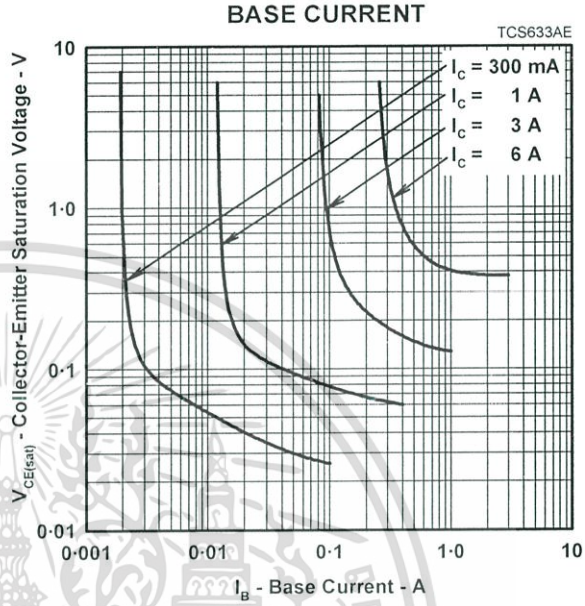


Figure 2.

BASE-EMITTER VOLTAGE vs COLLECTOR CURRENT

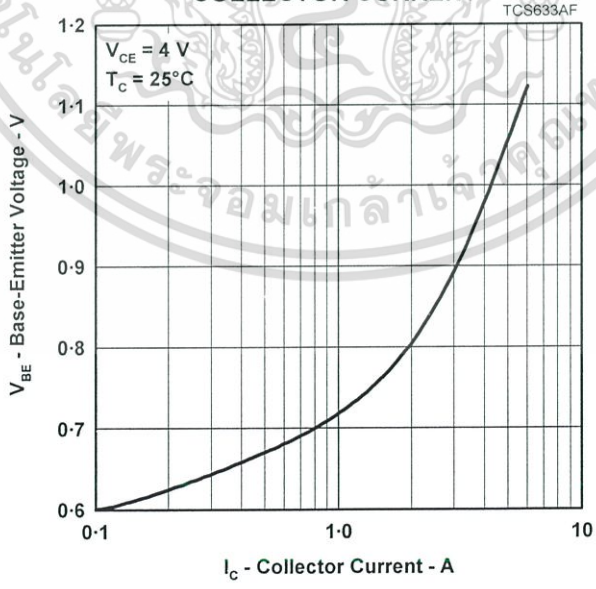


Figure 3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM SAFE OPERATING REGIONS

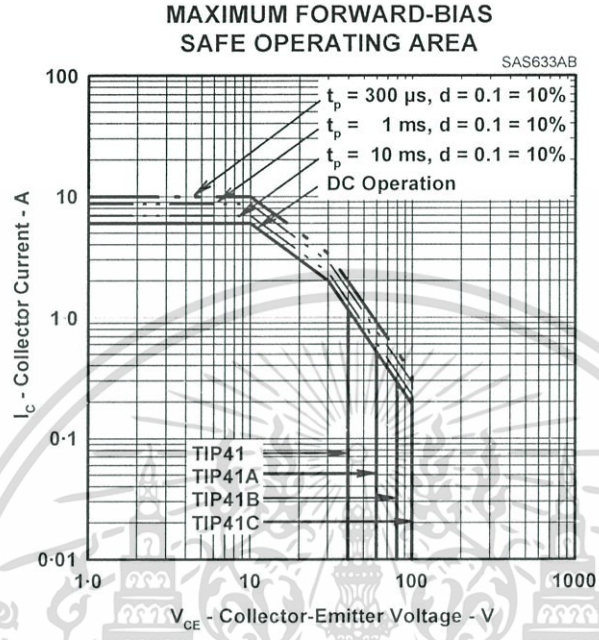


Figure 4.

THERMAL INFORMATION

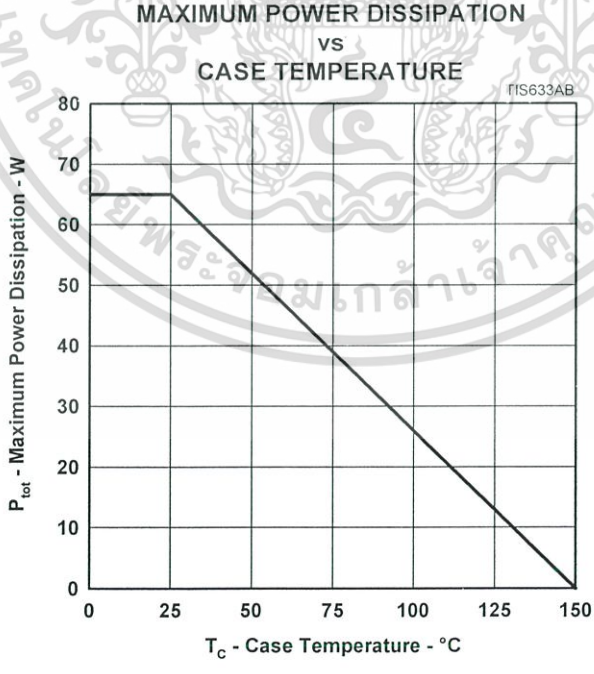


Figure 5.

PRODUCT INFORMATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

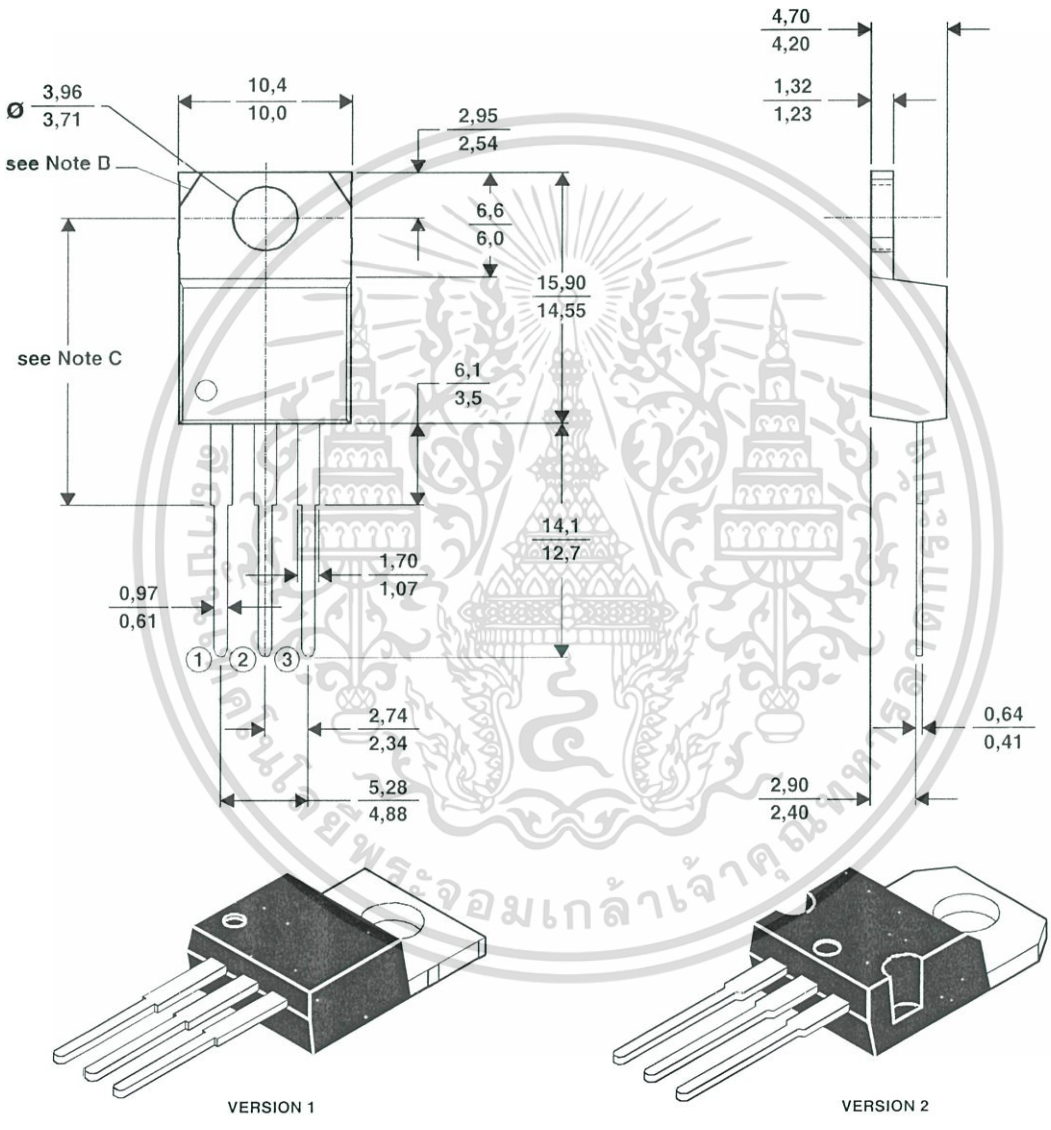
DECEMBER 1970 - REVISED MARCH 1997

MECHANICAL DATA

TO-220
3-pin plastic flange-mount package

This single-in-line package consists of a circuit mounted on a lead frame and encapsulated within a plastic compound. The compound will withstand soldering temperature with no deformation, and circuit performance characteristics will remain stable when operated in high humidity conditions. Leads require no additional cleaning or processing when used in soldered assembly.

TO220



ALL LINEAR DIMENSIONS IN MILLIMETERS

NOTES: A. The centre pin is in electrical contact with the mounting tab.
B. Mounting tab corner profile according to package version.
C. Typical fixing hole centre stand off height according to package version.
Version 1, 18.0 mm. Version 2, 17.6 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DECEMBER 1970 - REVISED MARCH 1997

IMPORTANT NOTICE

Power Innovations Limited (PI) reserves the right to make changes to its products or to discontinue any semiconductor product or service without notice, and advises its customers to verify, before placing orders, that the information being relied on is current.

PI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with PI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent PI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except as mandated by government requirements.

PI accepts no liability for applications assistance, customer product design, software performance, or infringement of patents or services described herein. Nor is any license, either express or implied, granted under any patent right, copyright, design right, or other intellectual property right of PI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used.

PI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, INTENDED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT APPLICATIONS, DEVICES OR SYSTEMS.

Copyright © 1997, Power Innovations Limited

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD

November 2014

TIP42 / TIP42C
PNP Epitaxial Silicon Transistor

Features

- Medium Power Linear Switching Applications
- Complement to TIP41 Series

TO-220

1

1.Base 2.Collector 3.Emitter

Ordering Information

Part Number	Top Mark	Package	Packing Method
TIP42	TIP42	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP42C	TIP42C	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP42CTU	TIP42C	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail

Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at T_C = 25°C unless otherwise noted.

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	TIP42	-40	V
		TIP42C	-100	
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	TIP42	-40	V
		TIP42C	-100	
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage		-5	V
I_C	Collector Current (DC)		-6	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)		-10	A
I_B	Base Current		-2	A
T_J	Junction Temperature		150	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		-65 to 150	°C

© 2000 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermal Characteristics

Values are at T_C = 25°C unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
P_C	Collector Dissipation (T_C = 25°C)	65	W
	Collector Dissipation (T_A = 25°C)	2	

Electrical Characteristics

Values are at T_C = 25°C unless otherwise noted.

Symbol	Parameter		Conditions	Min.	Max.	Unit
V_{CEO}(sus)	Collector-Emitter Sustaining Voltage[1]	TIP42	I_C = -30 mA, I_B = 0	-40		V
		TIP42C		-100		
I_{CEO}	Collector Cut-Off Current	TIP42	V_{CE} = -30 V, I_B = 0		-0.7	mA
		TIP42C	V_{CE} = -60 V, I_B = 0		-0.7	
I_{CES}	Collector Cut-Off Current	TIP42	V_{CE} = -40 V, V_{EB} = 0		-400	μA
		TIP42C	V_{CE} = -100 V, V_{EB} = 0		-400	
I_{EBO}	Emitter Cut-Off Current		V_{EB} = -5 V, I_C = 0		-1	mA
h_{FE}	DC Current Gain[1]		V_{CE} = -4 V, I_C = -0.3 A	30		
			V_{CE} = -4 V, I_C = -3 A	15	75	
V_{CE}(sat)	Collector-Emitter Saturation Voltage[1]		I_C = -6 A, I_B = -600 mA		-1.5	V
V_{BE}(on)	Base-Emitter On Voltage[1]		V_{CE} = -4 V, I_C = -6 A		-2.0	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product		V_{CE} = -10 V, I_C = -500 mA, f = 1 MHz	3.0		MHz

Note:

1. Pulse test: pw ≤ 300 μs, duty cycle ≤ 2%.

© 2000 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

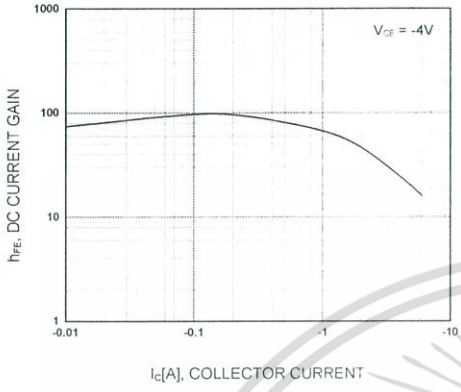


Figure 1. DC Current Gain

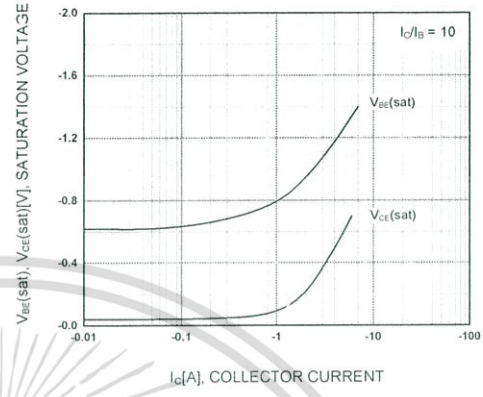


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage and Collector-Emitter Saturation Voltage

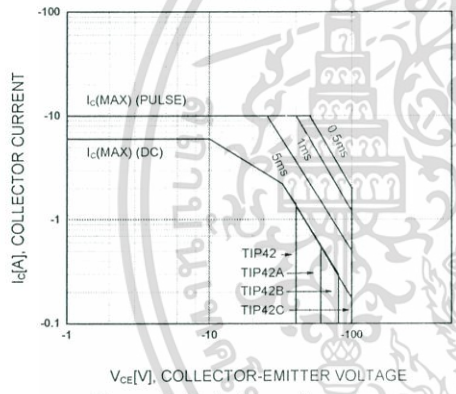


Figure 3. Safe Operating Area

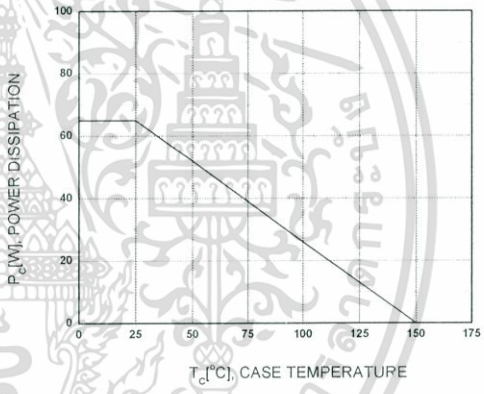


Figure 4. Power Derating

© 2000 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions

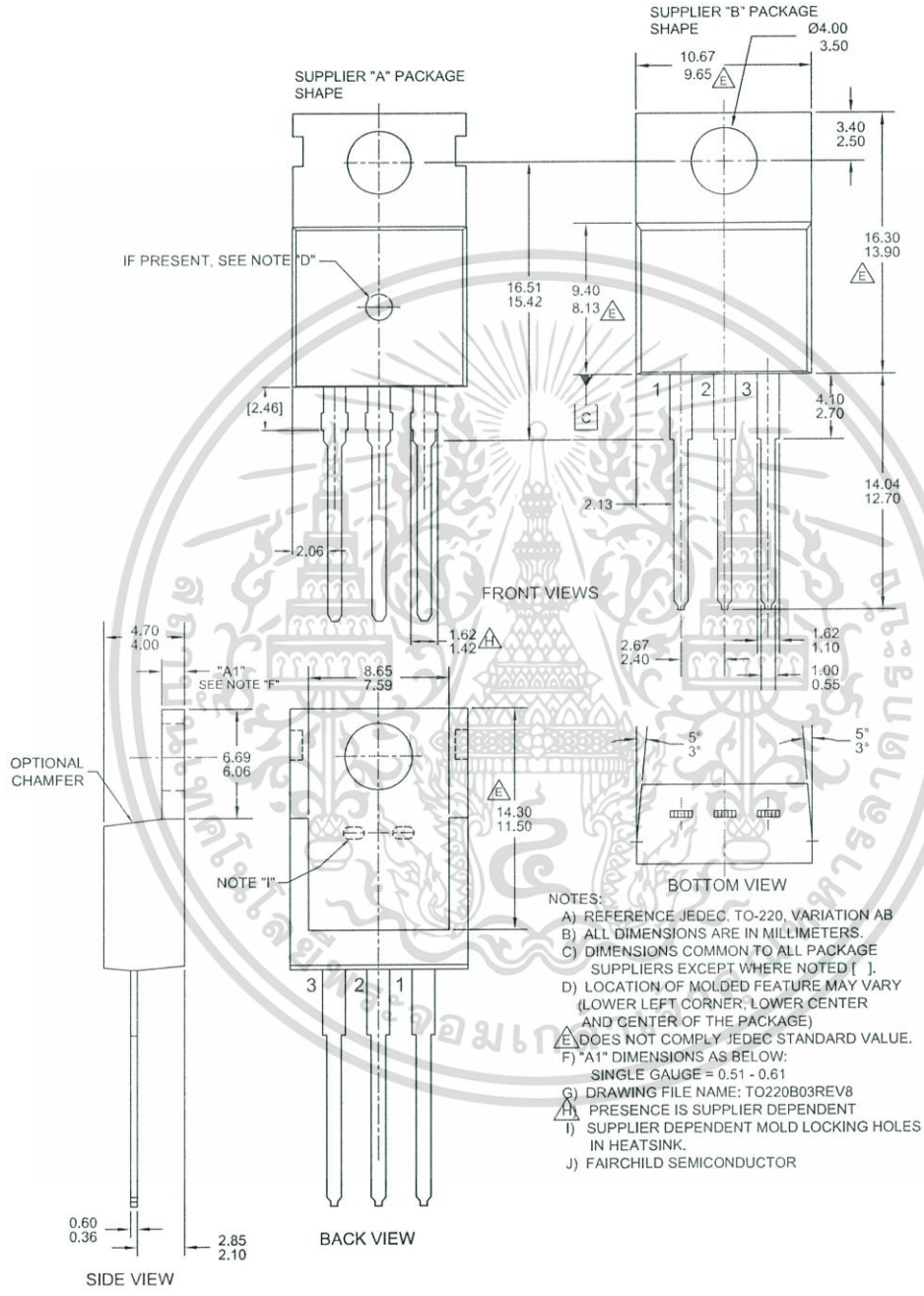


Figure 5. TO-220, MOLDED, 3LEAD, JEDEC VARIATION AB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD

TRADEMARKS

The following includes registered and unregistered trademarks and service marks, owned by Fairchild Semiconductor and/or its global subsidiaries, and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

AccuPower™
Awinda®
AX-CAP®*
BitSiC™
Build it Now™
CorePLUS™
CorePOWER™
CROSSVOLT™
CTL™
Current Transfer Logic™
DEUXPEED®
Dual Cool™
EcoSPARK®
EfficientMax™
ESBC™
F®
Fairchild®
Fairchild Semiconductor®
FACT Quiet Series™
FACT®
FAST®
FastvCore™
FETBench™
FPS™
F-PFS™
FRFET®
Global Power Resource SM
GreenBridge™
Green FPS™
Green FPS™ e-Series™
G*max*™
GTO™
IntelliMAX™
ISOPLANAR™
Making Small Speakers Sound Louder and Better™
MegaBuck™
MICROCOUPLER™
MicroFET™
MicroPak™
MicroPak2™
MillerDrive™
MotionMax™
MotionGrid®
MTi®
MTx®
MVN®
mWSaver®
OptoHiT™
OPTOLOGIC®
OPTOPLANAR®
PowerTrench®
PowerXS™
Programmable Active Droop™
QFET®
QS™
Quiet Series™
RapidConfigure™
™
Saving our world, 1mW/W/kW at a time™
SignalWise™
SmartMax™
SMART START™
Solutions for Your Success™
SPM®
STEALTH™
SuperFET®
SuperSOT™-3
SuperSOT™-6
SuperSOT™-8
SupreMOS®
SyncFET™
Sync-Lock™
SYSTEM GENERAL®*
TinyBoost®
TinyBuck®
TinyCalc™
TinyLogic®
TINYOPTO™
TinyPower™
TinyPWM™
TinyWire™
TranSiC™
TriFault Detect™
TRUECURRENT®*
μSerDes™
μSerDes
UHC®
Ultra FRFET™
UniFET™
VCX™
VisualMax™
VoltagePlus™
XS™
Xsens™
仙童™

* Trademarks of System General Corporation, used under license by Fairchild Semiconductor.

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. TO OBTAIN THE LATEST, MOST UP-TO-DATE DATASHEET AND PRODUCT INFORMATION, VISIT OUR WEBSITE AT HTTP://WWW.FAIRCHILDSEMI.COM. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXPAND THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support, device, or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

ANTI-COUNTERFEITING POLICY

Fairchild Semiconductor Corporation's Anti-Counterfeiting Policy. Fairchild's Anti-Counterfeiting Policy is also stated on our external website, www.fairchildsemi.com, under Sales Support.

Counterfeiting of semiconductor parts is a growing problem in the industry. All manufacturers of semiconductor products are experiencing counterfeiting of their parts. Customers who inadvertently purchase counterfeit parts experience many problems such as loss of brand reputation, substandard performance, failed applications, and increased cost of production and manufacturing delays. Fairchild is taking strong measures to protect ourselves and our customers from the proliferation of counterfeit parts. Fairchild strongly encourages customers to purchase Fairchild parts either directly from Fairchild or from Authorized Fairchild Distributors who are listed by country on our web page cited above. Products customers buy either from Fairchild directly or from Authorized Fairchild Distributors are genuine parts, have full traceability, meet Fairchild's quality standards for handling and storage and provide access to Fairchild's full range of up-to-date technical and product information. Fairchild and our Authorized Distributors will stand behind all warranties and will appropriately address any warranty issues that may arise. Fairchild will not provide any warranty coverage or other assistance for parts bought from Unauthorized Sources. Fairchild is committed to combat this global problem and encourage our customers to do their part in stopping this practice by buying direct or from authorized distributors.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative / In Design	Datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	Datasheet contains preliminary data; supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve design.
No Identification Needed	Full Production	Datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve the design.
Obsolete	Not In Production	Datasheet contains specifications on a product that is discontinued by Fairchild Semiconductor. The datasheet is for reference information only.

Rev. I72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TECHNICAL DATA MQ-2 GAS SENSOR

FEATURES

Wide detecting scope
Fast response and High sensitivity
Stable and long life
Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of LPG, i-butane, propane, methane ,alcohol, Hydrogen, smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
Vc	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V_H	Heating voltage	5V±0.1	ACOR DC
R_L	Load resistance	can adjust	
R_H	Heater resistance	33 Ω ±5%	Room Tem
P_H	Heating consumption	less than 800mw	

B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
Tao	Using Tem	-20℃-50℃	
Tas	Storage Tem	-20℃-70℃	
R_H	Related humidity	less than 95%Rh	
O_2	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remarks
Rs	Sensing Resistance	3K Ω -30K Ω (1000ppm iso-butane)	Detecting concentration scope: 200ppm-5000ppm LPG and propane 300ppm-5000ppm butane 5000ppm-20000ppm methane 300ppm-5000ppm H_2 100ppm-2000ppm Alcohol
α (3000/1000) isobutane	Concentration Slope rate	≤0.6	
Standard Detecting Condition	Temp: 20℃±2℃ Humidity: 65%±5%	Vc:5V±0.1 Vh: 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

	Parts	Materials
1	Gas sensing layer	SnO_2
2	Electrode	Au
3	Electrode line	Pt
4	Heater coil	Ni-Cr alloy
5	Tubular ceramic	Al_2O_3
6	Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh)
7	Clamp ring	Copper plating Ni
8	Resin base	Bakelite
9	Tube Pin	Copper plating Ni

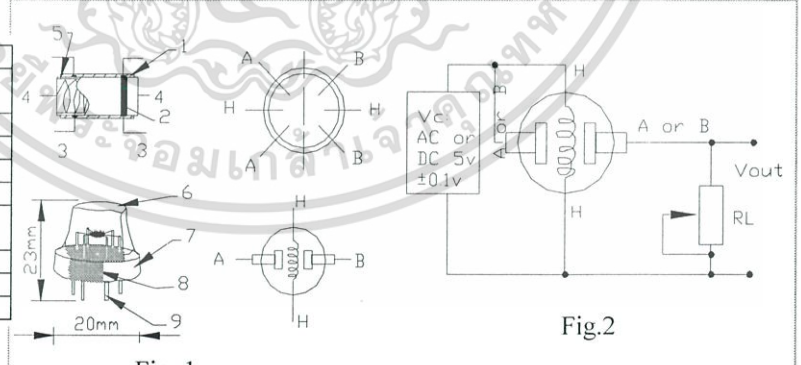
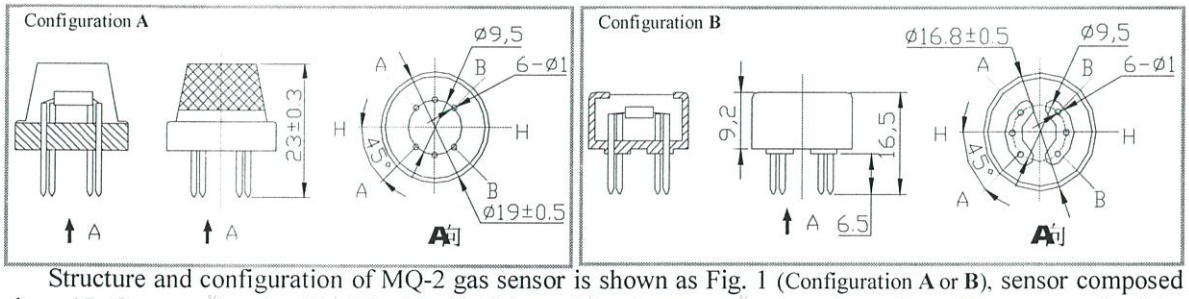


Fig. 1

Fig.2



Structure and configuration of MQ-2 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration **A** or **B**), sensor composed by micro AL_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a

crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-2 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

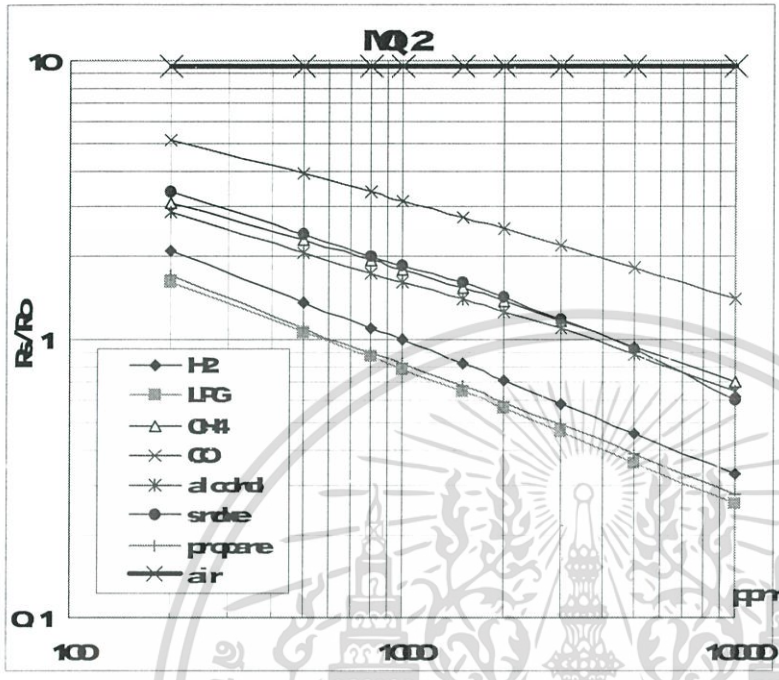


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-2

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-2 for several gases.
in their: Temp: 20℃、
Humidity: 65%、
O_2 concentration 21%
RL=5k Ω
Ro: sensor resistance at 1000ppm of H_2 in the clean air.
Rs:sensor resistance at various concentrations of gases.

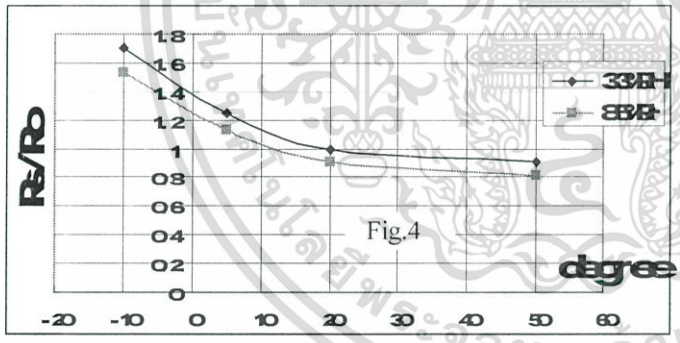


Fig.4

Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-2 on temperature and humidity.
Ro: sensor resistance at 1000ppm of H_2 in air at 33%RH and 20 degree.
Rs: sensor resistance at 1000ppm of H_2 at different temperatures and humidities.

SENSITVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-2 is difference to various kinds and various concentration gases. So,When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 1000ppm liquified petroleum gas<LPG>,or 1000ppm iso-butane<i-C_4H_{10}>concentration in air and use value of Load resistance that(R_L) about 20 K Ω (5K Ω to 47 K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

โค้ดที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define trig 11

#define echo 10


#include <Servo.h>


 Servo myservo;


int A=6;

int B=5;

int ForA=8;

int secondA=7;

int ForB=3;

int secondB=4;

int randomvalue;

// Digital pin 8 will be called 'pin8'

int pin8 = 12; //เปลี่ยนเป็น 12 เข้าLED

int pin9 = 13; // เปลี่ยนเป็น 10 เข้า buzzer

// Analog pin 0 will be called 'sensor'

int sensor = A0;

// Set the initial sensorValue to 0

int sensorValue = 0;


int czas, dist2, dist1, dist3, light;


void setup() {


// Initialize the digital pin 8 as an output
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 pinMode(pin8, OUTPUT);
 pinMode(pin9, OUTPUT);
 // Initialize serial communication at 9600 bits per second
 Serial.begin(9600);

pinMode(13, OUTPUT);
 myservo.attach(9);

 pinMode(trig, OUTPUT);
 pinMode(echo, INPUT);

 pinMode(A, OUTPUT);

 pinMode(ForA, OUTPUT);

 pinMode(secondA, OUTPUT);

 pinMode(B, OUTPUT);

 pinMode(ForB, OUTPUT);

 pinMode(secondB, OUTPUT);

 analogWrite(A, 255);
 analogWrite(B, 255);

}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void beep(unsigned char delayms){ //piezo buzzer function
  digitalWrite(pin9, HIGH);     // Almost any value can be used except 0 and 255
                    // experiment to get the best tone
  delayMicroseconds(delayms);        // wait for a delayms ms
  digitalWrite(pin9, LOW);      // low turns it off
  delayMicroseconds(delayms);
}
void Lt(){
  digitalWrite(ForA, LOW);
  digitalWrite(secondA, HIGH);

  digitalWrite(ForB, HIGH);
  digitalWrite(secondB, LOW);
  delay(1000);
}


void Rt(){

  digitalWrite(ForA, HIGH);
  digitalWrite(secondA, LOW);


  digitalWrite(ForB, LOW);
  digitalWrite(secondB, HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  delay(1000);
}

void Forward(){

  digitalWrite(ForA, HIGH);
  digitalWrite(secondA, LOW);


  digitalWrite(ForB, HIGH);
  digitalWrite(secondB, LOW);
}


void Back(){
  digitalWrite(ForA, LOW);
  digitalWrite(secondA, HIGH);


  digitalWrite(ForB, LOW);
  digitalWrite(secondB, HIGH);

}

void ScanForward(){

  delay(50);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    digitalWrite(trig, HIGH);
    delayMicroseconds(100);
    digitalWrite(trig, LOW);
    czas = pulseIn(echo, HIGH);
    dist2 = (czas/2) /29.1;
}

void ScanLeft(){
  myservo.write(180);
  delay(1000);
  delay(50);
    digitalWrite(trig, HIGH);
    delayMicroseconds(1000);
    digitalWrite(trig, LOW);
    czas = pulseIn(echo, HIGH);
    dist1 = (czas/2) /29.1;
}

void Stop(){

  digitalWrite(ForA, LOW);
  digitalWrite(secondA, LOW);


  digitalWrite(ForB, LOW);
  digitalWrite(secondB, LOW);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void ScanRight(){
  myservo.write(0);
  delay(1000);
  delay(50);
    digitalWrite(trig, HIGH);
    delayMicroseconds(1000);
    digitalWrite(trig, LOW);
    czas = pulseIn(echo, HIGH);
    dist3 = (czas/2) /29.1;
}

void Led(){
  light=  analogRead(A0);
  if(light>850){
    digitalWrite(10, HIGH);
  }
  else{
    digitalWrite(10, LOW);
  }
}
void GAS(){
// Read the input on analog pin 0 (named 'sensor')
  sensorValue = analogRead(sensor);
  // Print out the value you read
  Serial.println(sensorValue, DEC);
  // If sensorValue is greater than 500
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 if (sensorValue > 50) {
  // Activate digital output pin 8 - the LED will light up
  digitalWrite(pin8, HIGH);
  delay(200);
  digitalWrite(pin9,HIGH);
  delay(200);
  Stop();
  while(1);//หยุดตลอดกาล
 }
 else {
  // Deactivate digital output pin 8 - the LED will not light up
  digitalWrite(pin8, LOW);
  digitalWrite(pin9,LOW);
 }
}
void loop() {
 GAS();
 Led();
 ScanForward();
 Serial.println(dist2);
 if(dist2<=40)
 {
  Stop();
  ScanRight();
  ScanLeft();
  myservo.write(90);
  if(dist1>=dist3)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  {


    Rt();
  }
  else
  {
    Lt();
  }
 }
 else{

  int randomvalue = analogRead(A3)+analogRead(A2);
  Serial.print("randomvalue = ");
  Serial.println(randomvalue);

if(randomvalue>=0&&randomvalue<25||randomvalue>=100&&randomvalue<125||randomvalue>=
200&&randomvalue<225||randomvalue>=300&&randomvalue<325||randomvalue>=400&&rando
mvalue<425||randomvalue>=500&&randomvalue<525||randomvalue>=600&&randomvalue<625|
|randomvalue>=700&&randomvalue<725||randomvalue>=800&&randomvalue<825||randomvalu
e>=900&&randomvalue<925)
  { Rt();
  }
  else if
(randomvalue>=25&&randomvalue<50||randomvalue>=125&&randomvalue<150||randomvalue>=
225&&randomvalue<250||randomvalue>=325&&randomvalue<350||randomvalue>=425&&rando
mvalue<450||randomvalue>=525&&randomvalue<550||randomvalue>=625&&randomvalue<650|
|randomvalue>=725&&randomvalue<750||randomvalue>=825&&randomvalue<850||randomvalu
e>=925&&randomvalue<950)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 {
    Lt();


 }
   else if
(randomvalue>=50&&randomvalue<75||randomvalue>=150&&randomvalue<175||randomvalue>=
250&&randomvalue<275||randomvalue>=350&&randomvalue<375||randomvalue>=450&&rando
mvalue<475||randomvalue>=550&&randomvalue<575||randomvalue>=650&&randomvalue<675|
|randomvalue>=750&&randomvalue<775||randomvalue>=850&&randomvalue<875||randomvalu
e>=950&&randomvalue<975)
   {
    Forward();
   }
   else
   {
    Back();
   }
   delay(500);
 }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้