สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# วงจรตรวจสัญญาณสำหรับคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์

# CAPACITIVE SENSORS CIRCUIT

T119185

นายจอมพล พุ่มไชย
นายนิรันดร์ ผลเพิ่มพูนทวี
นายนิรันดร์ อร่ามรัตนพันธุ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119185
วัน,เดือน,ปี - 6 S.A. 2554

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CAPACITIVE SENSORS CIRCUIT


**Mr. Jompon Phumchai**

**Mr. Nirun Pholpermpoontawe**

**Mr. Nirun Aramratanapan**


**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT**

**OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF**

**BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**ACADEMIC YEAR 2009**


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553**

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วงจรตรวจสัญญาณสำหรับคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์
CAPACITIVE SENSORS CIRCUIT


ผู้จัดทำ

| | | |
|---|---|---|
| นายจอมพล | พุ่มไชย | 50010197 |
| นายนิรันดร์ | ผลเพิ่มพูนทวี | 50010829 |
| นายนิรันดร์ | อร่ามรัตนพันธุ์ | 50010830 |

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์)


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# วงจรตรวจสัญญาณสำหรับคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์

โดย

| | | |
|---|---|---|
| นายจอมพล | พุ่มไชย | 50010197 |
| นายนิรันดร์ | ผลเพิ่มพูนทวี | 50010829 |
| นายนิรันดร์ | อร่ามรัตนพันธุ์ | 50010830 |

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์

ปีการศึกษา 2553

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอทฤษฎีและการออกแบบวงจรตรวจสัญญาณที่นำมาใช้ร่วมกับคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์เพื่อตรวจวัดแรงกระทำที่เกิดจากการกดทับ โดยโครงสร้างของเซ็นเซอร์นั้นได้ออกแบบมาโดยเฉพาะตามหลักการออกแบบคาปาซิทีฟเซ็นเซอร์เพื่อวัดแรงกระทำจากการกดเท่านั้น ซึ่งจะมีโครงสร้างพื้นฐานคล้ายกับตัวเก็บประจุไฟฟ้าทั่วไป แต่จะมีความยืดหยุ่นมากกว่าเพื่อที่จะทำให้ค่าของตัวเก็บประจุเปลี่ยนแปลงได้ตามขนาดของแรงที่มากดทับ จุดมุ่งหมายของโครงงานนี้คือสามารถตรวจวัดแรงกระทำของเท้าที่เกิดจากการเดิน ซึ่งจะมีขนาดของแรงกดที่ไม่เท่ากัน

วงจรที่ใช้ในการตรวจสัญญาณจากคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ จะประกอบด้วยวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ วงจรบัฟเฟอร์ วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ วงจรอินทิเกรเตอร์ และวงจรกรองความถี่ โดยจะอาศัยหลักการทำงานของคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์เป็นตัววัดแรงกดที่เท้ากระทำกับพื้นรองเท้า เมื่อเท้ามีแรงกดไปกดกับตัวพื้นรองเท้าเซ็นเซอร์จะทำงานทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าส่งผ่านไปที่วงจร และส่งข้อมูลผ่านวงจรแปลงออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า เมื่อนำไปใช้งานต้องทำการปรับค่าความต้านทานที่ปรับค่าได้ให้อยู่ในช่วงที่พอเหมาะ เพื่อให้ค่าแรงดันที่ได้เป็นเชิงเส้นมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้ค่าที่ทำการวัดมีความแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CAPACITIVE SENSORS CIRCUIT

By

Mr. Jompon Phumchai

Mr. Nirun Pholpermpoontawe

Mr. Nirun Aramratanapan

Advisor

Asst. Prof. Dr. Kongsak Anuntahiranrat

Academic Year 2010

## ABSTRACTS

This thesis presents theory and implementation procedures of circuit that cooperate with capacitive sensor for measured the attractive force from the compression. In the sensor structure is designed specially by principle of capacitive sensor for the measurement of attractive force from the compression only which the basis structure approximate to normal capacitor but it is very flexibility because the values of capacitor to size of compressive force. Purpose of this project that can be measured the attractive force of feet from the step of walk which it has size of compressive force differently.

The capacitive sensors circuit includes by astable multivibrator circuit, buffer circuit, monostable multivibrator circuit, integrator circuit and filter circuit. These are based on the principle of capacitive sensor for the measurement of the attractive force between feet versus tread. When feet collide with tread effect to sensor is started working conduce to occur the voltage enter by the circuit and send the data through the circuit to evaluation become to the voltage. The usability must be adapted the resistance in range properly because the linear voltage affect the measurement is very accuracy.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ประสบผลสำเร็จและลุล่วงได้ดีตามจุดมุ่งหมายที่ได้กำหนดไว้เป็นเพราะได้ว่ารับความเมตตาและความกรุณาจาก รศ.ดร. คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์ ซึ่งท่านเป็นผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และความช่วยเหลือ โครงงานนี้มาโดยตลอดจนโครงงานนี้สามารถสำเร็จและลุล่วงไปได้ด้วยดีผ่านอุปสรรคต่างๆมาได้ ซึ่งทางกลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิคส์ ที่ได้ทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ต่างๆมากมาย สถานที่และเครื่องมือต่างๆในการทำโครงงานนี้ขึ้น จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเพื่อนๆ พี่ๆ ทั้งหลายที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานนี้จนเสร็จ ขอบคุณสำหรับคำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำวงจรต่างๆ จนประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจยามที่รู้สึกเหนื่อยล้า และเป็นผู้สนับสนุนด้านงบประมาณที่ขาดเหลือ จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

นายจอมพล พุ่มไชย

นายนิรันดร์ ผลเพิ่มพูนทวี

นายนิรันดร์ อร่ามรัตนพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| **บทคัดย่อ** | I |
| **บทคัดย่อภาษาอังกฤษ** | II |
| **กิตติกรรมประกาศ** | III |
| **สารบัญ** | IV |
| **สารบัญภาพ** | VI |
| **สารบัญตาราง** | VII |
| **บทที่ 1 บทนำ** | 1 |
| 1.1 กล่าวนำ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์ | 2 |
| 1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงงาน | 2 |
| 1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์ | 3 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง** | 4 |
| 2.1 ทฤษฎีตัวเก็บประจุ | 4 |
| 2.1.1 หลักการทำงานของตัวเก็บประจุไฟฟ้า | 4 |
| 2.1.2 ชนิดของไดอิเล็กตริก | 5 |
| 2.1.3 การคำนาณหาค่าการเก็บประจุ | 6 |
| 2.1.4 โครงสร้างของคาปาซิทีฟเซ็นเซอร์ | 7 |
| 2.2 ทฤษฎีการปรับแต่งสภาพสัญญานและการเชื่อมต่อสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์ | 8 |
| 2.2.1 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ | 8 |
| 2.2.2 วงจรบัฟเฟอร์ | 9 |
| 2.2.3 วงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ | 9 |
| 2.2.4 วงจรอินทิเกรเตอร์ | 10 |
| 2.2.5 วงจรกรองความถี่ | 12 |
| **บทที่ 3 หลักการออกแบบ** | 14 |
| 3.1 หลักการทำงานของวงจรตรวจสัญญาณ | 14 |
| 3.2 หลักการออกแบบคาปาซิทีฟเซ็นเซอร์ | 15 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| **บทที่ 4 การทดลอง** | 17 |
| 4.1 การทดลองวงจรตรวจสัญญาณ | 17 |
| 4.1.1 ผลตอบสนองของวงจร | 17 |
| 4.1.2 การปรับแต่งวงจรให้ผลตอบสนองเชิงเส้น | 20 |
| 4.2 การทดลองออกแบบคาปาซิทีฟเซ็นเซอร์ | 23 |
| 4.2.1 ทดลองโดยใช้กระดาษเป็นไดอิเล็กตริก | 23 |
| 4.2.2 ทดลองโดยใช้พื้นรองเท้าเป็นไดอิเล็กตริก | 24 |
| **บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป** | 26 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 26 |
| 5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข | 26 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา | 27 |
| **ภาคผนวก** | 28 |
| **เอกสารอ้างอิง** | 51 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 โครงสร้างตัวเก็บประจุ | 4 |
| 2.2 โครงสร้างของคาปาซิทีฟเซ็นเซอร์ | 7 |
| 2.3 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ | 8 |
| 2.4 วงจรบัฟเฟอร์ | 9 |
| 2.5 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ | 10 |
| 2.6 วงจรอินทิเกรเตอร์ | 11 |
| 2.7 วงจรอินทิเกรเตอร์ที่ปรับแต่งแรงดันแล้ว | 11 |
| 2.8 วงจรกรองสัญญาณแต่งความถี่ต่ำอันดับต่างๆ | 12 |
| 2.9 กราฟแสดงอัตราขยายแรงดันเชิงความถี่(db) | 12 |
| 3.1 วงจรตรวจสัญญาณสำหรับวงจรคาปาซิทีฟเซ็นเซอร์ | 14 |
| 3.2 แผนผังการทำงานของวงจรตรวจสัญญาณสำหรับคาปาซิทีฟเซ็นเซอร์ | 15 |
| 3.3 โครงสร้างของคาปาซิทีฟเซ็นเซอร์ที่ทำการออกแบบ | 16 |
| 4.1 กราฟผลตอบสนองต่อสัญญาณ 5Vdc | 17 |
| 4.2 กราฟผลตอบสอนงต่อสัญญาณ 5Vdc,C Transducer เปลี่ยนเป็น 130pF | 18 |
| 4.3 ผลการทดลองวงจรส่วน Astable Multivibrator | 19 |
| 4.4 ผลการทดลองวงจรส่วน Astable Multivibrator, C Transducer เปลี่ยนเป็น 130pF | 19 |
| 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเก็บประจุและแรงดันเอาต์พุต | 23 |
| 4.6 ผลตอบสนองที่ได้จากคาปาซิทีฟเซ็นเซอร์ | 24 |
| 4.7 ผลตอบสนองที่ได้จากคาปาซิทีฟเซ็นเซอร์เมื่อมีแรงมากดทับ | 25 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**

2.1 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุต่างๆ 6

4.1 ผลการทดลองการปรับแต่งวงจรให้ผลตอบสนองเชิงเส้น 20

4.1 ผลการทดลองการปรับแต่งวงจรให้ผลตอบสนองเชิงเส้น(ต่อ) 21

4.2 แสดงผลการคำนวณจากสมการ (4.2), (4.3), (4.4) 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นโทรศัพท์มือถือ หรือคอมพิวเตอร์ ล้วนประกอบด้วยอุปกรณ์คาปาซีทีฟเซ็นเซอร์เป็นหลัก ด้วยคุณสมบัติของตัวเก็บประจุไฟฟ้าทำให้สามารถประยุกต์ใช้งานในการตรวจจับค่าแรงกระทำต่างๆได้ และเมื่อนำไปใช้ร่วมกับวงจรตรวจสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงจะทำให้ได้อุปกรณ์ตรวจวัดที่ดีเยี่ยม ซึ่งการศึกษาวงจรที่ใช้ในการตรวจสัญญาณนั้นมีประโยชน์มากกับการศึกษาในสาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ในด้านการศึกษาออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้มีประสิทธิภาพในการทำงาน และควบคุมระบบการทำงานให้ได้ตามเป้าหมายที่ต้องการ รวมทั้งการนำพื้นฐานทางวิศวกรรมมาใช้ในการออกแบบเซ็นเซอร์ที่ใช้งานได้ดี และมีประสิทธิภาพ

โครงงานนี้จึงศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ที่สามารถวัดแรงกระทำที่เกิดจากการกดทับ และวงจรที่จะตรวจสัญญาณที่ได้จากคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์โดยใช้หลักในการปรับแต่งสภาพสัญญาณและการเชื่อมต่อสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์ให้เหมาะสม เพื่อนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งในโครงงานนี้คือรองเท้าที่ใช้ตรวจวัดแรงกระทำของเท้า โดยใช้คาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ในการตรวจวัดแรงกระทำ แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปทำการคำนวณ และประมวลผล เนื่องจากการออกแบบวงจรที่สามารถตรวจจับสัญญาณของเซ็นเซอร์ได้ดี และมีความแม่นยำมีความสำคัญมาก เพราะจะทำให้อุปกรณ์ชิ้นนั้นมีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดี

ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับวงจรตรวจสัญญาณสำหรับคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ จึงมีประโยชน์ในการช่วยให้อุปกรณ์เซ็นเซอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปใช้ได้เหมาะสมกับการใช้งานได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญานิพนธ์

1. ทำการศึกษาวิธีการปรับแต่งสภาพสัญญาณ และการต่อเชื่อมสัญญาณที่ได้จากคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์
2. ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ เพื่อนำมาออกแบบให้สามารถใช้ร่วมกับวงจรตรวจจับสัญญาณได้
3. สามารถนำอุปกรณ์คาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ และวงจรตรวจสัญญานไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับรองเท้าที่ใช้ตรวจวัดแรงกระทำของเท้าได้

## 1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงงาน

จากการศึกษาเกี่ยวกับวงจรตรวจสัญญาณสำหรับคาปาซิทีฟเซ็นเซอร์พบว่า การนำตัวเก็บประจุมาใช้ในการตรวจวัดแรงกระทำทางกลยังไม่เป็นที่แพร่หลาย จึงต้องศึกษาวิธีการปรับแต่งสภาพสัญญาณ และการต่อเชื่อมสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์ เพื่อนำไปค้นคว้าหาวงจรที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจสัญญาณที่ได้จากคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ ในการหาข้อมูลพบว่าการวิจัยเรื่อง คาปาซีทีฟทรานสดิวเซอร์สำหรับตรวจวัดแรงกระทำแนวดิ่งของเท้าอย่างต่อเนื่อง(Capacitive transducer for continuous measurement of vertical foot force) ของ มิยาซากิ และ อิชิดะ มีเนื้อหาส่วนใหญ่ตรงกับโครงงานชิ้นนี้ จึงได้นำเอาผลการวิจัยมาศึกษา โดยมีเป้าหมายอยู่ที่โครงสร้างการทำงานของคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ และวงจรที่ใช้ในการตรวจสัญญาณ

เมื่อทำการศึกษาโครงสร้าง และการทำงานของคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ ซึ่งมีหลักการทำงานเหมือนตัวเก็บประจุทั่วไป โดยในส่วนนี้ต้องทำการออกแบบตัวเซ็นเซอร์เอง เพื่อให้ได้ย่านการวัดที่ต้องการ และเหมาะสมกับรูปแบบการใช้งาน ทำให้ต้องศึกษา และทดลองวงจรตรวจจับสัญญาณให้เสร็จสิ้นก่อน เพื่อหาวิธีในการนำคาปาซีทีฟไปใช้งาน โดยทำการศึกษาวงจรโดยรวม และแยกวงจรออกเป็นส่วนๆ เพื่อทำให้สามารถวิเคราะห์วงจรได้ดียิ่งขึ้น โดยนำวงจรไปทดลองด้วยโปรแกรม PSpice เพื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบในการทดลองอุปกรณ์จริงแล้วจึงออกแบบวงจรเพื่อใช้ในการทดลองร่วมกับคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ที่ได้ทำการออกแบบ และทดลองปรับค่าความต้านทานเพื่อให้ได้ผลที่เป็นเชิงเส้น

หลังจากทำการปรับแต่งวงจรจนได้ผลตอบสนองเป็นเชิงเส้นแล้วจึงนำไปทดลองต่อกับคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ที่ได้ทำการออกแบบ แล้วทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาทีจะกล่าวในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวนำถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการศึกษา และการจัดทำโครงงาน พร้อมทั้งรายละเอียดของปริญญานิพนธ์ของแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์และวงจรตรวจจับสัญญาณ เพื่อนำเอาความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงงาน

บทที่ 3 หลักการออกแบบ นำเสนอหลักการทำงานของวงจรโดยรวม และวิธีการออกแบบคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ที่นำมาใช้ในร่วมกับวงจร รวมถึงแนวคิดในการนำไปใช้งาน

บทที่ 4 การทดลอง เป็นส่วนการทดสอบ การทดลอง และผลการทดลอง วงจรตรวจสัญญาน การออกแบบคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ และการทดลองการใช้งานวงจรร่วมกับเซ็นเซอร์องค์ประกอบต่างๆ ในระบบ ตลอดจนการทดลองในการวัดค่าแรงดันขณะใช้งาน

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป จะสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการปรับปรุงพัฒนาโครงงานนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการทำงานเพื่อออกแบบคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ และวงจรตรวจสัญญานคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาการทำงานของตัวเก็บประจุไฟฟ้า และศึกษาหลักการทำงานของวงจรเพื่อปรับแต่งสภาพสัญญาณและการเชื่อมต่อสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์ให้เหมาะสม

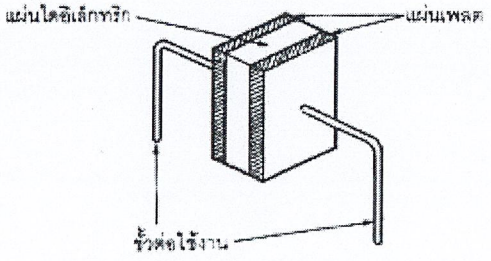
## 2.1 ทฤษฎีตัวเก็บประจุ

ในการทำอุปกรณ์ที่จะนำมาวัดค่าแรงดันที่กระทำกับรองเท้านั้น ได้ใช้ตัวเก็บประจุเป็นตัวกลางในการแปลงสัญญาณจากแรงดันให้เป็นแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่ใช้เป็นตัวแปลงสัญญาณ โดยเมื่อเกิดแรงดันผ่านตัวแปลงสัญญาณที่เป็นตัวเก็บประจุ จะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุนั้นเปลี่ยนแปลงไป และจะทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุนั้นเปลี่ยนแปลงไปด้วย ทำให้เราสามารถนำค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นไปคำนวณหาค่าแรงดันที่เกิดกับตัวแปลงสัญญาณได้

### 2.1.1 หลักการทำงานของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์อย่างหนึ่งในวงจรอิเล็กทรอนิคส์ ทำหน้าที่เก็บประจุ(Charge) และคายประจุ(discharge) ให้แก่วงจร ในขณะที่ไฟมาตกคร่อมคาปาซิเตอร์มันจะค่อยๆเก็บประจุจนเต็มและเมื่อไฟในวงจรลดต่ำลงมันจะทำหน้าที่คายประจุแก่วงจร จึงอาจกล่าวได้ว่าคาปาซิเตอร์ทำหน้าที่ต้านการเปลี่ยนแปลงแรงดัน

ส่วนประกอบแบบง่ายๆ ของคาปาซิเตอร์ภายในประกอบด้วยโลหะบางๆ สองแผ่นวางประกบกัน และมีฉนวนหรือที่เรียกว่าไดอิเล็กตริก(Dielectric) กั้นตรงกลาง ดังรูปที่ 2.1




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.1** โครงสร้างของตัวเก็บประจุ

การเก็บประจุกคือ การเก็บอิเล็กตรอนไว้ที่แผ่นเพลตของตัวเก็บประจุ โดยเมื่อนำแบตเตอรี่ต่อกับตัวเก็บประจุ อิเล็กตรอนจากขั้วลบของแบตเตอรี่จะเข้าไปออกันที่แผ่นเพลต ทำให้เกิดประจุลบขึ้นและยังส่งสนามไฟฟ้าไป ผลักอิเล็กตรอนของแผ่นเพลตตรงข้าม ซึ่งโดยปกติในแผ่นเพลตจะมีประจุเป็นบวกและลบปะปนกันอยู่ เมื่ออิเล็กตรอนจากแผ่นเพลตนี้ถูกผลักให้หลุดออกไปแล้วจึงเหลือประจุบวกมากกว่าประจุลบ ยิ่งอิเล็กตรอนถูกผลักออกไปมากเท่าไร แผ่นเพลตนั้นก็จะเป็นบวกมากขึ้นเท่านั้น เมื่อเทียบกับอีกด้าน ลักษณะนี้เราเรียกว่า คาปาซิเตอร์เก็บประจุ

ตัวเก็บประจุที่ถูกประจุแล้ว ถ้าเรายังไม่นำขั้วตัวเก็บประจุมาต่อกัน อิเล็กตรอนก็ยังคงอยู่ที่แผ่นเพลต แต่ถ้ามีการครบวงจรระหว่างแผ่นเพลตทั้งสองเมื่อไร อิเล็กตรอนก็จะวิ่งจากแผ่นเพลตทางด้านลบ ไปครบวงจรที่แผ่นเพลตบวกทันที เราเรียกเหตุการณ์นี้ว่าการคายประจุ

สำหรับการเก็บประจุไฟกระแสสลับ นั้นไฟฟ้ากระแสสลับมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอยู่ตลอดเวลา คาปาซิเตอร์จึงพยายามเปลี่ยนแรงดันตาม จึงดูเหมือนกับว่าไฟฟ้ากระแสสลับไหลผ่านตัวคาปาซิเตอร์ได้

**2.1.2 ชนิดของไดอิเล็กตริก**

สารไดอิเล็กตริกมีคุณสมบัติเป็นฉนวน และมีผลต่อเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเพลต ดังนั้น ชนิดของวัสดุที่นำมาใช้เป็นไดอิเล็กตริกจึงมีผลต่อค่าการเก็บประจุ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(Dielectic Constant, K) เป็นค่าที่ใช้แสดงถึงความสามารถในการที่จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นเมื่อนำวัสดุต่างชนิดกันมาทำเป็นฉนวนคั่นระหว่างแผ่นเพลต สูญญากาศเป็นไดอิเล็กตริกที่มีประสิทธิภาพน้อยสุดมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น นั่นคือมีค่าคงที่ไดเล็กตริกเท่ากับ 1 สำหรับไดอิเล็กตริกชนิดอื่นนั้นจะใช้สุญญากาศเป็นตัวอ้างอิงในการแสดงค่า ตัวอย่างเช่น ไมก้า มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 50 หมายความว่า ไมก้าสามารถทำให้เส้นแรงแม่เหล็ก สามารถก่อตัวได้ง่ายกว่าสุญญากาศถึง 5 เท่า และด้วยค่าการเก็บประจุเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกดังนั้น ตัวเก็บประจุแบบไมก้าจึงมีค่าการเก็บประจุมากกว่าตัวเก็บระจุที่ใช้สุญญากาศเป็นไดอิเล็กตริกถึง 5 เท่า ส่วนไดอิเล็กตริกของวัสดุชนิดอื่นๆแสดงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.1** แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุต่างๆ

| วัสดุ | ค่าคงที่ไดอิเล็กคริก (K) |
|---|---|
| สุญญากาศ | 1.0 |
| อากาศ | 1.0006 |
| เทฟลอน | 2.0 |
| ขี้ผึ้ง | 2.25 |
| กระดาษ | 2.5 |
| อำพัน | 2.65 |
| ยาง | 3.0 |
| น้ำมัน | 4.0 |
| ไมก้า | 5.0 |
| เซรามิก | 6.0 |
| แบคคาไลต์ | 7.0 |
| แก้ว | 7.5 |
| น้ำ | 78.0 |

**2.1.3 การคำนวณหาค่าการเก็บประจุ**

ค่าความจุไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารไดอิเล็กตริก พื้นที่หน้าตัด และระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตตัวนำ โดยจะเป็นไปตามสมการ

$$C = \frac{(8.85 \times 10^{-12}) \times K \times A}{D} \qquad (2.1)$$

โดยที่ C = ค่าความจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น ฟารัด (F)

$8.85 \times 10^{-12}$ = ค่าเพอร์มิตติวิตี (Permittivity) มีหน่วยเป็น ฟารัดต่อเมตร (F/m)

K = ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

A = พื้นที่ของแผ่นเพลตตัวนำ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

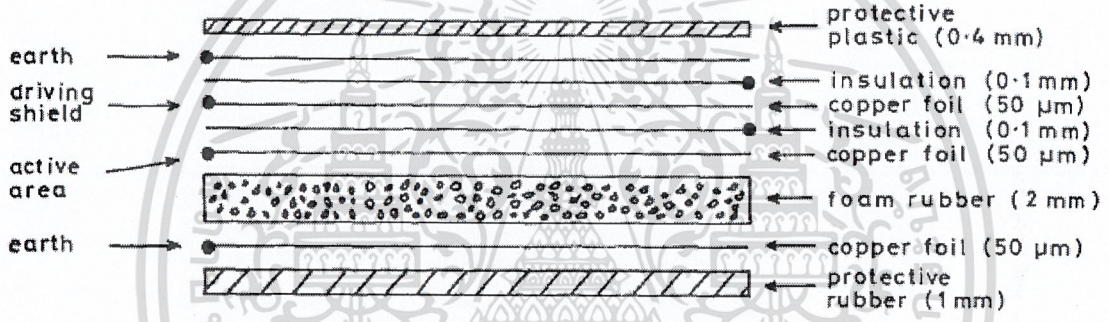
D = ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตทั้งสอง มีหน่วยเป็นเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการจะเห็นว่า ถ้ามีแรงดันมากระทำกับตัวเก็บประจุที่ใช้เป็นตัวแปลงสัญญาณของระบบ จนทำให้ตัวเก็บประจุถูกแรงดันกดลง ทำให้ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตตัวนำทั้งสองลดลง(D มีค่าลดลง) ซึ่งจากในสมการ เมื่อ D มีค่าน้อยลง จะทำให้ค่า C มีค่ามากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อแรงดันตกคร่อมที่จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่า C ที่เปลี่ยนแปลงนั้นด้วย

### 2.1.4 โครงสร้างของคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์

โครงสร้างของคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ที่ออกแบบในงานวิจัยของมิยาซากิและอิชิดะ ประกอบไปด้วยโครงสร้างต่างๆหลายชั้น ประกอบด้วยฟอยด์ทองแดงขนาด 50 ไมโครเมตร จำนวน 2 ชิ้น ซึ่งประกบแผ่นยางฟองน้ำขนาด 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.2




**รูปที่2.2** โครงสร้างของคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์จะรับแรงกระทำในแนวตั้งฉาก โดยจะมีแผ่นรอง(protective plastic) ทำหน้าที่กระจายแรงกระทำ และจะทำให้แผ่นยางถูกกดทับ คืนรูปได้รวดเร็วขึ้น เพื่อให้ค่าของตัวเก็บประจุและแรงดันเอาต์พุต ที่เปลี่ยนแปลงไปจากการถูกแรงกระทำ ให้กลับมามีค่าเริ่มต้น โดยที่ใต้แผ่นรองจะมีแผ่นฟอยล์ทองแดงที่ต่อกับกราวน์และแผ่นฟอยล์ที่เชื่อมต่อกับวงจรเรียกว่า ไดร์ฟวิ่งชีลด์ (Driving Sheild) โดยถูกฉนวนหุ้ม ทำหน้าที่เป็นตัวลดสัญญาณรบกวน ในส่วนของโพรเทคทีฟรับเบอร์(protective rubber) ที่อยู่ล่างสุด มีหน้าที่เป็นตัวป้องกันแผ่นฟอยล์ทองแดงด้านล่าง ไม่ให้เกิดความเสียหายในขณะเดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

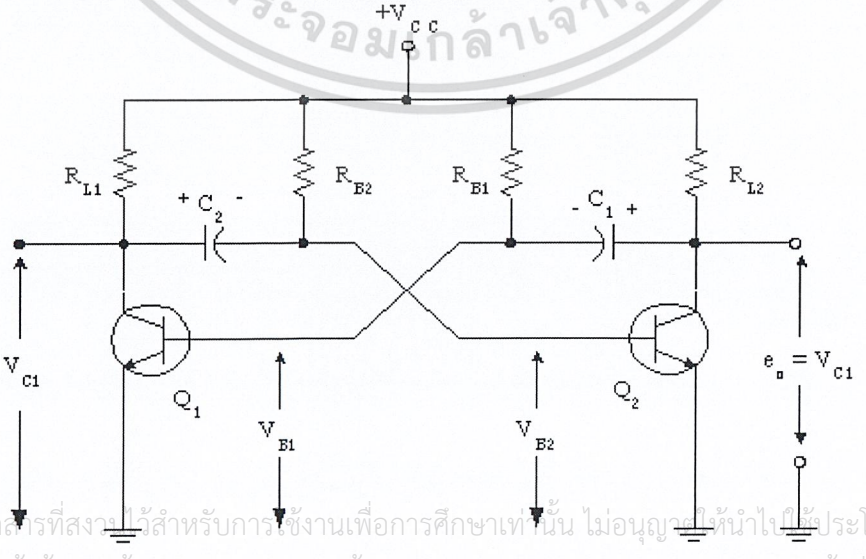
## 2.2 ทฤษฎีการปรับแต่งสภาพสัญญาณและการเชื่อมต่อสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์

ในการออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณจำเป็นที่จะต้องศึกษาเกี่ยวกับวิธีปรับแต่งสภาพสัญญาณและการเชื่อมต่อสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์เพื่อนำมาออกแบบวงจร โดยจากการศึกษาวงจรจากงานวิจัยจะประกอบด้วยวงจรส่วนต่างๆ ซึ่งมีหลักการทำงาน ดังนี้

### 2.2.1 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งบางครั้งนิยมเรียกว่าฟรีรันนิ่งค์ มัลติไวเบรเตอร์(Free running multivibrator) และโดยปกติมักถูกนำไปใช้เป็นวงจรผลิตคลื่นจัตุรัส(square-wave) วงจรชนิดนี้ประกอบด้วยวงจรกลับสัญญาณสองวงจร โดยที่เอาต์พุตของวงจรแรกจะถูกนำไปเป็นอินพุตของวงจรที่สอง และเอาต์พุตของวงจรที่สองจุถูกนำไปเป็นอินพุตของวงจรแรก การป้อนสัญญาณจากเอาต์พุตกลับไปเป็นอินพุตใช้วิธีอาร์ซีคัปปลิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.3

วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ คือวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีสภาวะกึ่งเสถียรภาพ 2 สภาวะ ระยะเวลาของแต่ละสภาวะกึ่งเสถียรภาพทั้งสองจะขึ้นอยู่กับค่าเวลาคงที่ของอาร์-ซี ในวงจรมัลติไวเบรเตอร์ ถึงแม้ว่าไม่มีสัญญาณพัลส์จากอินพุตป้อนเข้ามากระตุ้นการทำงาน วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ก็สามารถกำเนิดสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมออกเอาต์พุตได้ วงจรจะทำงานคล้ายกับวงจรกำเนิดความถี่ (oscillator)

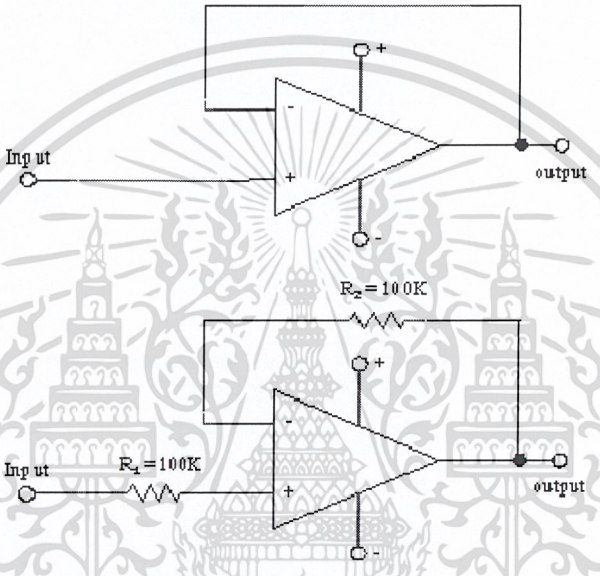



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.3** วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

### 2.2.2 วงจรบัฟเฟอร์

วงจรบัฟเฟอร์หรือวงจรกันชน เป็นวงจรที่ใช้เชื่อมวงจรสองวงจรเข้าด้วยกัน เช่นระบบไอซีที่ต่างตระกูลกันหรือทรานซิสเตอรีที่ไม่แมทชิ่งอิมพีแดนซ์กัน คือวงจรที่จำเป็นต้องใช้บัฟเฟอร์เพราะคุณสมบัติของออปแอมป์ทางเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำ เมื่อเชื่อมต่อกับวงจรอื่นแล้วจะไม่ทำให้วงจรอื่นมีผลแตกต่างไปจากเดิม วงจรบัฟเฟอร์นั้นจะมีอัตราการขยายเท่ากับ 1




**รูปที่ 2.4** วงจรบัฟเฟอร์

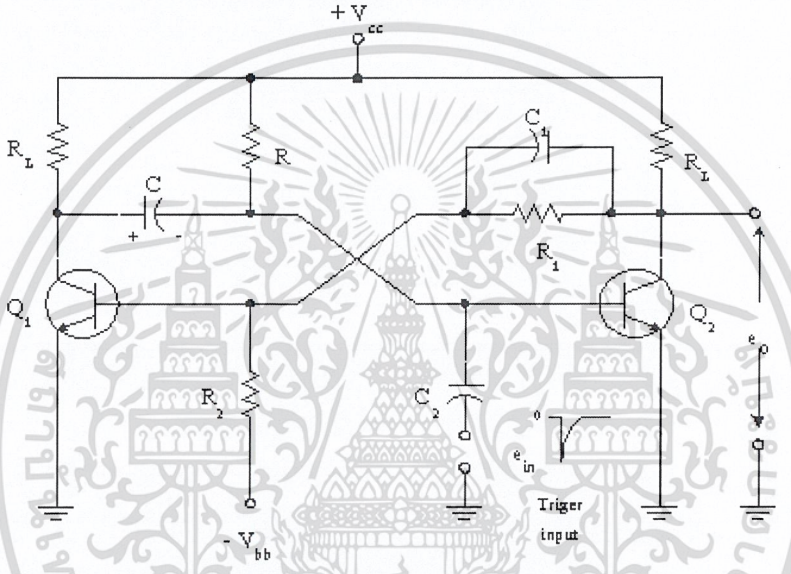
### 2.2.3 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์เป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงการทำงานเมื่อมีสัญญาณอินพุตมาควบคุมการทำงาน การทำงานของวงจรแต่ละครั้งจะทำงานเพียงสภาวะเดียวโดยที่วงจรหนึ่งจะทำงานตลอดเวลาส่วนอีกวงจรหนึ่งจะคัตออฟตลอดเวลา วงจรจะอยู่ในสภาวะเช่นนี้จนกว่าจะมีสัญญาณอินพุตมากระตุ้น สภาวะการทำงาสนจะกลับกันชั่วขณะ คือวงจรที่ทำงานอยู่จะคัตออฟ วงจรที่คัตออฟอยู่จะทำงานแทน หลังจากช่วงเวลาที่กำหนดไว้หมดลง วงจรจะกลับไปอยู่ในสภาวะเดิม เวลาดังกล่าวจะถูกกำหนดโดยค่าของเวลาคงที่ RC วงจรจะกลับไปอยู่ในสภาวะเดิมจนกว่ากระทั่งมีอินพุตใหม่ป้อนเข้ามาอีก

วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ จะประกอบไปด้วยวงจรกลับสัญญาณ(inverter circuit) สองวงจร ซึ่งเอาต์พุตของวงจรกลับสัญญาณวงจรแรก จะถูกนำมาเป็นอินพุตของวงจรที่สอง โดยวิธีอาร์-ซี คัปปลิ้ง(R-C coupling) และเอาต์พุตของวงจรที่สองจะถูกนำเอามาเป็นอินพุต ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้

แรกโดยวิธีรีซิสทีฟคัปปลิ้ง(resistive coupling) สัญญาณแรงดันที่ใช้เป็นสัญญาณทริกเกอร์ของวงจรนี้ โดยปกติมักมีลักษณะแบบสัญญาณดิฟเฟอเรนชิเอตที่มีครึ่งล่างเพียงครึ่งเดียว และทำให้ที่เอาต์พุตของวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์นี้มีรูปร่างเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก(rectangular) สัญญาณเอาต์พุตที่ได้นี้ มักถูกนำไปใช้ในการควบคุมวงจรพัลส์อื่นๆ เช่น วงจรเกต(Gate circuit) เป็นต้น และวงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบนี้อาจถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่าวงจรถ่วงสัญญาณ(delay circuit) และวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์นี้บางครั้งก็จะเรียกว่าวันช็อตมัลติไวเบรเตอร์(one-shot multivibrator) แสดงดังรูปที่ 2.5




**รูปที่ 2.5** วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

**2.2.4 วงจรอินทิเกรเตอร์**

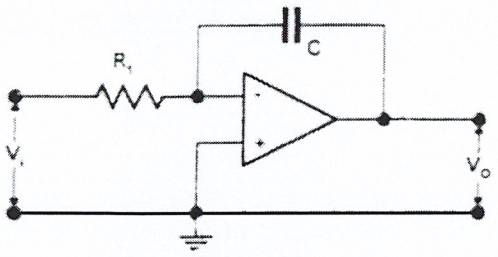
วงจรอินทิเกรเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.6 คือวงจรที่ใช้ออปแอมป์สร้างสัญญาณแรงดันอินพุตเข้ามาโดยป้อนแรงดันอินพุตกลับเฟสผ่านตัวต้านทาน(R) แล้วป้อนกลับทางตัวเก็บประจุ(C) ทั้งนี้เพื่อสังเคราะห์ให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตของวงจรอยู่ในรูปของฟังชั่นอินทิกรัล(integral function) ดังนี้

$$V_o = -\frac{1}{R_1 C}\int V_i .dt \qquad (2.2)$$

ดังนั้น แรงดันเอาต์พุต $V_o$ ของวงจร จึงมีค่าเท่ากับ

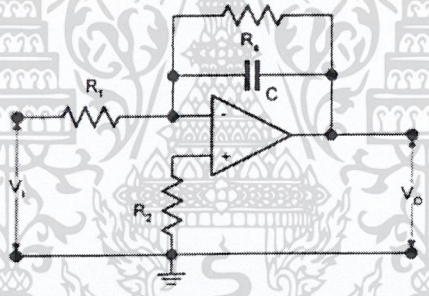
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o = -\left(\frac{1}{R_1 C}\right).V_i \qquad (2.3)$$




**รูปที่ 2.6** วงจรอินทิเกรเตอร์

ความสัมพันธ์ของความถี่สัญญาณขาเข้าก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาออกเช่นกันจึงต้องใช้ $R_3$ ต่อขนานกับ C เพื่อจำกัดความถี่ เมื่อความถี่เปลี่ยนแปลงแล้วอาจเพิ่ม $R_2$ เข้าที่ขาไม่กลับเฟสก็ได้ เพื่อลด $V_{oi}$ แสดงดังรูปที่ 2.7

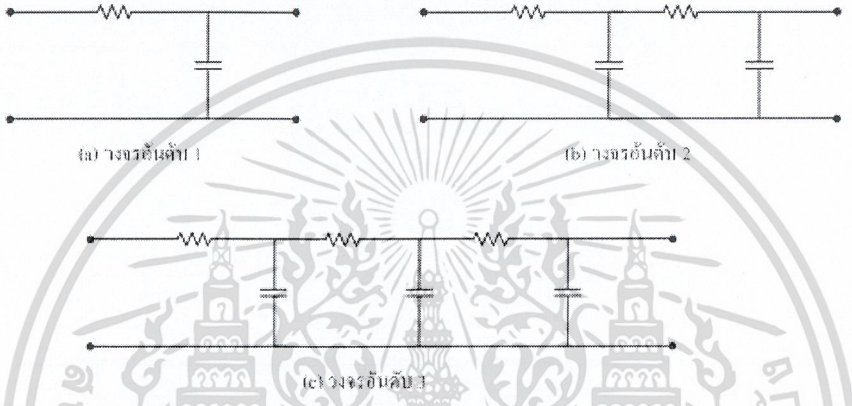



**รูปที่ 2.7** วงจรอินทิเกรเตอร์ที่ปรับแต่งแรงดันแล้ว

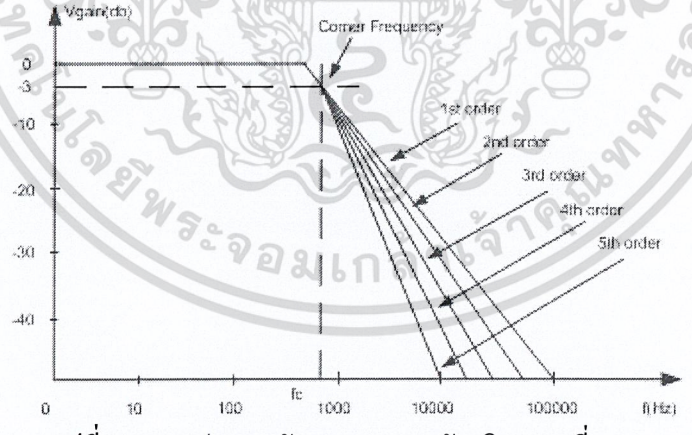
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.5 วงจรกรองความถี่

จากการศึกษาวงจรกรองความถี่(filter) ที่นำมาใช้ร่วมกับวงจรที่ออกแบบ ซึ่งเป็นวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ(Low Pass Filter: LPF) เป็นวงจรที่จะยอมให้สัญญาณความถี่ตั้งแต่ 0 เฮิรตซ์ ถึงความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้ ส่วนความถี่ตั้งแต่ที่กำหนดสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ จะลดทอนไปตามลำดับลักษณะของวงจรมีตั้งแต่อันดับหนึ่งขึ้นไป ดังรูป 2.6



**รูปที่ 2.8** วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำอันดับต่างๆ




**รูปที่ 2.9** กราฟแสดงอัตราขยายแรงดันเชิงความถี่ (db)

จากรูปวงจรเมื่อทำการป้อนความถี่ต่ำเข้าวงจรที่ตัวเก็บประจุจะมีค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุสูง ทำให้ความถี่ต่ำไหลผ่านตัวต้านทาน ที่มีค่าความต้านทานน้อยกว่าต้านทานของตัวเก็บประจุได้สะดวก ระดับสัญญาณเอาต์พุตจึงผ่านได้มาก แต่เมื่อความถี่สูงกว่าจุดที่กำหนด ค่าต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของตัวเก็บประจุจะลดลง ทำให้ความถี่ผ่านขดลวดได้ลดลงบางส่วนที่ผ่านไปได้ก็จะถูกตัวเก็บประจุดึงลงกราวด์ ระดับสัญญาณเอาต์พุต จึงผ่านได้น้อยมาก

ในทางทฤษฎีวงจรกรองความถี่ต่ำจะยอมให้สัญญาณใดๆ ที่มีความถี่ตั้งแต่ 0 เฮิรตซ์ จนถึงความถี่ที่กำหนดซึ่งเรียกว่า ความถี่คัทออฟ หรือ ความถี่ขอบเขต(Cutoff Frequency) ผ่านไปได้โดยไม่มีการลดทอนของสัญญาณ และถ้าความถี่ของสัญญาณเข้ามีค่าเกินที่กำหนดไว้ สัญญาณออกควรจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถจะทำเช่นนั้นได้ เนื่องจากการตอบสนองสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ ของอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟ จะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไปไม่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใด ดังนั้นเมื่อสัญญาณมีความถี่สูงขึ้นวงจรจะลดสัญญาณลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งจะลดลงในอัตราคงที่ค่าหนึ่ง

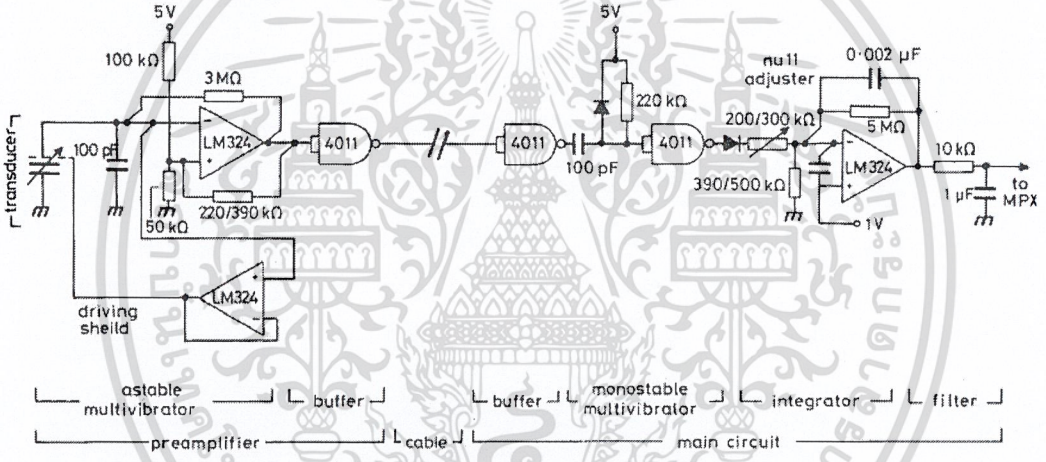
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# หลักการออกแบบ

## 3.1 หลักการทำงานของวงจรตรวจสัญญาณ

จากการออกแบบวงจรตามหลักการในบทที่แล้ว จะทำให้ได้วงจรตรวจสัญญาณที่มีหลักการทำงาน ดังนี้

เมื่อแรงดันที่ตกคร่อมคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง เราสามารถนำค่าที่เปลี่ยนแปลงนั้นมาใช้เป็นตัวแปรในการหาค่าแรงดันที่กระทำกับตัวเก็บประจุได้ โดยใช้วงจรดังรูปที่ 3.1

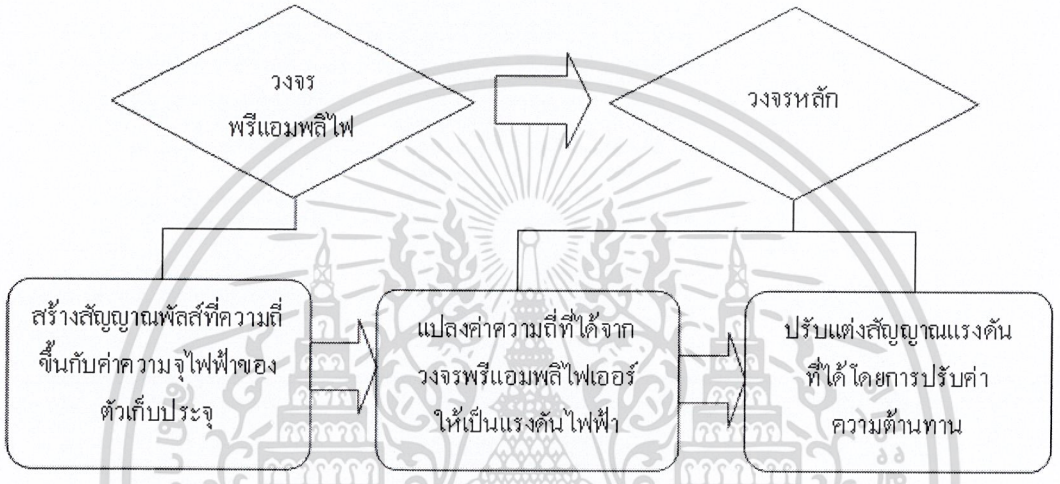



**รูปที่ 3.1** วงจรตรวจสัญญาณสำหรับคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์

จากรูปจะเห็นว่าวงจรได้แบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือส่วนพรีแอมพลิฟลายเออร์(Preamplifier) และส่วนวงจรหลัก(Main circuit) โดยที่ส่วนพรีแอมพลิฟลายเออร์จะเป็นส่วนที่รับสัญญาณจากตัวเก็บประจุที่ใช้เป็นตัวแปลงสัญญาณจากแรงดันที่กระทำกับตัวเก็บประจุ โดยผ่านวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์(Astable multivibrator) สัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณพัลส์ ซึ่งมีความถี่ขึ้นอยู่ค่าตัวเก็บประจุ ทำงานโดยการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างขาของออปแอมป์(Op-amp) โดยที่จะเกิดพัลส์ V+ ขณะเวลาชาร์จตัวเก็บประจุ และจะได้พัลส์ 0 ขณะตัวเก็บประจุคายประจุ จากนั้นนำเอาต์พุตผ่าน IC4011 ซึ่งเป็น NAND GATE ในที่นี้จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ โดยเอาต์พุตของ NAND GATE จะเป็นอินเวอร์สกับอินพุต เพื่อเปลี่ยนแรงดันให้เป็นกราวด์ เพื่อป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าสูญเสียภายในสายส่งต่อไปยังวงจรหลัก ซึ่งที่ปลายสายจะมี NAND GATE อีกอันเพื่อทำหน้าที่อินเวอร์สกลับเป็นแรงดันไฟฟ้า ในส่วนของวงจรหลักจะเป็นวงจรแปลงความถี่ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า โดยทำงานผ่านวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์(Monostable multivibrator) และวงจรอินทิเกรเตอร์(Integrator) สามารถปรับค่าศูนย์(Null) ผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อกับวงจรอินทิเกรเตอร์ทางอินพุตขาลบ และเอาต์พุตของอินทิเกรเตอร์ ผ่านวงจรกรองความถี่(Filter) จะได้ค่าเอาต์พุตเป็นแรงดันคงที่ นำเอาต์พุตส่งเข้าส่วนแสดงผล




**รูปที่ 3.2** แผนผังการทำงานของวงจรตรวจสัญญาณสำหรับคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์

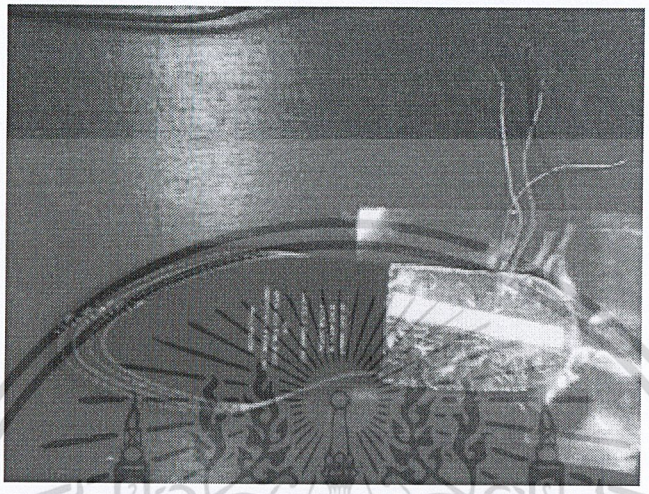
## 3.2 หลักการออกแบบคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์

ในการออกแบบคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ ได้ทำการออกแบบโดยยึดหลักการโครงสร้างตามงานวิจัยของมิยาซากิ และอิชิดะ แต่เนื่องจากวัสดุที่ได้กล่าวมาในงานวิจัยไม่สามารถหาได้ตามที่ต้องการทั้งหมด จึงต้องดัดแปลงนำเอาวัสดุอย่างอื่นมาใช้ในการทำคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ โดยนำเอาแผ่นฟอยล์อะลูมิเนียม และเทปกาวทองแดง ซึ่งมีลักษณะเดียวกับฟอยล์ทองแดงแต่มีความกว้างเพียง 1.5 เซนติเมตร จึงต้องนำมาติดต่อๆกันให้เป็นแผ่นเดียวกันตามขนาดความกว้างของพื้นรองเท้า แล้วเอาแผ่นฟอยล์อะลูมิเนียมมาวางขวางไว้ เพื่อเชื่อมแผ่นทองแดงให้ติดกัน ให้แน่ใจว่ากระแสไฟฟ้าจะผ่านแผ่นทองแดงทุกแผ่น ส่วนกราวด์ด้านบน และไดร์ฟวิ่งชีลด์ใช้แผ่นฟอยด์อะลูมิเนียม

ในส่วนของแผ่นยางฟองน้ำที่ทำเป็นไดอิเล็กตริก ได้ใช้แผ่นรองพื้นรองเท้าที่มีลักษณะทางกายภาพและความยืดหยุ่นคล้ายคลึงกับแผ่นยางฟองน้ำ ซึ่งจะสามารถยุ่บตัวเมื่อมีแรงมากดทับ และคลายตัวได้เมื่อผ่อนแรงลง ทำให้ระยะห่างของแผ่นทองแดงเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อค่าความจุไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ รวมถึงแรงดันเอาต์พุต

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนชนวนที่ใช้กั้นในแต่ละชั้น ได้นำเอาสติ๊กเกอร์พลาสติกใสมาใช้ และสามารถเป็นตัวยึดติดแผ่นฟอยล์ในทุกๆชั้นให้ยึดติดอยู่กับพื้นรองเท้า เมื่อนำคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ที่ทำเสร็จแล้วไปวัดกับมิเตอร์วัดค่าความจุไฟฟ้า ปรากฏว่าสามารถใช้เป็นตัวเก็บประจุได้และมีค่าเปลี่ยนแปลงเมื่อมีแรงมากดทับ



**รูปที่ 3.3** โครงสร้างของคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ที่ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง


# บทที่ 4
# การทดลอง

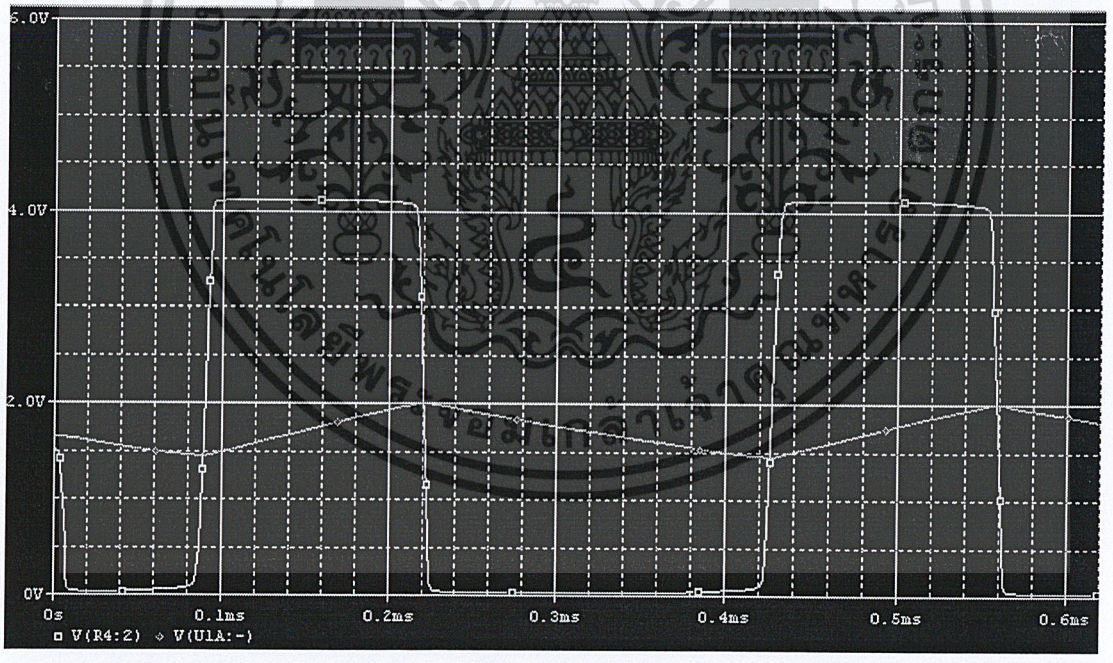
ในบทนี้ จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง วงจรตรวจสัญญาน การออกแบบคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ และการทดลองการใช้งานวงจรร่วมกับเซ็นเซอร์ โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

## 4.1 การทดลองวงจรตรวจสัญญาณ

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาการทำงานของวงจรเพื่อสังเกตลักษณะของผลตอบสนอง และทดลองทำการปรับแต่งวงจรให้ผลตอบสนองเป็นเชิงเส้นมากที่สุด

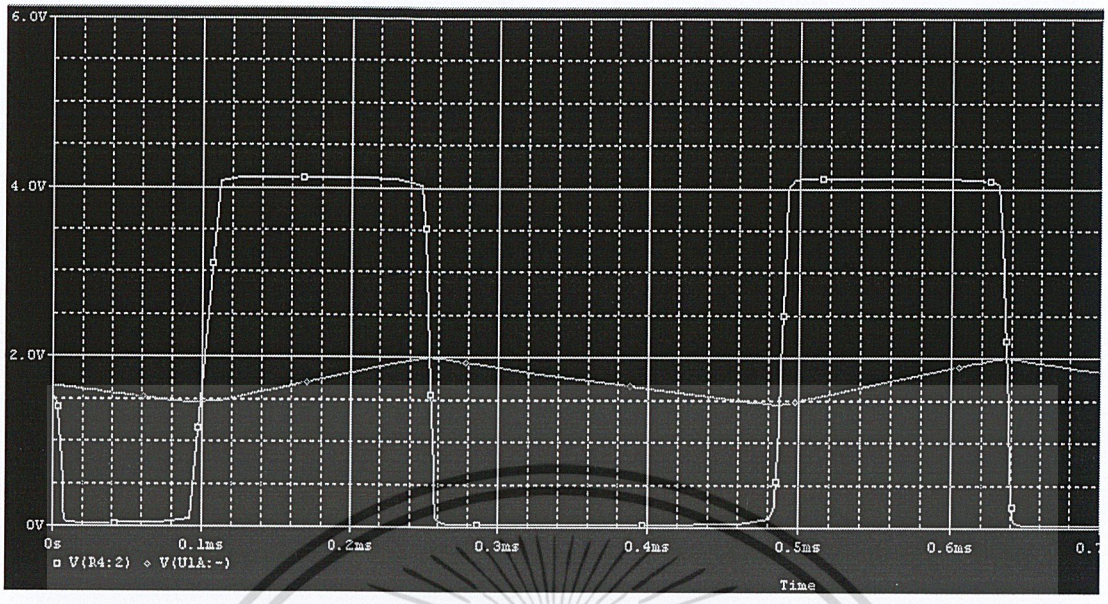
### 4.1.1 ผลตอบสนองของวงจร

การทดลองในส่วนนี้ได้แยกส่วนของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ มาทดลองด้วยโปรแกรม PSpice ซึ่งสามารถจำลองสัญญาณเอาท์พุตที่ได้ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2




**รูปที่ 4.1** กราฟผลตอบสนองต่อสัญญาณ 5 Vdc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
119185

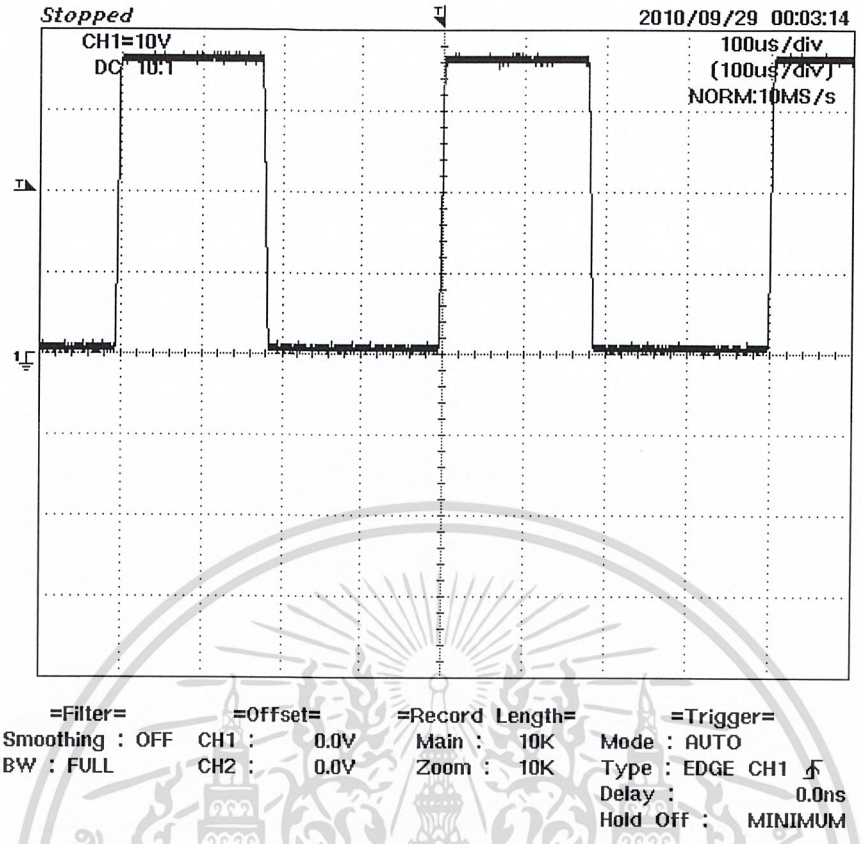



**รูปที่ 4.2** กราฟผลตอบสนองต่อสัญญาณ 5 Vdc, C Transducer เปลี่ยนเป็น 130pF

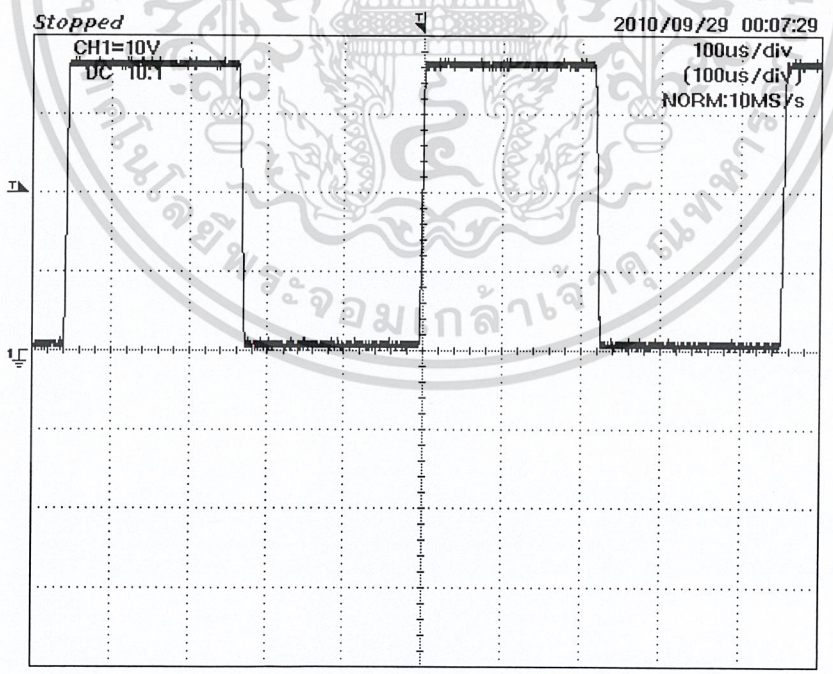
จากการทดลอง พบว่าเมื่อค่า ตัวเก็บประจุ มีค่ามากขึ้น จะทำให้สัญญาณพัลส์ที่ได้มีค่าความถี่ลดลง ซึ่งสัญญาณที่ได้จะถูกนำไปใช้ในส่วนของวงจรหลัก

เมื่อได้ผลการทดลองจากการจำลองการทำงานวงจรด้วยโปรแกรม PSpice แล้วจึงนำรูปแบบวงจรที่ได้มาทดลองด้วยอุปกรณ์จริง โดยการวัดด้วยออสซิลโลสโคป(Oscilloscope) แล้วหาค่าผลตอบสนอง เพื่อนำค่าที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากวงจร PSpice ซึ่งผลการทดลองตามรูปที่ 4.3 และ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.3** ผลการทดลองวงจรส่วน Astable Multivibrator




**รูปที่ 4.4** ผลการทดลองวงจรส่วน Astable Multivibrator, C Transducer เปลี่ยนเป็น 130pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 ได้กราฟเป็นสัญญาณพัลส์ โดยในรูปที่ 3.6 จะได้ค่า Vmax ประมาณ 3.65 V และค่า Vmin = 0 และมีค่าความถี่ f = 2.483 kHz และเมื่อค่า C transducer เปลี่ยนเป็น 130 pF จะทำให้เกิดผลดังรูป 3.7 ทำให้ค่าความถี่ f = 2.168 kHz

จากการทดลอง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม PSpice จะพบว่าสัญญาณที่ได้มีความคล้ายคลึงกัน ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกัน แสดงว่าวงจรที่ได้นำมาทดลองนั้นสามารถนำมาใช้ได้จริง

### 4.1.2 การปรับแต่งวงจรให้ผลตอบสนองเป็นเชิงเส้น

การทดลองในส่วนของวงจร ในที่นี้จะทำการทดลองกับวงจรซึ่งใช้กับเซ็นเซอร์ส่วนหลัง ค่าตัวเก็บประจุที่ส่วนหลังจะเปลี่ยนแปลงจาก 60 พิโคฟารัด จนถึง 105 พิโคฟารัดโดยประมาณ โดยจะทำการปรับค่าความต้านทานเพื่อให้ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าเปลี่ยนไปตามค่าของความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์ โดยได้ทำการทดลองปรับค่าความต้านทานให้ค่าความต้านทานเริ่มต้นที่ 65 กิโลโอห์ม ทำการเพิ่มค่าความต้านทานทีละ 1 กิโลโอห์มจนกระทั่งค่าความต้านทานเป็น 82 กิโลโอห์ม ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้เอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด และทำการปรับค่าตัวเก็บประจุให้มีค่า 60 พิโคฟารัด ทำการบันทึกผลที่ได้และทำการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุให้มีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 5 พิโคฟารัด จนกระทั่งค่าตัวเก็บประจุมีค่า 105 พิโคฟารัด ทำการทดลองเช่นนี้กับทุกๆ ค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นจนถึงค่าความต้านทาน 82 กิโลโอห์ม ได้ผลการทดลองดังตาราง 4.1

**ตารางที่ 4.1** ผลการทดลองการปรับแต่งวงจรให้ผลตอบสนองเป็นเชิงเส้น

| C (pF) | R (k Ω) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 |
| 60 | 320 | 360 | 400 | 480 | 560 | 600 | 720 | 850 | 900 |
| 65 | 390 | 400 | 480 | 580 | 700 | 800 | 940 | 1100 | 1150 |
| 70 | 450 | 480 | 530 | 760 | 960 | 1060 | 1180 | 1300 | 1400 |
| 75 | 500 | 560 | 680 | 940 | 1150 | 1260 | 1350 | 1500 | 1600 |
| 80 | 560 | 640 | 880 | 1200 | 1320 | 1460 | 1540 | 1700 | 1750 |
| 85 | 860 | 900 | 1090 | 1400 | 1560 | 1660 | 1750 | 1900 | 2000 |
| 90 | 940 | 1100 | 1300 | 1580 | 1700 | 1860 | 1900 | 2100 | 2150 |
| 95 | 1120 | 1240 | 1460 | 1750 | 1850 | 2000 | 2100 | 2250 | 2300 |
| 100 | 1320 | 1400 | 1650 | 1950 | 2100 | 2200 | 2300 | 2400 | 2500 |
| 105 | 1460 | 1600 | 1820 | 2100 | 2250 | 2360 | 2500 | 2600 | 2700 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** (ต่อ)

| C (pF) | R (k Ω) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 |
| 60 | 1200 | 1300 | 1400 | 1600 | 1700 | 1700 | 1850 | 2200 | 2400 |
| 65 | 1400 | 1550 | 1650 | 1800 | 1900 | 1950 | 2100 | 2400 | 2600 |
| 70 | 1650 | 1800 | 1950 | 2000 | 2150 | 2200 | 2400 | 2600 | 2800 |
| 75 | 1850 | 1950 | 2150 | 2250 | 2300 | 2350 | 2550 | 2750 | 2900 |
| 80 | 2000 | 2150 | 2250 | 2450 | 2500 | 2550 | 2750 | 3000 | 3100 |
| 85 | 2200 | 2350 | 2500 | 2650 | 2700 | 2750 | 2900 | 3150 | 3300 |
| 90 | 2400 | 2550 | 2650 | 2800 | 2800 | 2900 | 3050 | 3300 | 3450 |
| 95 | 2600 | 2700 | 2800 | 2950 | 3050 | 3100 | 3200 | 3450 | 3600 |
| 100 | 2750 | 2900 | 3000 | 3050 | 3150 | 3250 | 3400 | 3600 | 3650 |
| 105 | 2900 | 3050 | 3100 | 3200 | 3300 | 3400 | 3550 | 3650 | 3700 |

นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาค่าคงที่ตามสมการเชิงเส้น

$$Y = a + bX \tag{4.1}$$

เมื่อให้ค่าความจุไฟฟ้าแทนด้วย X และค่าเอาต์พุตแทนด้วย Y หาค่า a และ b ที่ทำให้ค่าทั้งสองค่ามีความสัมพันธ์กันมากที่สุด โดยคิดจากสูตร

$$b = \frac{\sum xy}{\sum x^2} \quad ; x = (X - \overline{X}), y = (Y - \overline{Y}) \tag{4.2}$$

$$a = \overline{Y} - b\overline{X} \tag{4.3}$$

และนำค่า b มาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน โดย

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum y^2 - b\sum xy}{n-2}} \tag{4.4}$$

เมื่อคิดตามสมการ ได้ค่าดังตาราง 4.2

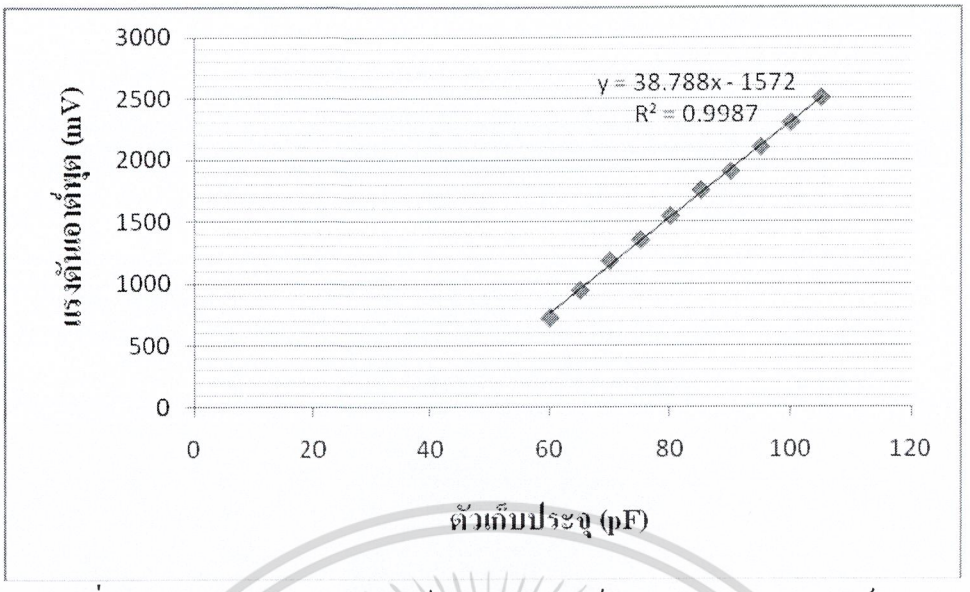
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.2** แสดงผลการคำนวณจากสมการ (4.2), (4.3), (4.4)

| R (k $\Omega$ ) | a | b | $S_{yx}$ |
|---|---|---|---|
| 65 | -1382 | 26.352 | 91.757 |
| 66 | -1516 | 28.897 | 89.653 |
| 67 | -1740 | 33.564 | 71.456 |
| 68 | -1850 | 37.867 | 37.506 |
| 69 | -1720 | 38.000 | 32.016 |
| 70 | -1708 | 39.200 | 37.947 |
| 71 | -1572 | 38.788 | 22.720 |
| 72 | -1390 | 38.303 | 35.462 |
| 73 | -1360 | 38.848 | 42.596 |
| 74 | -1040 | 38.000 | 33.541 |
| 75 | -940 | 38.424 | 36.876 |
| 76 | -730 | 37.273 | 67.924 |
| 77 | -500 | 36.061 | 65.424 |
| 78 | -380 | 35.576 | 45.933 |
| 79 | -460 | 37.273 | 43.170 |
| 80 | -230 | 36.424 | 61.113 |
| 81 | 260 | 33.333 | 58.452 |
| 82 | 660 | 30.182 | 71.748 |

จากตาราง 4.2 จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ค่าความต้านทาน 71 กิโลโอห์ม นำค่าความจุไฟฟ้าของเซ็นเซอร์และค่าแรงดันเอาต์พุตจากผลการทดลองที่ค่าความต้านทาน 71 กิโลโอห์ม ไปเขียนกราฟโดยให้ค่าความจุไฟฟ้าของเซ็นเซอร์(ตัวเก็บประจุ) อยู่ในแนวแกน x และให้ค่าแรงดันเอาต์พุตอยู่ในแนวแกน y จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.5** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเก็บประจุและแรงดันเอาต์พุต

จากกราฟในรูปที่ 4.5 เมื่อปรับค่าความต้านทานที่ 71 กิโลโอห์ม สังเกตว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าของเซ็นเซอร์กับค่าแรงดันเอาต์พุต มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบเชิงเส้น ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด โดยจะส่งผลให้อุปกรณ์ทำการวัดได้แม่นยำที่สุด เนื่องจากค่าผลตอบสนองที่ได้จะมีค่าสอดคล้องกับค่าตัวเก็บประจุ

## 4.2 การทดลองออกแบบคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์

เพื่อที่จะได้คาปาซีทีฟเซ็นเซอรที่ได้ค่าความจุไฟฟ้าตามที่ต้องการ จึงต้องทดลองการคำนวณหาค่าความจุไปฟ้า โดยประมาณพื้นที่ และค่าไดอิเล็กตริกในการคำนวณ และทดลองทำตัวเก็บประจุแบบง่ายๆก่อน เพื่อทดสอบว่าสามารถทำตัวเก็บประจุจากทฤษฎีได้หรือไม่

### 4.2.1 ทดลองโดยใช้กระดาษเป็นไดอิเล็กตริก

เริ่มแรกได้ทำการทดลองโดยใช้กระดาษเป็นตัวไดอิเล็กตริกระหว่างแผ่นฟอยล์ทองแดง แล้วจึงทำการวัดด้วยมิเตอร์วัดค่าความจุไฟฟ้า ผลที่ได้คือสามารถวัดค่าความจุไฟฟ้าได้

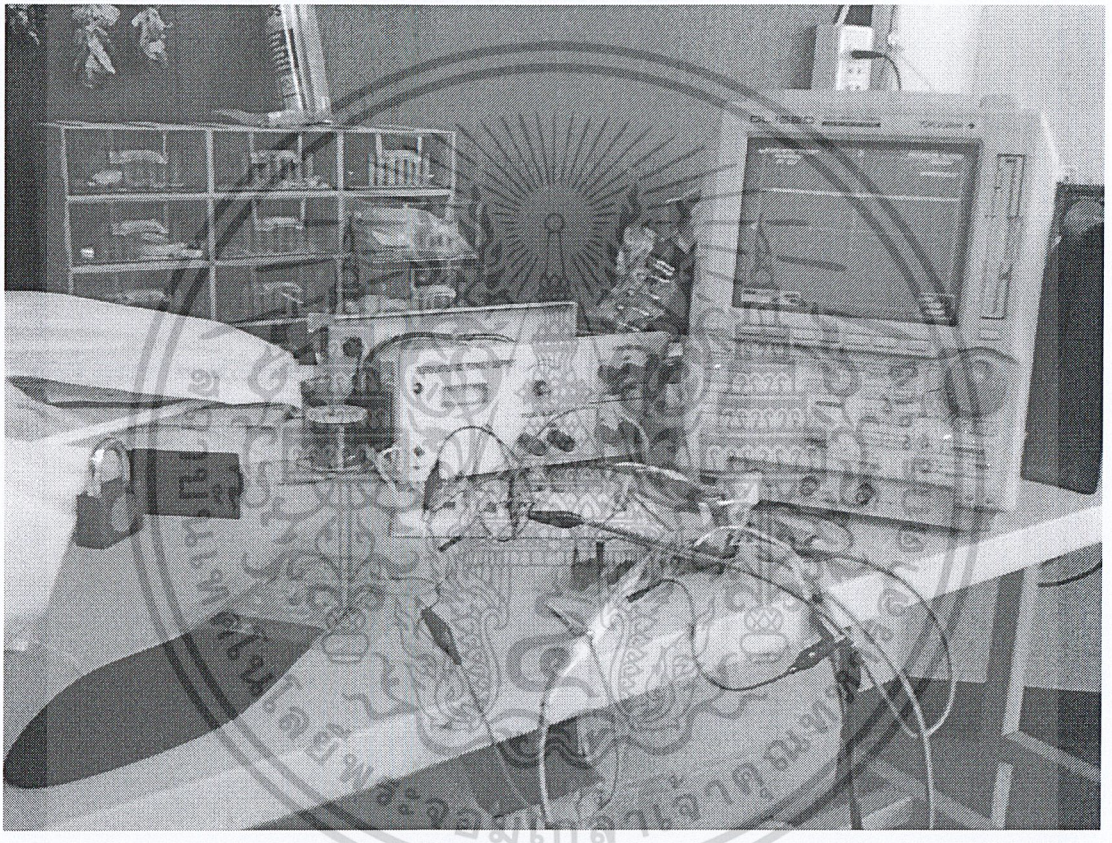
หลังจากนั้นจึงทดลองทำตัวเก็บประจุที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ โดยการเอาตัวเก็บประจุที่ทำจากกระดาษตัวเดิมมาม้วน โดยเพิ่มกระดาษอีกแผ่นมาเป็นชนวนแน่น เพื่อป้องกันตัวแปรที่เกิดจากช่องว่างของอากาศจึงต้องม้วนให้แน่น แล้วจึงเอาเทปกาวมาพันรอบๆ เพื่อไม่ให้กระดาษและฟอยล์ที่ม้วนไว้คลายตัวออก เมื่อนำไปวัดกับมิเตอร์ ก็จะพบว่าตัวเก็บประจุมีค่าเพิ่มขึ้นมาก เพราะการม้วน และเพิ่มชนวนเข้าไปนั้นเสมือนกับการต่อตัวเก็บประจุแบบขนานหลายๆ ตัวเข้าตัวกัน แล้วเมื่อทำการบีบตัวเก็บประจุ ค่าความจุไฟฟ้าก็เพิ่มขึ้นตามแรงที่กด เนื่องจากระยะห่างของตัวนำไฟฟ้าน้อยลง ค่าความจุไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กันกับทฤษฎีของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2.2 ทดลองโดยใช้พื้นรองเท้าเป็นไดอิเล็กตริก**

ในการทดลองใช้คาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ที่ได้ทำการออกแบบในหัวข้อที่ 3.2 โดยการนำไปวัดกับมิเตอร์วัดค่าความจุไฟฟ้าพบว่าสามารถวัดค่าได้ และมีการเปลี่ยนแปลงค่าความจุมากขึ้นเมื่อมีแรงมากดทับเช่นเดียวกับการทดลองกับกระดาษ

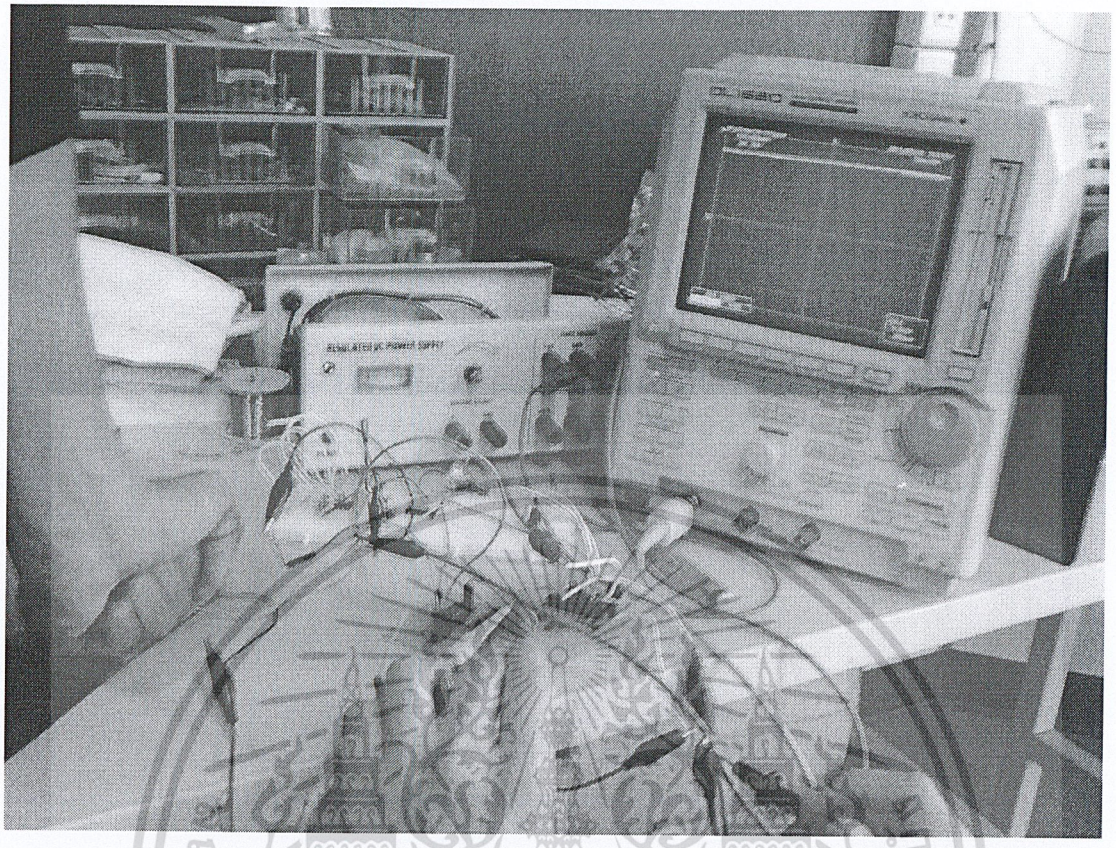
เมื่อนำคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ไปใช้ร่วมกับวงจรที่ได้ออกแบบโดยใช้ค่าความต้านทานปรับค่าได้จากการทดลอง 4.1.2 คือ 7.1 กิโลโอมห์ แล้ววัดด้วยออสซิลโลสโคป(Oscilloscope) เพื่อแสดงผลตอบสนองที่ได้เป็นแรงดันไฟฟ้า ค่าผลตอบสนองที่ได้คือประมาณ 800 มิลลิโวลต์ ดังรูปที่ 4.6



**รูปที่ 4.6** ผลตอบสนองที่ได้จากคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์

และเมื่อเอามือไปกดทับบนตัวคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ ผลที่ได้คือค่าผลตอบสนองมีค่าสูงขึ้น โดยมีค่าประมาณ 1600 มิลลิโวลต์ ดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.7** ผลตอบสนองที่ได้จากคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์เมื่อมีแรงมากดทับ

ดังนั้นผลที่ได้จากการทดลองสรุปว่า การออกแบบคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ด้วยวิธีการนี้ มีแนวโน้มที่จะนำไปใช้ได้จริง และสามารถทำงานร่วมกับวงจรตรวจสัญญาณที่ออกแบบได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# บทวิจารณ์และสรุป

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองและศึกษาวงจรตรวจสัญญาณคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ตามงานวิจัยของมิยาซากิ และอิชิดะ พบว่าเมื่อต่อวงจรตามที่งานวิจัยได้ออกแบบมา สามารถนำมาใช้วัดค่าความต้านทานได้ โดยที่ผลตอบสนองที่ออกมาจะเป็นแรงดันไฟฟ้า เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่มีความแม่นยำ จึงต้องปรับแต่งค่าความต้านทานปรับค่าได้ที่อยู่ในวงจรให้ผลตอบสนองเป็นเชิงเส้น และในการออกแบบคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ที่สามารถตรวจวัดแรงกดได้ ซึ่งเกิดปัญหาในเรื่องของข้อมูลในการออกแบบและวัสดุในการทำ จึงทำให้ได้เซ็นเซอร์ที่ยังไม่เป็นที่น่าพอใจมากนัก แต่เมื่อนำวงจรไปใช้งานร่วมกับคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ที่ได้ออกแบบ ก็สามารถวัดแรงดันเอาต์พุตได้จริง และมีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อมีแรงมากกดทับลงบนตัวเซ็นเซอร์ ซึ่งตรงตามทฤษฎีค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ แต่เนื่องจากวัสดุ และวิธีการทำเซ็นเซอร์ยังไม่สามารถทำเซ็นเซอร์ที่มีความเสถียร และมีค่าตามที่ต้องการได้ ส่งผลให้การทดลองวัดค่าเอาต์พุตโดยการเดินยังไม่สามารถทำได้ ทำให้ผลการทดลองของโครงงานนี้อยู่ในส่วนของการแสดงผลเท่านั้น

## 5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

จากการศึกษาในช่วงแรกปัญหาที่พบคือ ในเรื่องของตัววัสดุที่นำมาทำตัวคาปาซิทีฟเซ็นเซอร์ เนื่องจากอุปกรณ์บางอย่างไม่มีขายทั่วๆ ไป แต่กลับต้องมีการสั่งทำขึ้นพิเศษ ทำให้ในเรื่องของการจะทำคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์ไม่สามารถทำออกมาได้ในลักษณะที่มีความแม่นยำตามที่ได้ศึกษาวิจัยมา ยกตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ฟอยด์ทองแดง ซึ่งจำเป็นต้องมีขนาดที่บางมากๆ ถึงจะสามารถสร้างตัวคาปาซีทีฟเซนเซอร์ออกมาได้มีความแม่นยำตามที่ได้ศึกษาวิจัย ดังนั้นในแนวทางแก้ไขในส่วนนี้ทางผู้จัดทำได้หาซื้อฟอยด์ทองแดง ซึ่งอยู่ในลักษณะเทปกาวมีขนาดไม่กว้างนักมาใช้โดยวิธีต่อเป็นแผ่น ซึ่งค่าที่ได้อาจทำให้เกิดตัวแปรจะการต่อกัน หลังจากนั้นจึงซื้อแผ่นทองแดงที่มีขนาดกว้างนั้นซึ่งจะมีแต่แผ่นหนามาทำการทดลอง ซึ่งผลที่ได้ออกมาก็สามารถวัดค่าตัวเก็บประจุออกมาได้ แต่ทั้งนี้ค่าที่ได้นั้นไม่สามารถสรุปได้อย่างสมบรูณ์ได้ตรงตามงานวิจัยที่ได้ศึกษา เนื่องจากขนาดอุปกรณ์ไม่ตรงตามแบบงานวิจัย และไม่สะดวกในการใช้งาน

ในส่วนของอีกหนึ่งปัญหาที่มีความสำคัญไม่แพ้กันก็คือ ในส่วนของความต้านทานแบบปรับค่าที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งความต้านทานที่ทางผู้จัดทำไปซื้อมา นำมาใช้กับวงจรได้แต่มีค่าไม่แม่นยำพอเพราะเมื่อทำการปรับค่าความต้านทาน ค่าที่ได้ออกมามีลักษณะแกว่งไม่มีความคงที่และ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แน่นอนพอสำหรับในการใช้วัดในส่วนของวงจร ดังนั้นในส่วนของแนวทางการแก้ไขนั้น ผู้จัดทำจึงจำเป็นต้องปรับค่าความต้านทานในลักษณะของการหมุนที่น้อยมากๆ เพื่อที่จะให้ค่าที่วัดออกมาได้มีความแม่นยำและมีลักษณะของกราฟ ที่จะนำไปเขียนมีความเป็นกราฟเชิงเส้นมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อจะได้ออกมาตรงตามทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษามาข้างต้น

## 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

ในส่วนของตัวอุปกรณ์นั้นในการประดิษฐ์ในเรื่องของคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์นั้น จำเป็นต้องหาอุปกรณ์ที่มีความจำเพาะ หรือมีการสั่งทำขึ้นเป็นพิเศษในบางส่วนของตัวอุปกรณ์ ดังนั้นในการพัฒนาในเรื่องของตัวเซ็นเซอร์นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีทุนจำนวนหนึ่งในการทำอุปกรณ์บางอย่างขึ้นเป็นพิเศษ เช่น ในกรณีของฟอยล์ทองแดง ซึ่งจำเป็นต้องมีขนาดบางมากๆ จำเป็นต้องสั่งทำขึ้นเป็นพิเศษ เป็นต้น

ในส่วนของตัวอุปกรณ์ที่ไม่มีความแม่นยำหรือความละเอียด รวมถึงคุณภาพพอที่จะใช้ในการศึกษาวิจัยตามที่กล่าวข้างต้น ถ้าต้องการที่จะพัฒนาเพื่อให้ได้ความแม่นยำ คุณภาพรวมทั้งความละเอียดที่จะทำการวิจัยเพิ่ม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องสั่งหรือนำเข้าอุปกรณ์บางตัวที่มีความละเอียดและคุณภาพสูงเข้ามาใช้ในตัวของวงจร และเซ็นเซอร์ด้วย

ในการพัฒนาในเรื่องของคาปาซีทีฟเซ็นเซอร์และวงจรวัดแรงนั้น มีความสำคัญอย่างมากในเรื่องของการนำไปใช้ศึกษาลักษณะการเดินของคนปกติ และไม่ปกติเพื่อจะนำไปใช้รักษาหรือวิจัยเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินของมนุษย์ที่ผิดปกติ การศึกษาเรื่องนี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในวงการแพทย์ ถ้าเกิดมีการศึกษาและพัฒนาเรื่องนี้อย่างจริงจัง ก็จะทำสามารถช่วยเหลือวงการแพทย์และผู้ป่วยที่มีโรคเกี่ยวกับการเดินได้มากขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEXAS INSTRUMENTS

Data sheet acquired from Harris Semiconductor
SCHS021

# CD4011B, CD4012B, CD4023B Types

## CMOS NAND GATES

High-Voltage Types (20-Volt Rating)

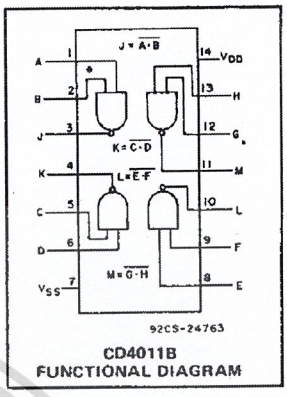
Quad 2 Input – CD4011B
Dual 4 Input – CD4012B
Triple 3 Input – CD4023B

■ CD4011B, CD4012B, and CD4023B NAND gates provide the system designer with direct implementation of the NAND function and supplement the existing family of CMOS gates. All inputs and outputs are buffered.

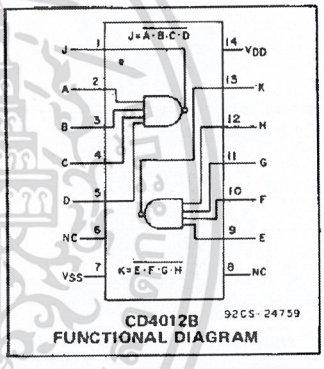
The CD4011B, CD4012B, and CD4023B types are supplied in 14-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (D and F suffixes), 14-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), and in chip form (H suffix).

*Features:*

- Propagation delay time = 60 ns (typ.) at $C_L$ = 50 pF, $V_{DD}$ = 10 V
- Buffered inputs and outputs
- Standardized symmetrical output characteristics
- Maximum input current of 1 μA at 18 V over full package temperature range; 100 nA at 18 V and 25°C
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Noise margin (over full package temperature range):
  - 1 V at $V_{DD}$ = 5 V
  - 2 V at $V_{DD}$ = 10 V
  - 2.5 V at $V_{DD}$ = 15 V
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of "B" Series CMOS Devices"



CD4011B
FUNCTIONAL DIAGRAM



CD4012B
FUNCTIONAL DIAGRAM

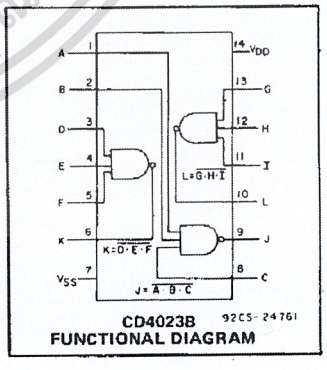
**MAXIMUM RATINGS,** *Absolute-Maximum Values:*

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, ($V_{DD}$)
(Voltages referenced to $V_{SS}$ Terminal) ..... -0.5V to +20V
INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS ..... -0.5V to $V_{DD}$ +0.5V
DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT ..... ±10mA
POWER DISSIPATION PER PACKAGE ($P_D$):
For $T_A$ = -55°C to +100°C ..... 500mW
For $T_A$ = +100°C to +125°C ..... Derate Linearity at 12mW/°C to 200mW
DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR
FOR $T_A$ = FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types) ..... 100mW
OPERATING-TEMPERATURE RANGE ($T_A$) ..... -55°C to +125°C
STORAGE TEMPERATURE RANGE ($T_{stg}$) ..... -65°C to +150°C
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):
At distance 1/16 ± 1/32 inch (1.59 ± 0.79mm) from case for 10s max ..... +265°C

**RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS**

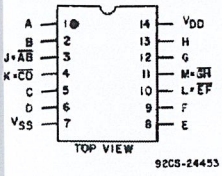
*For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges:*

| CHARACTERISTIC | LIMITS | | UNITS |
|---|---|---|---|
| | MIN. | MAX. | |
| Supply-Voltage Range (For $T_A$ = Full Package Temperature Range) | 3 | 18 | V |

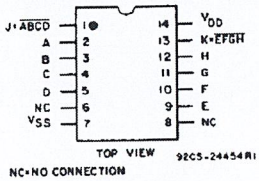


CD4023B
FUNCTIONAL DIAGRAM

**TERMINAL ASSIGNMENTS**

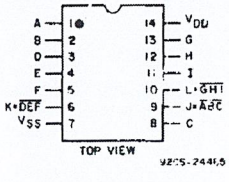


CD4011B



CD4012B

NC = NO CONNECTION



CD4023B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

| CHARACTERISTIC | CONDITIONS | | | LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C) | | | | | | | UNITS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | +25 | | | |
| | $V_O$ (V) | $V_{IN}$ (V) | $V_{DD}$ (V) | −55 | −40 | +85 | +125 | Min. | Typ. | Max. | |
| Quiescent Device Current, $I_{DD}$ Max. | – | 0,5 | 5 | 0.25 | 0.25 | 7.5 | 7.5 | – | 0.01 | 0.25 | μA |
| | – | 0,10 | 10 | 0.5 | 0.5 | 15 | 15 | – | 0.01 | 0.5 | |
| | – | 0,15 | 15 | 1 | 1 | 30 | 30 | – | 0.01 | 1 | |
| | – | 0,20 | 20 | 5 | 5 | 150 | 150 | – | 0.02 | 5 | |
| Output Low (Sink) Current $I_{OL}$ Min. | 0.4 | 0,5 | 5 | 0.64 | 0.61 | 0.42 | 0.36 | 0.51 | 1 | – | mA |
| | 0.5 | 0,10 | 10 | 1.6 | 1.5 | 1.1 | 0.9 | 1.3 | 2.6 | – | |
| | 1.5 | 0,15 | 15 | 4.2 | 4 | 2.8 | 2.4 | 3.4 | 6.8 | – | |
| Output High (Source) Current, $I_{OH}$ Min. | 4.6 | 0,5 | 5 | −0.64 | −0.61 | −0.42 | −0.36 | −0.51 | −1 | – | |
| | 2.5 | 0,5 | 5 | −2 | −1.8 | −1.3 | −1.15 | −1.6 | −3.2 | – | |
| | 9.5 | 0,10 | 10 | −1.6 | −1.5 | −1.1 | −0.9 | −1.3 | −2.6 | – | |
| | 13.5 | 0,15 | 15 | −4.2 | −4 | −2.8 | −2.4 | −3.4 | −6.8 | – | |
| Output Voltage: Low-Level, $V_{OL}$ Max. | – | 0,5 | 5 | 0.05 | | | | – | 0 | 0.05 | V |
| | – | 0,10 | 10 | 0.05 | | | | – | 0 | 0.05 | |
| | – | 0,15 | 15 | 0.05 | | | | – | 0 | 0.05 | |
| Output Voltage: High-Level, $V_{OH}$ Min. | – | 0,5 | 5 | 4.95 | | | | 4.95 | 5 | – | |
| | – | 0,10 | 10 | 9.95 | | | | 9.95 | 10 | – | |
| | – | 0,15 | 15 | 14.95 | | | | 14.95 | 15 | – | |
| Input Low Voltage, $V_{IL}$ Max. | 4.5 | – | 5 | 1.5 | | | | – | – | 1.5 | V |
| | 9 | – | 10 | 3 | | | | – | – | 3 | |
| | 13.5 | – | 15 | 4 | | | | – | – | 4 | |
| Input High Voltage, $V_{IH}$ Min. | 0.5,4.5 | – | 5 | 3.5 | | | | 3.5 | – | – | |
| | 1,9 | – | 10 | 7 | | | | 7 | – | – | |
| | 1.5,13.5 | – | 15 | 11 | | | | 11 | – | – | |
| Input Current $I_{IN}$ Max. | | 0,18 | 18 | ±0.1 | ±0.1 | ±1 | ±1 | – | $±10^{-5}$ | ±0.1 | μA |

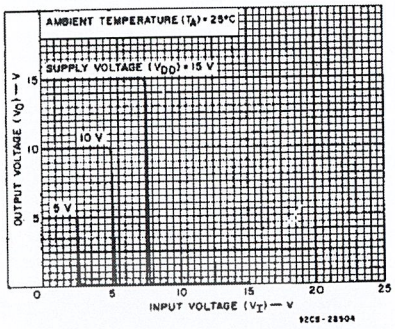



*Fig. 1 — Typical voltage transfer characteristics.*

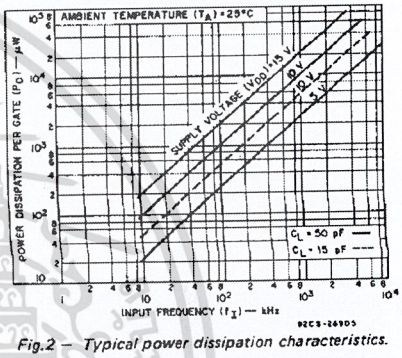



*Fig. 2 — Typical power dissipation characteristics.*

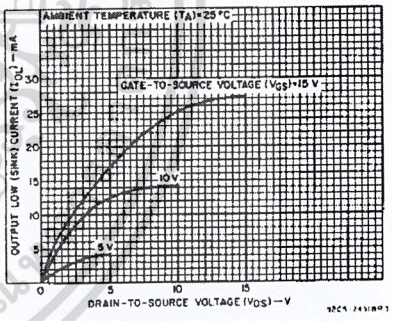



*Fig. 3 — Typical output low (sink) current characteristics.*

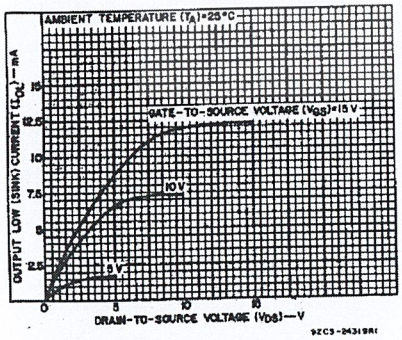



*Fig. 4 — Minimum output low (sink) current characteristics.*

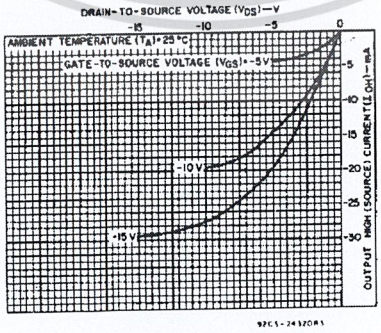



*Fig. 5 — Typical output high (source) current characteristics.*

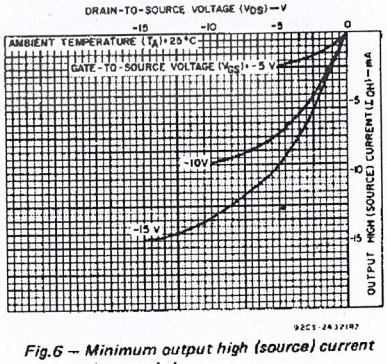



*Fig. 6 — Minimum output high (source) current characteristics.*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

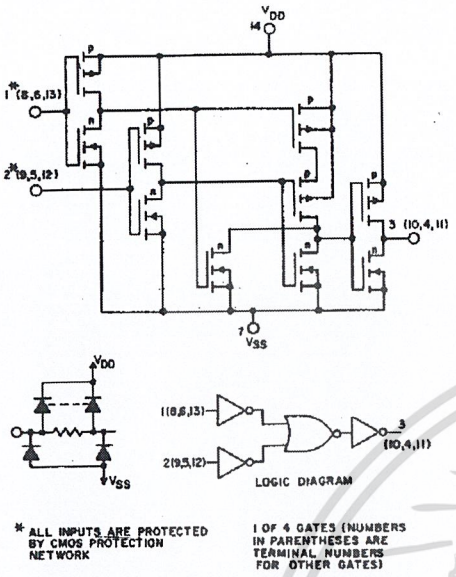



Fig.7 – Schematic and logic diagrams for CD4011B.

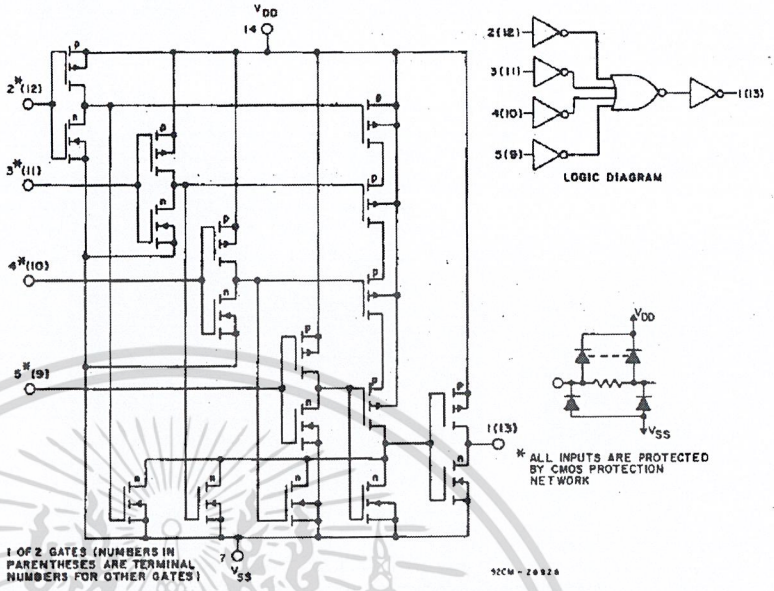



Fig.8 – Schematic and logic diagrams for CD4012B.

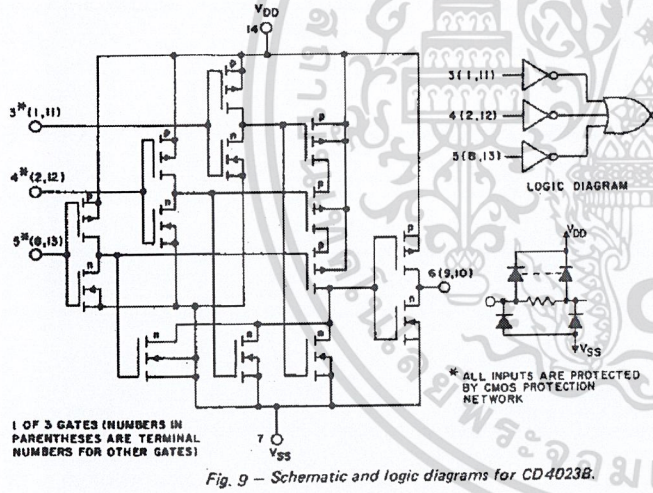



Fig. 9 – Schematic and logic diagrams for CD4023B.

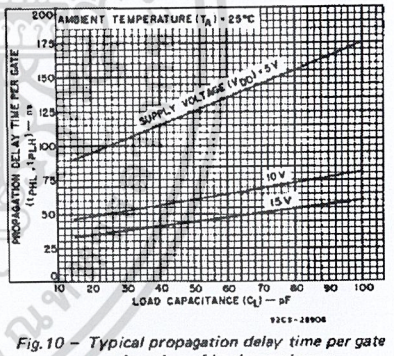



Fig.10 – Typical propagation delay time per gate as a function of load capacitance.

## DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

*At $T_A$ = 25°C; Input $t_r$, $t_f$ = 20 ns, $C_L$ = 50 pF, $R_L$ = 200kΩ*

| CHARACTERISTIC | TEST CONDITIONS | LIMITS | | UNITS |
|---|---|---|---|---|
| | $V_{DD}$ VOLTS | TYP. | MAX. | |
| Propagation Delay Time, $t_{PHL}$, $t_{PLH}$ | 5 | 125 | 250 | ns |
| | 10 | 60 | 120 | |
| | 15 | 45 | 90 | |
| Transition Time, $t_{THL}$, $t_{TLH}$ | 5 | 100 | 200 | ns |
| | 10 | 50 | 100 | |
| | 15 | 40 | 80 | |
| Input Capacitance, $C_{IN}$ | Any Input | 5 | 7.5 | pF |

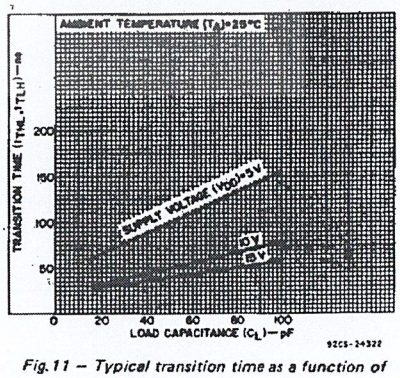



Fig.11 – Typical transition time as a function of load capacitance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

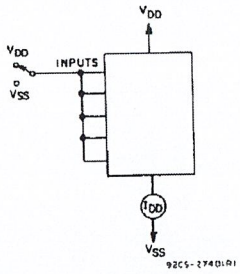



Fig. 12 – Quiescent-device-current test circuit.

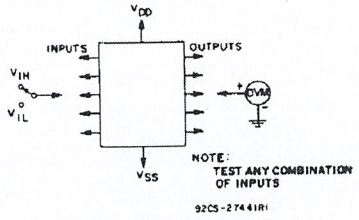



Fig. 13 – Input-voltage test circuit.

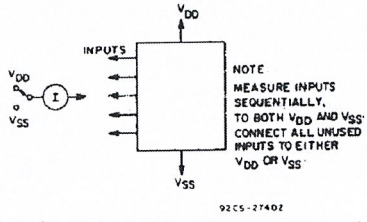
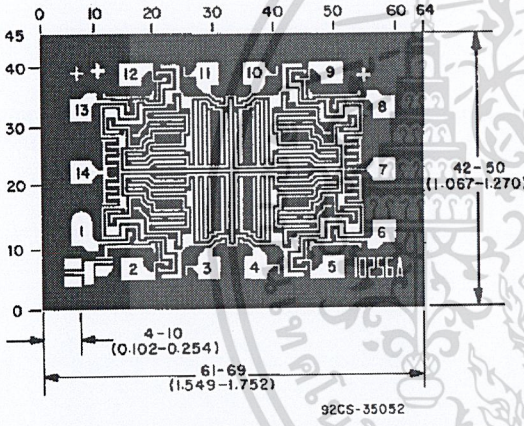
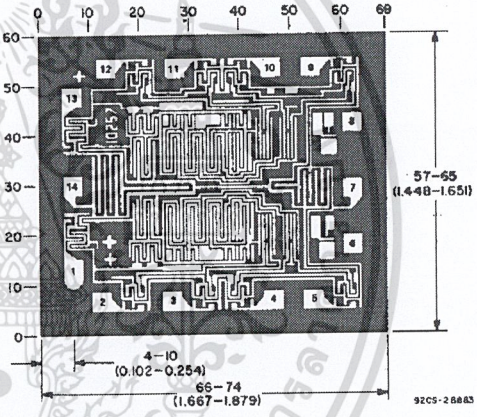



Fig. 14 – Input-current test circuit.

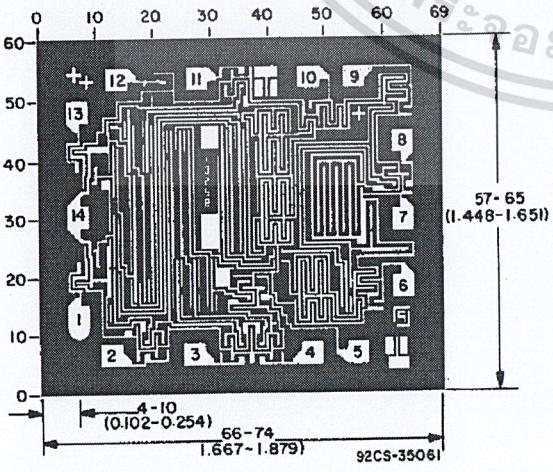
## Chip Dimensions and Pad Layouts




CD4011BH




CD4012BH




CD4023BH

*Dimensions in parentheses are in millimeters and are derived from the basic inch dimensions as indicated. Grid graduations are in mils ($10^{-3}$ inch).*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

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

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF TI PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been downloaded from:

www.DatasheetCatalog.com

Datasheets for electronic components.




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OBSOLETE PRODUCT
NO RECOMMENDED REPLACEMENT

# CA124, CA224, CA324, LM324, LM2902

Data Sheet | May 2001 | File Number 796.5

## Quad, 1MHz, Operational Amplifiers for Commercial, Industrial, and Military Applications

The CA124, CA224, CA324, LM324, and LM2902 consist of four independent, high-gain operational amplifiers on a single monolithic substrate. An on-chip capacitor in each of the amplifiers provides frequency compensation for unity gain. These devices are designed specially to operate from either single or dual supplies, and the differential voltage range is equal to the power-supply voltage. Low power drain and an input common-mode voltage range from 0V to V+ -1.5V (single-supply operation) make these devices suitable for battery operation.

## Part Number Information

| PART NUMBER (BRAND) | TEMP. RANGE ($^{o}$C) | PACKAGE | PKG. NO. |
|---|---|---|---|
| CA0124E | -55 to 125 | 14 Ld PDIP | E14.3 |
| CA0124M (124) | -55 to 125 | 14 Ld SOIC | M14.15 |
| CA0124M96 (124) | -55 to 125 | 14 Ld SOIC Tape and Reel | M14.15 |
| CA0224E | -40 to 85 | 14 Ld PDIP | E14.3 |
| CA0224M (224) | -40 to 85 | 14 Ld SOIC | M14.15 |
| CA0324E | 0 to 70 | 14 Ld PDIP | E14.3 |
| CA0324M (324) | 0 to 70 | 14 Ld SOIC | M14.15 |
| CA0324M96 (324) | 0 to 70 | 14 Ld SOIC Tape and Reel | M14.15 |
| LM324N | 0 to 70 | 14 Ld PDIP | E14.3 |
| LM2902N | -40 to 85 | 14 Ld PDIP | E14.3 |
| LM2902M (2902) | -40 to 85 | 14 Ld SOIC | M14.15 |
| LM2902M96 (2902) | -40 to 85 | 14 Ld SOIC Tape and Reel | M14.15 |

## Features

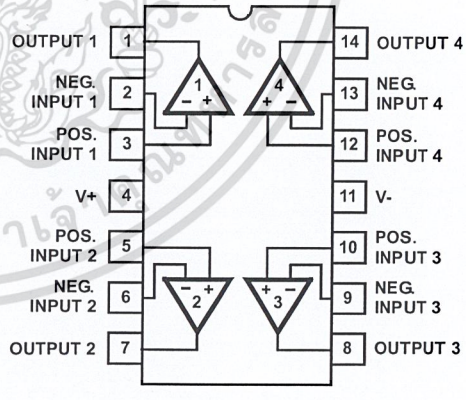
- Operation from Single or Dual Supplies
- Unity-Gain Bandwidth . . . . . 1MHz (Typ)
- DC Voltage Gain . . . . . 100dB (Typ)
- Input Bias Current . . . . . 45nA (Typ)
- Input Offset Voltage . . . . . 2mV (Typ)
- Input Offset Current
  - CA224, CA324, LM324, LM2902 . . . . . 5nA (Typ)
  - CA124 . . . . . 3nA (Typ)
- Replacement for Industry Types 124, 224, 324

## Applications

- Summing Amplifiers
- Multivibrators
- Oscillators
- Transducer Amplifiers
- DC Gain Blocks

## Pinout

**CA124, CA224, CA324, LM2902 (PDIP, SOIC)**
**LM324 (PDIP)**
TOP VIEW




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น สงวนลิขสิทธิ์โดยกฎหมาย



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.
1-888-INTERSIL or 321-724-7143 | Intersil and Design is a trademark of Intersil Americas Inc. | Copyright © Intersil Americas Inc. 2001

## Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage . . . . . 32V or ±16V
Differential Input Voltage . . . . . 32V
Input Voltage . . . . . -0.3V to 32V
Input Current ($V_I$ < -0.3V, Note 1) . . . . . 50mA
Output Short Circuit Duration (V+ ≤ 15V, Note 2) . . . . . Continuous

## Operating Conditions

Temperature Range
CA124 . . . . . -55°C to 125°C
CA224, LM2902 . . . . . -40°C to 85°C
CA324, LM324 . . . . . 0°C to 70°C

## Thermal Information

| Thermal Resistance (Typical, Note 3) | $\theta_{JA}$ (°C/W) |
|---|---|
| PDIP Package | 95 |
| SOIC Package | 175 |

Maximum Junction Temperature (Die) . . . . . 175°C
Maximum Junction Temperature (Plastic Package) . . . . . 150°C
Maximum Storage Temperature Range . . . . . -65°C to 150°C
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s) . . . . . 300°C
(SOIC - Lead Tips Only)

*CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.*

NOTES:

1. This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. This current is due to the collector base junction of the input p-n-p transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral n-p-n parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the amplifiers to go to the V+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This transistor action is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3V.
2. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V+. Continuous short circuits at V+ > 15V can cause excessive power dissipation and eventual destruction. Short circuits from the output to V+ can cause overheating and eventual destruction of the device.
3. $\theta_{JA}$ is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

## Electrical Specifications

Values Apply for Each Operational Amplifier. Supply Voltage V+ = 5V, V- = 0V, Unless Otherwise Specified

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | TEMP. (°C) | CA124 | | | CA224, CA324, LM324 | | | LM2902 | | | UNITS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | |
| Input Offset Voltage (Note 6) | | 25 | - | 2 | 5 | - | 2 | 7 | - | - | - | mV |
| | | Full | - | - | 7 | - | - | 9 | - | - | 10 | mV |
| Average Input Offset Voltage Drift | $R_S$ = 0Ω | Full | - | 7 | - | - | 7 | - | - | 7 | - | µV/°C |
| Differential Input Voltage (Note 5) | | Full | - | - | V+ | - | - | V+ | - | - | V+ | V |
| Input Common Mode Voltage Range (Note 5) | V+ = 30V | 25 | 0 | - | V+ -1.5 | 0 | - | V+ -1.5 | - | - | - | V |
| | V+ = 30V | Full | 0 | - | V+ -2 | 0 | - | V+ -2 | - | - | - | V |
| | V+ = 26V | Full | - | - | - | - | - | - | 0 | - | V+ -2 | V |
| Common Mode Rejection Ratio | DC | 25 | 70 | 85 | - | 65 | 70 | - | - | - | - | dB |
| Power Supply Rejection Ratio | DC | 25 | 65 | 100 | - | 65 | 100 | - | - | - | - | dB |
| Input Bias Current (Note 4) | $I_I$+ or $I_I$- | 25 | - | 45 | 150 | - | 45 | 250 | - | - | - | nA |
| | $I_I$+ or $I_I$- | Full | - | - | 300 | - | - | 500 | - | 40 | 500 | nA |
| Input Offset Current | $I_I$+ - $I_I$- | 25 | - | 3 | 30 | - | 5 | 50 | - | - | - | nA |
| | $I_I$+ - $I_I$- | Full | - | - | 100 | - | - | 150 | - | 45 | 200 | nA |
| Average Input Offset Current Drift | | Full | - | 10 | - | - | 10 | - | - | 10 | - | pA/°C |
| Large Signal Voltage Gain | $R_L$ ≥ 2kΩ, V+ = 15V (For Large $V_O$ Swing) | 25 | 94 | 100 | - | 88 | 100 | - | - | - | - | dB |
| | $R_L$ ≥ 2kΩ, V+ = 15V (For Large $V_O$ Swing) | Full | 88 | - | - | 83 | - | - | 83 | - | - | dB |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

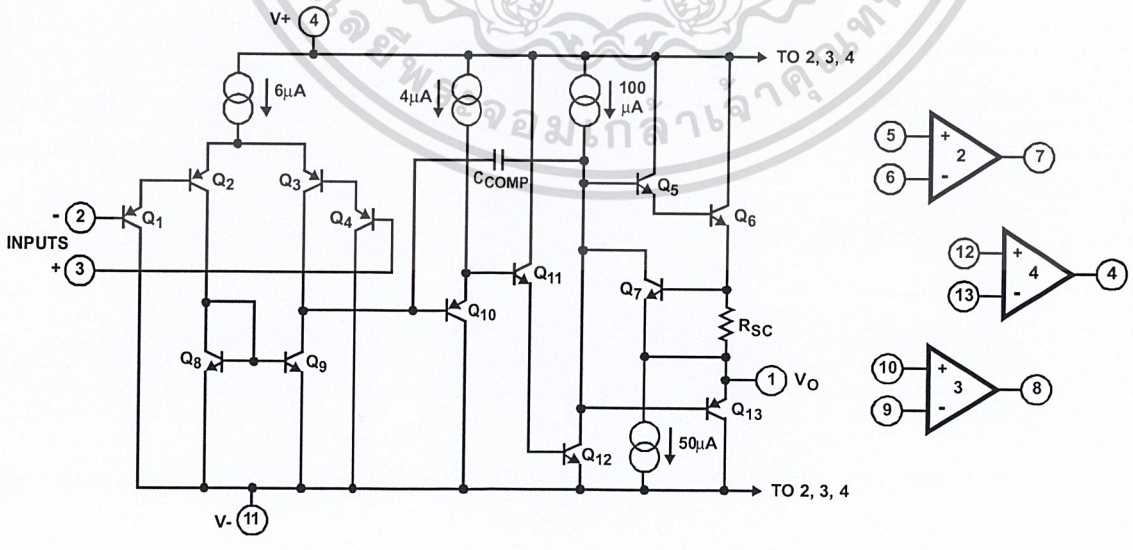
**Electrical Specifications** Values Apply for Each Operational Amplifier. Supply Voltage V+ = 5V, V- = 0V, Unless Otherwise Specified **(Continued)**

| PARAMETER | | TEST CONDITIONS | TEMP. (°C) | CA124 | | | CA224, CA324, LM324 | | | LM2902 | | | UNITS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | |
| Output Voltage Swing | High Level | $R_L$ = 2kΩ | 25 | 0 | - | V+ -1.5 | 0 | - | V+ -1.5 | - | - | - | V |
| | | $R_L$ = 2kΩ, V+ = 30V | Full | 26 | - | - | 26 | - | - | - | - | - | V |
| | | $R_L$ = 2kΩ, V+ = 26V | Full | - | - | - | - | - | - | 22 | - | - | V |
| | | $R_L$ = 10kΩ, V+ = 30V | Full | 27 | 28 | - | 27 | 28 | - | 23 | 28 | - | V |
| | Low Level | $R_L$ = 10kΩ | Full | - | 5 | 20 | - | 5 | 20 | - | 5 | 100 | mV |
| Output Current | Source | $V_I$+ = +1V, $V_I$- = 0V, V+ = 15V | 25 | 20 | 40 | - | 20 | 40 | - | - | - | - | mA |
| | | $V_I$+ = 1V, $V_I$- = 0, V+ = 15V | Full | 10 | 20 | - | 10 | 20 | - | 10 | 20 | - | mA |
| | Sink | $V_I$+ = 0V, $V_I$- = 1V, V+ = 15V | 25 | 10 | 20 | - | 10 | 20 | - | - | - | - | mA |
| | | $V_I$+ = 0V, $V_I$- = 1V, $V_O$ = 200mV | 25 | 12 | 50 | - | 12 | 50 | - | - | - | - | µA |
| | | $V_I$- = 1V, $V_I$+ = 0, V+ = 15V | Full | 5 | 8 | - | 5 | 8 | - | 5 | 8 | - | mA |
| Crosstalk | | f = 1 to 20kHz (Input Referred) | 25 | - | -120 | - | - | -120 | - | - | - | - | dB |
| Total Supply Current | | $R_L$ = ∞ | Full | - | 0.8 | 2 | - | 0.8 | 2 | - | 0.7 | 1.2 | mA |
| | | $R_L$ = ∞, V+ = 26V | Full | - | - | - | - | - | - | - | 1.5 | 3 | mA |

NOTES:

4. Due to the PNP input stage the direction of the input current is out of the IC. No loading change exists on the input lines because the current is essentially constant, independent of the state of the output.
5. The input signal voltage and the input common mode voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The positive limit of the common mode voltage range is V+ - 1.5V, but either or both inputs can go to +32V without damage.
6. $V_O$ = 1.4V, $R_S$ = 0Ω with V+ from 5V to 30V, and over the full input common mode voltage range (0V to V+ - 1.5V).

## *Schematic Diagram* (One of Four Operational Amplifiers)




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Curves

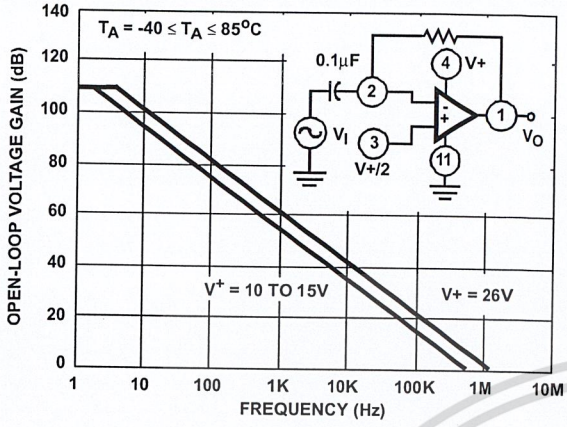



FIGURE 1. OPEN LOOP FREQUENCY RESPONSE

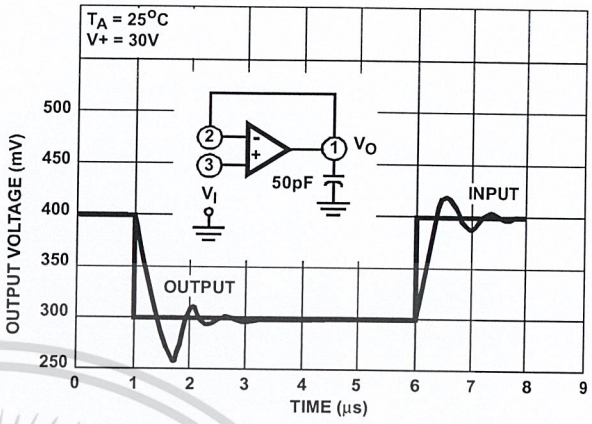



FIGURE 2. VOLTAGE FOLLOWER PULSE RESPONSE (SMALL SIGNAL)

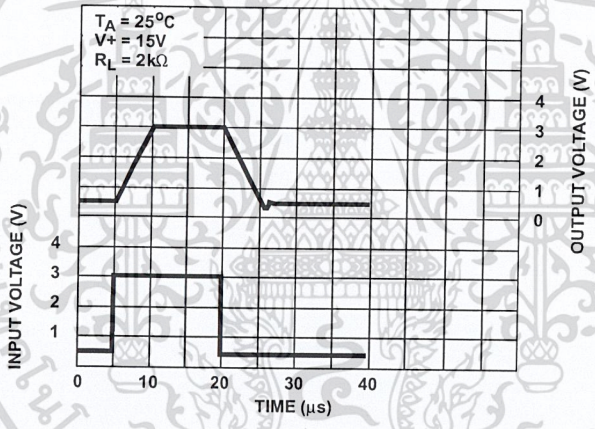



FIGURE 3. VOLTAGE FOLLOWER PULSE RESPONSE (LARGE SIGNAL)

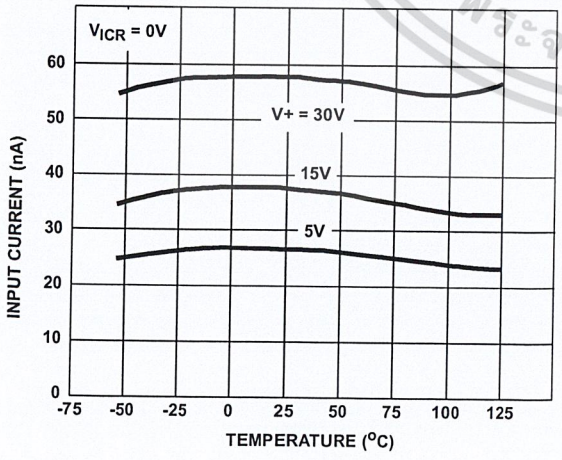



FIGURE 4. INPUT CURRENT vs AMBIENT TEMPERATURE

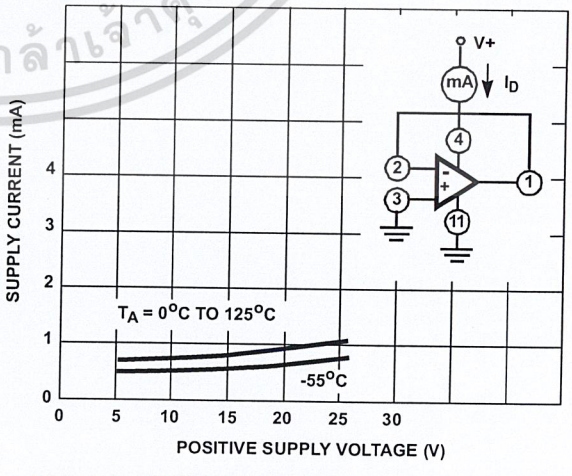



FIGURE 5. SUPPLY CURRENT vs SUPPLY VOLTAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Curves (Continued)

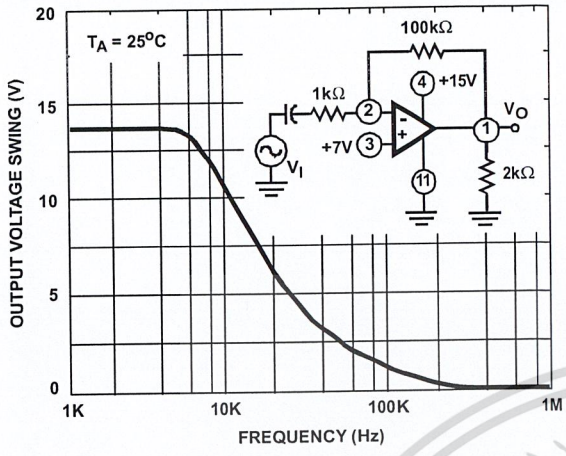



FIGURE 6. LARGE SIGNAL FREQUENCY RESPONSE

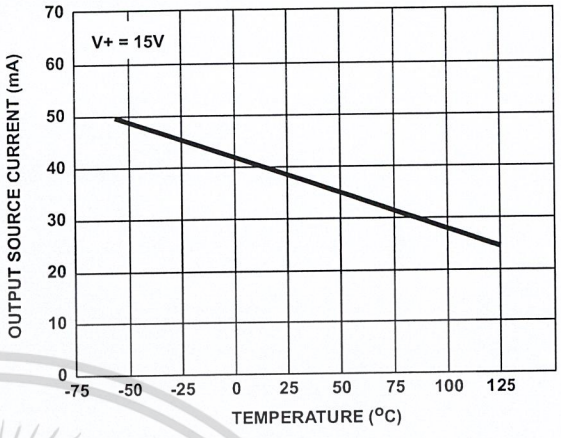



FIGURE 7. OUTPUT CURRENT vs AMBIENT TEMPERATURE

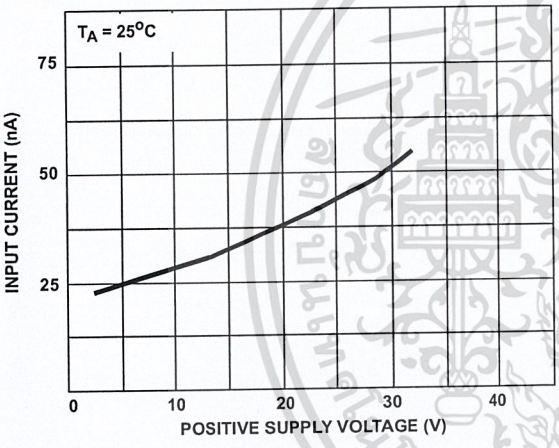



FIGURE 8. INPUT CURRENT vs SUPPLY VOLTAGE

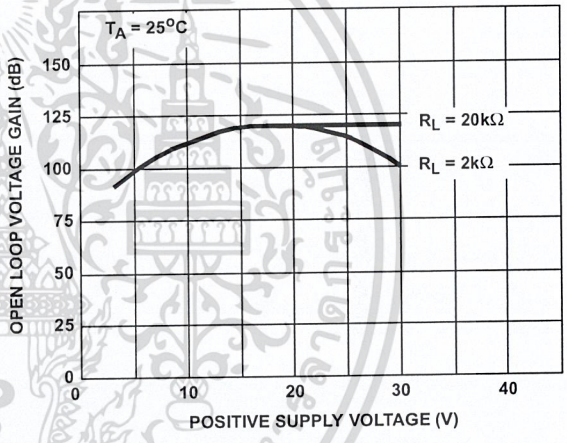
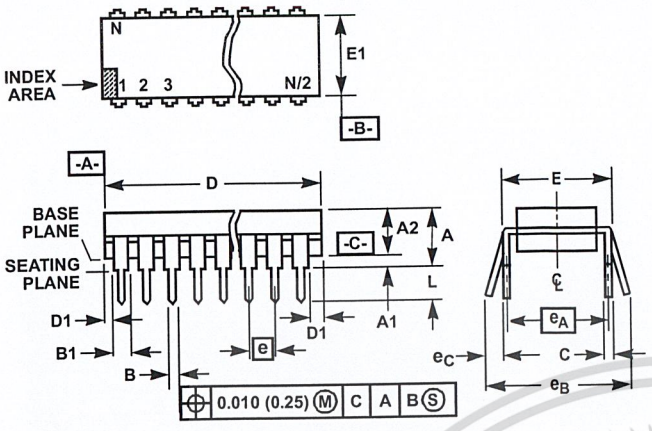



FIGURE 9. VOLTAGE GAIN vs SUPPLY VOLTAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Dual-In-Line Plastic Packages (PDIP)




**E14.3** (JEDEC MS-001-AA ISSUE D)
**14 LEAD DUAL-IN-LINE PLASTIC PACKAGE**

| SYMBOL | INCHES | | MILLIMETERS | | NOTES |
|---|---|---|---|---|---|
| | MIN | MAX | MIN | MAX | |
| A | - | 0.210 | - | 5.33 | 4 |
| A1 | 0.015 | - | 0.39 | - | 4 |
| A2 | 0.115 | 0.195 | 2.93 | 4.95 | - |
| B | 0.014 | 0.022 | 0.356 | 0.558 | - |
| B1 | 0.045 | 0.070 | 1.15 | 1.77 | 8 |
| C | 0.008 | 0.014 | 0.204 | 0.355 | - |
| D | 0.735 | 0.775 | 18.66 | 19.68 | 5 |
| D1 | 0.005 | - | 0.13 | - | 5 |
| E | 0.300 | 0.325 | 7.62 | 8.25 | 6 |
| E1 | 0.240 | 0.280 | 6.10 | 7.11 | 5 |
| e | 0.100 BSC | | 2.54 BSC | | - |
| $e_A$ | 0.300 BSC | | 7.62 BSC | | 6 |
| $e_B$ | - | 0.430 | - | 10.92 | 7 |
| L | 0.115 | 0.150 | 2.93 | 3.81 | 4 |
| N | 14 | | 14 | | 9 |

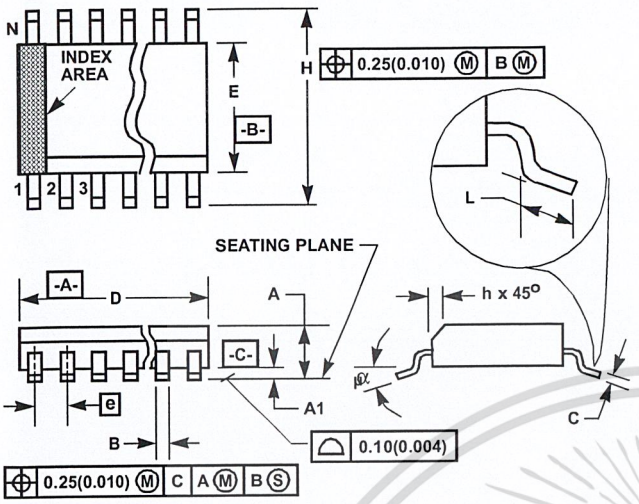
Rev. 0 12/93

NOTES:

1. Controlling Dimensions: INCH. In case of conflict between English and Metric dimensions, the inch dimensions control.
2. Dimensioning and tolerancing per ANSI Y14.5M-1982.
3. Symbols are defined in the "MO Series Symbol List" in Section 2.2 of Publication No. 95.
4. Dimensions A, A1 and L are measured with the package seated in JEDEC seating plane gauge GS-3.
5. D, D1, and E1 dimensions do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.010 inch (0.25mm).
6. E and $e_A$ are measured with the leads constrained to be perpendicular to datum -C-.
7. $e_B$ and $e_C$ are measured at the lead tips with the leads unconstrained. $e_C$ must be zero or greater.
8. B1 maximum dimensions do not include dambar protrusions. Dambar protrusions shall not exceed 0.010 inch (0.25mm).
9. N is the maximum number of terminal positions.
10. Corner leads (1, N, N/2 and N/2 + 1) for E8.3, E16.3, E18.3, E28.3, E42.6 will have a B1 dimension of 0.030 - 0.045 inch (0.76 - 1.14mm).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Small Outline Plastic Packages (SOIC)




**M14.15** (JEDEC MS-012-AB ISSUE C)
**14 LEAD NARROW BODY SMALL OUTLINE PLASTIC PACKAGE**

| SYMBOL | INCHES | | MILLIMETERS | | NOTES |
|---|---|---|---|---|---|
| | MIN | MAX | MIN | MAX | |
| A | 0.0532 | 0.0688 | 1.35 | 1.75 | - |
| A1 | 0.0040 | 0.0098 | 0.10 | 0.25 | - |
| B | 0.013 | 0.020 | 0.33 | 0.51 | 9 |
| C | 0.0075 | 0.0098 | 0.19 | 0.25 | - |
| D | 0.3367 | 0.3444 | 8.55 | 8.75 | 3 |
| E | 0.1497 | 0.1574 | 3.80 | 4.00 | 4 |
| e | 0.050 BSC | | 1.27 BSC | | - |
| H | 0.2284 | 0.2440 | 5.80 | 6.20 | - |
| h | 0.0099 | 0.0196 | 0.25 | 0.50 | 5 |
| L | 0.016 | 0.050 | 0.40 | 1.27 | 6 |
| N | 14 | | 14 | | 7 |
| α | 0° | 8° | 0° | 8° | - |

Rev. 0 12/93

NOTES:

1. Symbols are defined in the "MO Series Symbol List" in Section 2.2 of Publication Number 95.
2. Dimensioning and tolerancing per ANSI Y14.5M-1982.
3. Dimension "D" does not include mold flash, protrusions or gate burrs. Mold flash, protrusion and gate burrs shall not exceed 0.15mm (0.006 inch) per side.
4. Dimension "E" does not include interlead flash or protrusions. Interlead flash and protrusions shall not exceed 0.25mm (0.010 inch) per side.
5. The chamfer on the body is optional. If it is not present, a visual index feature must be located within the crosshatched area.
6. "L" is the length of terminal for soldering to a substrate.
7. "N" is the number of terminal positions.
8. Terminal numbers are shown for reference only.
9. The lead width "B", as measured 0.36mm (0.014 inch) or greater above the seating plane, shall not exceed a maximum value of 0.61mm (0.024 inch).
10. Controlling dimension: MILLIMETER. Converted inch dimensions are not necessarily exact.

All Intersil products are manufactured, assembled and tested utilizing ISO9000 quality systems.
Intersil Corporation's quality certifications can be viewed at website www.intersil.com/design/quality/iso.asp.

*Intersil products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements 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 Intersil or its subsidiaries.*

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site **www.intersil.com**

## Sales Office Headquarters

**NORTH AMERICA**
Intersil Corporation
2401 Palm Bay Rd.
Palm Bay, FL 32905
TEL: (321) 724-7000
FAX: (321) 724-7240

**EUROPE**
Intersil SA
Mercure Center
100, Rue de la Fusee
1130 Brussels, Belgium
TEL: (32) 2.724.2111
FAX: (32) 2.724.22.05

**ASIA**
Intersil Ltd.
8F-2, 96, Sec. 1, Chien-kuo North,
Taipei, Taiwan 104
Republic of China
TEL: 886-2-2515-8508
FAX: 886-2-2515-8369

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been downloaded from:

www.DatasheetCatalog.com

Datasheets for electronic components.




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง

[1] S.Miyazaki, A.Ishida. "Capacitive transducer for continuous measurement of vertical foot force" **Medical & Biological Engineering & Computing**, vol.22, no.4, July 1984. pp.309-316.

[2] จรัส บุณยธรรมา.**"ปัจจัยที่มีผลต่อตัวเก็บประจุ"** [Online], Available: http://www.rmutphysics .com/charud/specialnews/2/hydraulic-pump/hydraulic-pump9.htm. 2003.

[3] รศ.ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. **เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). 2548.

[4] ผศ.ประทิน คล้ายนาค. **ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.** พิมครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอ. เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์. 2529.

[5] โกศล โอฬารไพโรจน์. **ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า 2.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). 2543.

[6] ภาณุมาศ รัตนเถรา,ยุทธชัย รัตนรัตน์. "**เครื่องวัดค่าอิมพีแดนซ์ของน้ำนมยูเอชที.**" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุมสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.

[7] ดร.สุเจตน์ จันทรังษ์. **ทฤษฎีและตัวอย่างโจทย์วิเคราะห์วงจรเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมาหนคร: สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์ , อิงค์. 2537.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้