

เครื่องควบคุมการขายน้ำคิดเงินผ่านสมาร์ทการ์ด

VENDING – WATER CONTROL MACHINE BY SMART  
CARD



นายภักดี พึ่งกลิ่น  
นายวิโชติ แซ่โก้  
นายสุวิทย์ ประทุม

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 50430  
วัน,เดือน,ปี 13...พ.ศ. 2547

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# VENDING – WATER CONTROL MACHINE BY SMART CARD



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท เครื่องควบคุมการขายน้ำคิดเงินผ่านสมาร์ทการ์ด  
VENDING – WATER CONTROL MACHINE BY SMART CARD  
นักศึกษาผู้จัดทำ นายภักดี พึ่งกลิ่น รหัสประจำตัว 43015477  
นายวิหิต แซ่โล้ว รหัสประจำตัว 43015483  
นายสุวิทย์ ประทุม รหัสประจำตัว 43015494  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2545

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
อาจารย์ วิศรุต ศรีรัตนะ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2546  
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องควบคุมการขายน้ำคิดเงินผ่านสมาร์ทการ์ด	
	VENDING – WATER CONTROL MACHINE BY SMART CARD	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายภักดี	พिंगกลิ่น
	นายวิโชติ	แซ่ไคว้ว
	นายสุวิทย์	ประทุม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ วิศรุต	ศรีรัตนะ
ปีการศึกษา	2545	

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ ได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันมาก เครื่องจำหน่ายน้ำดื่มอัตโนมัติก็เป็นส่วนหนึ่ง ซึ่งที่พบเห็นส่วนมากจะอยู่ในรูปของตู้หยอดเหรียญซึ่งจำเป็นต้องเตรียมเหรียญการซื้อแต่ละครั้งทำให้ลำบากในการซื้อ

ดังนั้นในการจัดทำโครงการปริญญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำซึ่งมีแนวคิดที่จะสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องควบคุมสำหรับการจำหน่ายน้ำดื่มผ่านบัตร ซึ่งบัตรในที่นี้คือสมาร์ทการ์ด(Smart Card) ซึ่งมีหลักการทำงาน คือ ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการอ่านค่าเงินที่ถูกบรรจุลงในสมาร์ทการ์ดว่ามียอดเงินคงเหลือเท่าไร เพียงพอสำหรับการซื้อหรือไม่ จากนั้นผู้ซื้อต้องใส่จำนวนปริมาณน้ำที่ต้องการซื้อเป็นลิตร จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งเปิดโซลินอยด์วาล์ว แล้วรับค่าจากเซนเซอร์ซึ่งตัวเซนเซอร์นี้จะวัดปริมาณการไหลของน้ำให้สัญญาณออกมาเป็นพัลส์นำไปเปรียบเทียบกับค่าจำนวนลิตรที่ป้อนไว้เมื่อตรงกันไมโครคอนโทรลเลอร์ก็สั่งปิดโซลินอยด์วาล์ว

ในส่วนของการชุดอ่านและเขียนค่าของสมาร์ทการ์ด จะเขียนและอ่านค่าได้ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อีกชุดหนึ่ง แล้วส่งค่าออกผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS232 เพื่อใช้ในการบรรจุค่าเงินและหักเงินในการซื้อน้ำแต่ละครั้ง

<b>Thesis Title</b>	Vending – Water Control Machine By Smart Card	
<b>Authors</b>	Mr. Phakdee	Phungklan
	Mr. Wichot	Saekhow
	Mr. Suwit	Pratum
<b>Thesis Advisor</b>	Mr. Witarut	Sriratana
<b>Year</b>	2002	

### ABSTRACT

This project is initiated and developed in order to the application of “ Microcontroller ” with “ Automatic Control Concept ”

Nowadays, the Automatic Vending Machine having role with us, including the Automatic Vending – Water Machine. Normally, we saw it in “insert-coin” configurations, that it is not convenience to consumer for preparing coins.

This project has purposed to make a model of “Automatic Vending - Water Machine by smart card”. The process of this starts when the buyer insert the smart card into the in machine, then, the microcontroller will immediately check the account balance. The buyers have to key the data in Price – Per – Unit (litre). After that the microcontroller will order to open solenoid valve, at the same time a sensor that have been mounted to measure the rate – of – water will send pulses to the microcontroller. The microcontroller will get the two data, from the buyer’s key and the sensor, to compare. If the two data equal, the microcontroller will order to close solenoid valve.

However, the Read – write account balance part, We use the other microcontroller to contain and to compute the account balance anytime when buying – saling happen.

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาจาก อาจารย์วิศรุต ศิริรัตน์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้ทำวิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญาานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ได้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ต่อการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

และที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนโอมซึ่งเป็นที่ปรึกษาเรื่องไมโครคอนโทรลเลอร์ตลอดมา

ขอขอบคุณพนักงานบริษัทศิรเดชา เอนเตอร์ไพรส์ จำกัด ทุกท่านที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการพิมพ์ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

หากมีข้อบกพร่องและความผิดพลาดของปริญญาานิพนธ์นี้ คณะผู้จัดทำขอน้อมรับผิดและขออภัย ณ. ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	3
2.1 โครงสร้างและสถาปัตยกรรม.....	3
2.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51.....	4
2.3 โครงสร้างการทำงานของพอร์ต.....	7
2.4 จังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	10
บทที่ 3 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบเชิงบวก(POSITIVE DISPLACEMENT FLOWMETER) และโฟโต้เซนเซอร์(PHOTO SENSOR).....	14
3.1 สัญลักษณ์ในการทำงานของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบเชิงบวก.....	14
3.2 ชนิดและหลักการทำงานของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบเชิงบวก.....	14
3.3 โฟโต้เซนเซอร์ ( Photo Sensor หรือ Photo Interrupter) .....	23
บทที่ 4 สมาร์ทการ์ด(SMARTCARD) และโซลินอยด์(Solenoid Valve).....	26
4.1 บัตรสมาร์ทการ์ด(Smart Card).....	26
4.2 โซลินอยด์ (Solenoids).....	28

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 5 การออกแบบและการสร้าง.....</b>	<b>36</b>
5.1 ชูคอ่านและเขียนสมาร์ตการ์ด.....	37
5.2 ส่วนควบคุมการแสดงผลผ่าน LCD 16 x 2.....	38
5.3 ส่วนการป้อนค่าผ่านคีย์ 4x4.....	39
5.4 ชูคเซนเซอร์วัดปริมาณการไหล.....	40
5.5 ชูคขับโซลินอยด์วาล์ว.....	42
<b>บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง.....</b>	<b>44</b>
6.1 การหาค่าจำนวนพัลส์ในปริมาตรน้ำค่าต่าง ๆ.....	44
6.2 การทดลองคีย์ค่าจำนวนพัลส์ที่ได้จากการทดลองที่ 6.1.....	46
6.3 การทดลองคีย์จำนวนลิตร.....	46
6.4 การทดลองการหักค่าเงินจากบัตร.....	47
<b>บทที่ 7</b>	
<b>สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>48</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>49</b>

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 หน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช.....	8
6.1 แสดงจำนวนพัลส์ที่ปริมาตรน้ำไหลผ่าน.....	45
6.2 บันทึกผลการทดลองการคีย์ค่าจำนวนพัลส์.....	46
6.3 แสดงผลการทดลองการคีย์ค่าจำนวนลิตร.....	46
6.4 แสดงผลการทดลองการหักเงินจากบัตร.....	47



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89CXX.....4	
2.2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89SXX.....4	
2.2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89SXX.....5	
2.4 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ในอนุกรม AT89C5X.....6	
2.5 วงจรภายในของพอร์ตทุกพอร์ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช.....9	
2.6 วงจรพูลอัพภายในพอร์ตไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช.....10	
2.7 ไซเคิลการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช.....11	
2.8 ไคอะแกรมเวลาแสดงการติดต่อและเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช.....12	
3.1 โครงสร้างของนิวเตตติ้งคิสต์.....15	
3.2 การทำงานของนิวเตตติ้งคิสต์.....16	
3.3 เครื่องวัดแบบลูกสูบหมุนและวาล์วค้ำน้ำที่ปิดโดยอัตโนมัติเมื่อไม่ใช้งาน.....17	
3.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องวัดแบบลูกสูบหมุน.....17	
3.5 จังหวะการทำงานแบบลูกสูบหมุน.....18	
3.6.....19	
3.7.....19	
3.8.....19	
3.9 จังหวะการทำงานแบบโอวอล.....20	
3.10 แสดงโครงสร้างแบบใบพัดหมุน.....21	
3.11 แสดงจังหวะการเคลื่อนที่ภายใน Chamber.....22	
3.12 แสดงจังหวะการเคลื่อนที่ Lobeb Impeller Meter.....22	
3.13 แสดงโฟโต้เซนเซอร์แบบส่องแสงโดยตรง.....23	
3.14 แสดงโครงสร้างโฟโต้เซนเซอร์แบบสะท้อน.....25	
4.1 แสดงลักษณะของสมาร์ตการ์ด.....26	
4.2 การจัดสรรหน่วยความจำในสมาร์ตการ์ดเบอร์ SLE4442.....28	
4.3 โครงสร้างพื้นฐานของโซลินอยด์.....29	
4.4 แสดงถึงทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด.....30	
4.5 แสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดที่มีกระแสไหล.....30	

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 แสดงการเพิ่มเหล็กอ่อนเข้ามาเพื่อเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก.....	30
4.7 แสดงการเคลื่อนที่ของแกนกระทู้.....	31
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะช่วงชักของโซลินอยด์ไฟตรง 12 V.....	31
4.9 แสดงตัวอย่างการนำโซลินอยด์ที่แรงดึงไม่มากนักไปใช้งาน.....	33
4.10 แสดงตัวอย่างการนำโซลินอยด์ที่มีแรงดึงมากไปใช้งาน.....	34
4.11 แสดงการเพิ่มเติมสปริงเชื่อมต่อเพื่อให้แน่ใจว่าโซลินอยด์จะคู่ได้เต็มที่กว่า.....	35
4.12 แสดงการใช้ข้อต่อมาช่วยให้แกนกระทู้เคลื่อนที่อยู่ในแนวแกน.....	35
5.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องควบคุมการขายน้ำคิดเงินผ่านบัตรการ์ด.....	36
5.2 วงจรชุดอ่านและเขียนค่าลงบัตรการ์ด.....	37
5.3 การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการแสดงผล LCD.....	38
5.4 วงจรของสวิทช์แบบเมตริกซ์หรือคีย์แพด.....	39
5.5 แสดงการเชื่อมต่อคีย์แพดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	39
5.6 แสดงภายในมิเตอร์วัดอัตราการไหล.....	40
5.7 แสดงแผ่นเพลทสี่ขา สีดำ และวงจรตรวจจับแสง.....	41
5.8 แสดงแผ่นเพลทสี่ขา สีดำ และวงจรตรวจจับแสง.....	41
5.9 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งชุดขับโซลินอยด์แล้ว.....	42
5.10 แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องควบคุมการขายน้ำคิดเงินผ่านบัตรการ์ด.....	43
6.1 .....	44

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ในปัจจุบันตามหอพักนักศึกษาหรืออพาร์ทเมนต์ น้ำดื่มจำเป็นต่อการดำรงชีวิตเป็นอย่างมาก และที่พบเห็นส่วนมากจะมีเครื่องขายน้ำดื่มอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญมาติดตั้งตามหอพักหรืออพาร์ทเมนต์การซื้อแต่ละครั้งผู้ซื้อก็ต้องเตรียมเหรียญมาให้พอดีกับการซื้อ อีกทั้งยังเมื่อถึงเวลาที่บรรจุเหรียญเต็มก็จะทำให้ผู้ซื้อไม่สามารถที่จะซื้อน้ำได้ไประยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้เจ้าของเครื่องมานำเหรียญที่เต็มออก ทั้งนี้หากเปลี่ยนมาเป็นลักษณะการซื้อบัตรเพื่อใช้ในการเติมเงินแล้วนำบัตรนั้นไปใช้ในการซื้อน้ำดื่มตามเครื่องขายน้ำอัตโนมัติก็จะเป็นการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้

เป็นเหตุให้เกิดโครงการนี้ขึ้น เพื่อสะดวกในการซื้อน้ำโดยไม่ต้องพกพาเหรียญในการซื้อน้ำตามเครื่องขายน้ำอัตโนมัติ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปฏิญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของสมาร์ตการ์ด
3. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของชุดเซนเซอร์วัดปริมาณการไหล
4. เพื่อสร้างเครื่องจำหน่ายน้ำหักเงินผ่านบัตร

### 1.3 ขอบเขตของปฏิญานิพนธ์

1. สามารถควบคุมการจ่ายน้ำตามปริมาตรที่คีย์ใส่
2. เขียนและหักเงินจากบัตรได้ตามราคาของน้ำที่กำหนดเมื่อคิดเป็นสตางค์
3. แสดงยอดเงินคงเหลือ
4. ปรับเปลี่ยนราคาต่อลิตรของน้ำได้
5. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงการวิจัยในปริญญาโทฉบับนี้มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมด, หลักการทำงานของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลเชิงบวก(Positive Displacement) เพื่อใช้ในการวัดปริมาณของน้ำที่จะจ่ายออกไป, หลักการทำงานของสมาร์ทการ์ด(Smart Card) พร้อมทั้งชุดอ่านและเขียนค่าลงในบัตร, และอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ตัวแสดงผล LCD, สวิตช์แบบเมตริกซ์(Key Pad), โฟโตเซ็นเซอร์(Photo-Sensor), และโซลินอยด์(Solenoid Valve) เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

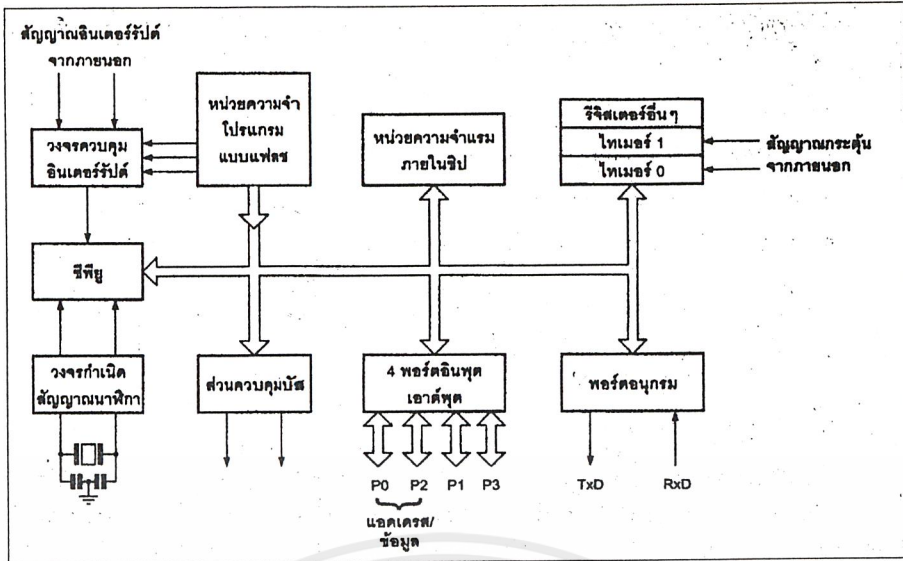
### 2.1 โครงสร้างและสถาปัตยกรรม

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS – 51 ซึ่งมีหน่วยความจำเป็นแบบแฟลช(Flash memory) อนุกรม AT89XX มีคุณสมบัติดังนี้

1. เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียู ขนาด 8 บิต
2. ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
3. หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม ในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบ อีอีพรอมเพิ่มเติม
4. ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
5. มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
6. ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
7. สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
8. มีวงจรกำเนิดนาฬิกาอยู่ในภายใน
9. มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ SPI สำหรับในอนุกรม AT89Sxx
10. มีวอตช์ดอกไทเมอร์ในตัว สำหรับอนุกรม AT89Sxx

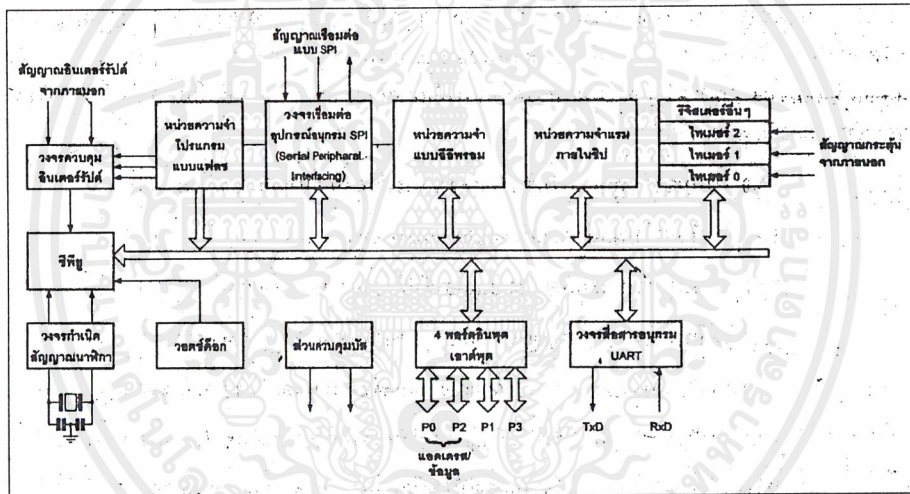
ในรูปที่ 2.1 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ในอนุกรม AT89CXX จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS – 51 พื้นฐาน หากแต่แตกต่างกันเฉพาะหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชที่เพิ่มเติมเข้ามา หากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรม 87XX หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะเป็นอีพรอม และบางเบอร์สามารถโปรแกรมได้ครั้งเดียว

สำหรับในรูปที่ 2.2 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของอนุกรม AT89SXX จะเห็นได้ว่ามีส่วนประกอบที่เพิ่มเติมแตกต่างจาก AT89CXX อยู่หลายส่วน อาทิ วงจรเชื่อมต่ออนุกรมแบบ SPI ซึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมนี้ใช้ในการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำโปรแกรมโดยไม่ต้องถอดตัวชิปออกจากระบบหรือเรียกว่าการโปรแกรมในวงจร ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต ที่เพิ่มเข้ามาอีกหนึ่งตัวเป็น ไทเมอร์ 2 และวงจร วอตช์ดอกที่ใช้ในการตรวจสอบการทำงานผิดพลาดของซีพียู



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 แบบแฟลชในอนุกรม

AT89CXX



รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 แบบแฟลชในอนุกรม

AT89SXX

## 2.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และ รูปที่ 2.4 โดยมีรายละเอียดดังนี้

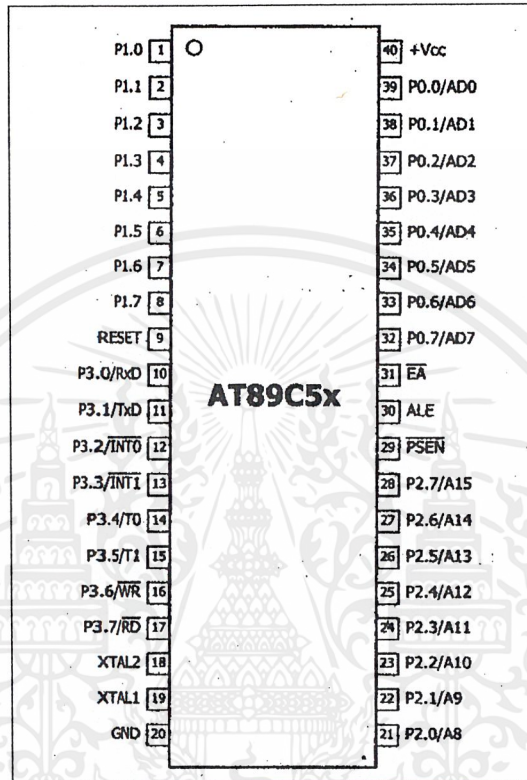
ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5 V

ขา GND เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ระบบ

ขาพอร์ต 0 (P0.0 – 0.7) มี 8 ขาแต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็น ได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการ



ขาพอร์ต 3 ( P3.0 – P3.7 ) มี 8 ขา ขาแต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 3 ขาใดเป็นอินพุตสามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่ใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.4 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ในอนุกรม AT89C5X

- P3.0 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD
- P3.1 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD
- P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา INTO
- P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา INT1
- P3.4 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณ ไทมเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือ T0
- P3.5 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณ ไทมเมอร์จากภายนอกช่อง 1 หรือ T1
- P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ  $\overline{WR}$  ในกรณีที่เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก
- P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ  $\overline{RD}$  ในกรณีที่เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

**ขารีสต (Reset)** ใช้ในการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซ็ตสถานะที่ขานี้จะต้องอยู่ในระดับรีเซ็ตอย่างน้อย 2 เมกซีไนซ์เกิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างปกติ

**ขา ALE/PROG (Address Latch Enable/Program pulse input)** เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของพอร์ต 0 เมื่อมีการแก้ไขงานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำเป็นแบบอีพรอม

**ขา PSEN(Program Store Enable)** ขานี้ใช้สำหรับการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้งในแต่ละเมกซีไนซ์เกิล แต่ถ้าหากติดต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใด ๆ ออกมา

**ขา EA/Vpp(External Access enable/Programming voltage input)** ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น “0” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขานี้เป็น “1” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ที่ขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม + 12V

**ขา XTAL1และXTAL2** เป็นขาสำหรับต่อคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

## 2.3 โครงสร้างการทำงานของพอร์ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีพอร์ตให้ใช้งานทั้งสิ้น 4 พอร์ต คือ 0 พอร์ต ถึงพอร์ต 3 แต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิตเป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทาง กล่าวคือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตสำหรับรับสัญญาณข้อมูลเข้าและเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณข้อมูลออก ทุกพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51แบบแฟลชมีวงแลตช์และวงจรจับตลอคจนบัฟเฟอร์อินพุต ดังแสดงให้เห็นในสถาปัตยกรรมรูปที่ 2.3

ที่พอร์ต 0 และพอร์ต 1 จะใช้เป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตสำหรับงานทั่วไป และใช้ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก สำหรับพอร์ต 3 ทั้งพอร์ตและพอร์ต 1 บางขานอกจากจะใช้เป็นอินพุตและเอาต์พุตตามปกติแล้ว ยังสามารถใช้งานในหน้าที่พิเศษได้อีก ขึ้นอยู่กับว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ใด ดังสรุปในตารางที่ 2.1

ในรูปที่ 2.5 แสดงวงจรภายในของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช โดยในรูปที่ 2.5(ก) เป็นวงจรของพอร์ต 0 วงจรแลตช์ของแต่ละบิตในแต่ละพอร์ตก็คือวงจรดีฟลิปฟลอปนั่นเอง การอ่านค่าสถานะของพอร์ตและสถานะของวงจรแลตช์สามารถกระทำได้อย่างอิสระด้วยสัญญาณที่แยกจากกัน นั่นคือสัญญาณอ่านข้อมูลจากขาพอร์ต และสัญญาณอ่านข้อมูลจากวงจรแลตช์ส่วนการเขียนข้อมูลมายังพอร์ตต้องส่งสัญญาณมายังขา CLK ของดีฟลิปฟลอป ในขณะที่ข้อมูลจะผ่านมายังขาบั๊สข้อมูลภายในเข้าสู่ขา D ของดีฟลิปฟลอป

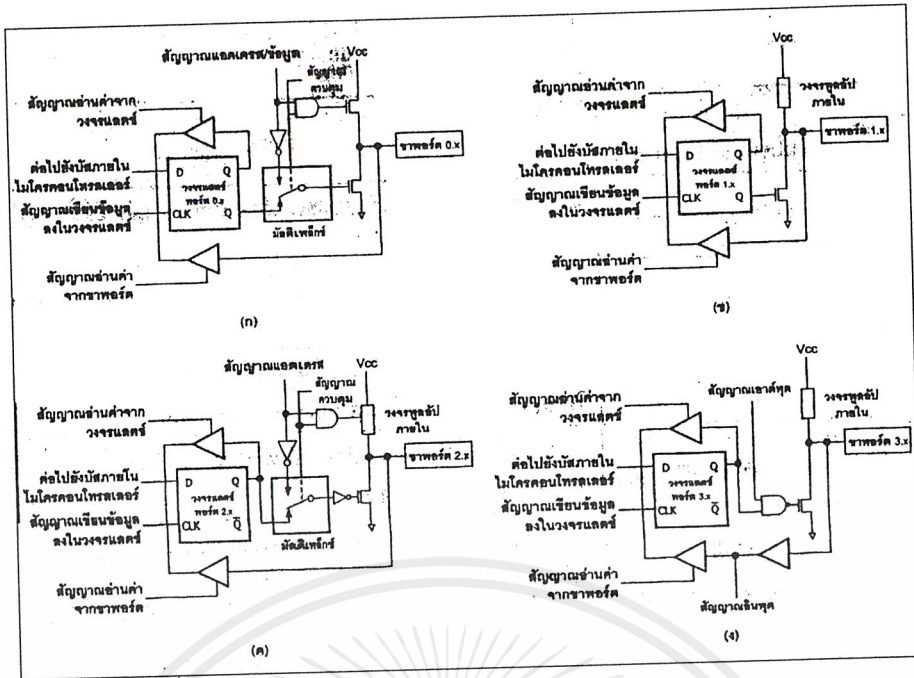
ที่พอร์ตนี้มีวงจรมัลติเพล็กซ์สำหรับการกำหนดลักษณะการทำงานของพอร์ตว่าต้องการใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติหรือใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์ ตารางที่ 2.1 หน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ขา	เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	หน้าที่พิเศษ
P1.0	AT89C52/AT89SXX	ขา T2 เป็นขาอินพุตนับค่าไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 2
P1.1	AT89C52/AT89SXX	
P1.4	AT89SXX	ขา SS(Slave Select)เป็นขาเลือกการติดต่อในกรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์สเลฟในระบบการติดต่อแบบ SPI
P1.5	AT89SXX	ขา MOSI(Master data output, Slave data input) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.6	AT89SXX	ขา MIO(Slave data input, Master data output) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.7	AT89SXX	ขา SCK(Master clock output) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการติดต่อกับการติดต่อกับพอร์ต SSPI

เนื่องจากที่พอร์ต 0 ไม่มีวงจรพูลอัพภายใน หากมีการนำพอร์ต 0 ไปใช้งานเป็นอินพุตจะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพภายนอกเข้าที่พอร์ต 0 ทุกขาด้วย

ในรูปที่ 2.5(ข) เป็นวงจรของพอร์ต 1 ซึ่งมีลักษณะทั่วไปคล้ายกับพอร์ต 0 หากแต่ไม่มีวงจรมัลติเพล็กซ์ เนื่องจากพอร์ตนี้จะไม่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกแต่จะมีวงจรพูลอัพภายในที่แต่ละบิตของพอร์ตนี้แทน สำหรับรายละเอียดของวงจรพูลอัพแสดงในรูปที่ 2.6

ในรูปที่ 2.5(ค) เป็นวงจรภายในของพอร์ต 2 จะคล้ายกับพอร์ต 0 มากต่างกันเพียงว่ามีวงจรพูลอัพเพิ่มเติมเข้ามา ส่วนในรูปที่ 2.5(ง) เป็นวงจรภายในของพอร์ต 3 จะเห็นได้ว่าคล้ายกับพอร์ต 1 มีการเพิ่มวงจรบั๊ฟเฟอร์และวงจรอินพุตเมื่อทำงานในฟังก์ชันพิเศษเข้ามา เนื่องจากพอร์ต 3 สามารถนำไปใช้งานในหน้าที่พิเศษได้ทุกขา



รูปที่ 2.5 วงจรภายในของพอร์ตทุกพอร์ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

**การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต**

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุตเพื่อหยุดการทำงานของแฟลชที่ใช้ในการขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้น ๆ ทำให้สัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อเข้ากับวงจรพูลอัพภายในโดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น "1" สามารถรับสัญญาณลอจิก "0" จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาแล้วเก็บไว้ในวงจรบัฟเฟอร์ภายในพอร์ต แล้วรอให้ซีพียูมาอ่านค่าเข้าไป เมื่อเป็นเช่นนี้ อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชควรกำหนดให้ทำงานในสภาวะลอจิก "0" จะดีและสะดวกที่สุด(ซึ่งปัจจุบันอุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์แทบทั้งหมดเป็นลอจิก "0" แล้ว)

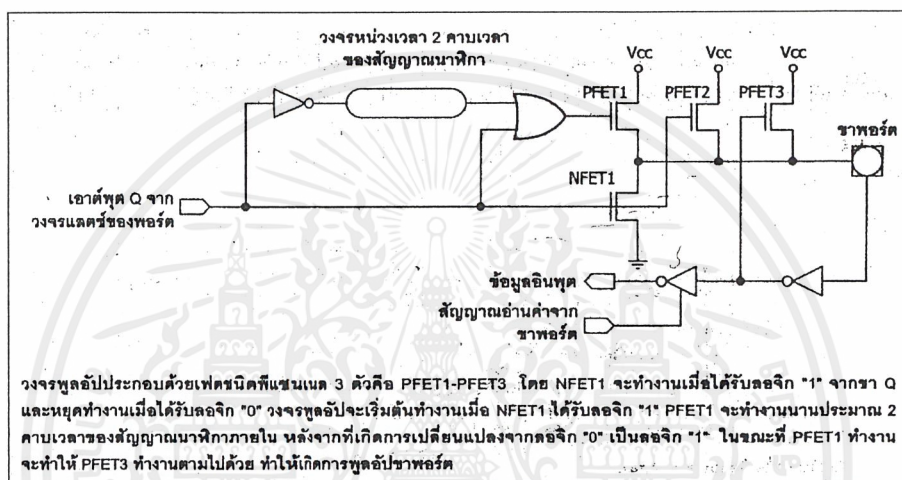
**การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต**

โดยปกติแล้วขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้วดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลออกไปได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมา กล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูล "0" ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล "0" ไปยังวงจรแลตช์ ซึ่งก็จะส่งต่อไปขับเฟด ทำให้เฟดทำงาน ที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดสภาวะลอจิก "0" ขึ้น ในทางตรงข้ามหากต้องการส่งข้อมูล "1" ออกไปให้เขียนข้อมูล "1" ไปยังวงจรแลตช์ วงจรขับก็จะหยุดทำงาน ทำให้ที่ขาต่อเชื่อมต่อกับวงจรพูลอัพภายในเป็นลอจิก "1" ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งจะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมาก เพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์ แต่ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเอาต์พุตจะไม่มีกรอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุต

เมื่อใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต แต่ละขา(หรือแต่ละบิต) ของแต่ละพอร์ตมีความสามารถในการจ่ายกระแส หรือ ที่เรียกว่า กระแสซอร์ส(Source Current) ได้สูงสุด 10 mA และทุกขารวมกันในแต่ละพอร์ต(ทั้ง 8 บิต) สูงสุด 26 mA สำหรับพอร์ต 0 และ 15 mA สำหรับพอร์ต 1-3 ในกรณีที่ใช้งานทุกพอร์ตจะสามารถจ่ายกระแสได้รวมกันสูงสุด 71 mA ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการจ่ายกระแสจึงควรต่อวงจรบัฟเฟอร์ทางเอาต์พุตช่วยในการขับกระแสอีกทางหนึ่ง



รูปที่ 2.6 วงจรชุดขับภายในพอร์ตไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

### การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตได้ 2 ลักษณะ คือ อ่านจากขาพอร์ตโดยตรง และอ่านจากวงจรถ่ายของแต่ละพอร์ต

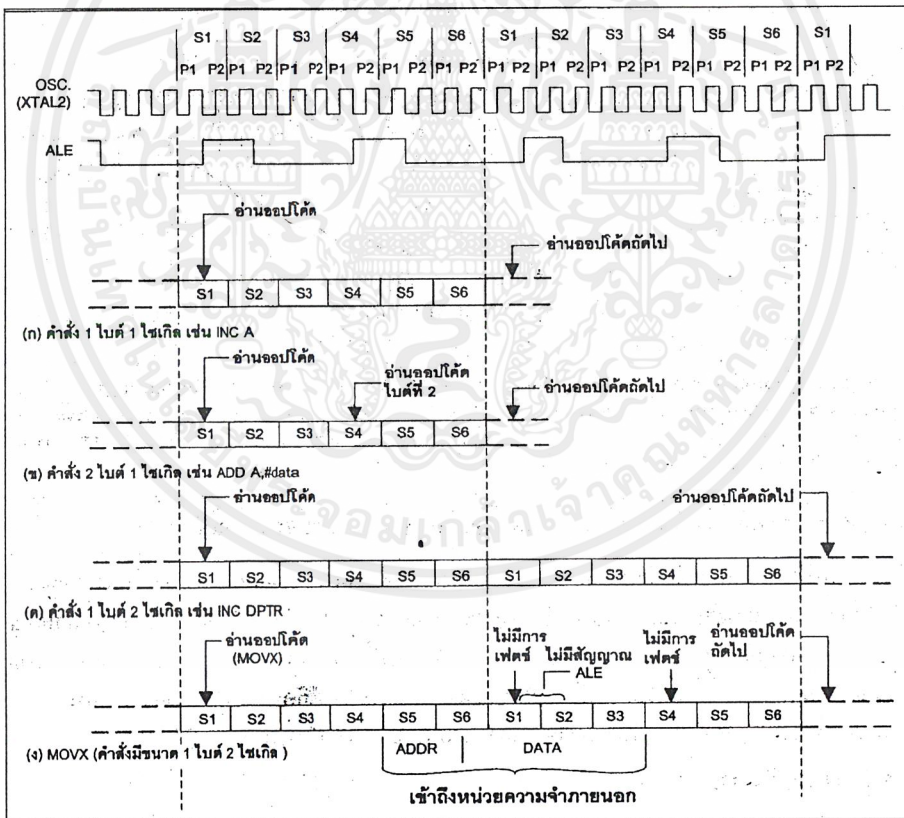
ในกรณีที่พอร์ตต่อกับขาเบสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวนั้นต่อลงกราวด์ หากมีข้อมูล "1" ไปยังทรานซิสเตอร์จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานสถานะลอจิกที่ขาพอร์ตจะเป็น "0" เนื่องจากทรานซิสเตอร์ทำงาน จะเสมือนว่าพอร์ตนั้นถูกต่อลงกราวด์ ทำให้การอ่านค่าลอจิกที่ขาพอร์ตจะได้ผลตรงข้ามกับที่ส่งออกมา แต่ถ้าหากทำงานอ่านค่าลอจิกที่วงจรถ่าย จะได้อ่านค่าที่ตรงกับค่าที่ต้องการส่งจริง ดังนั้นในการอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตจึงต้องเลือกวิธีที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่นำมาต่อด้วย

## 2.4 จังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะต้องทำความเข้าใจถึงจังหวะการทำงานของซีพียูและลำดับขั้นตอนการประมวลผลคำสั่ง ในการประมวลผลคำสั่งของซีพียูจะมีขั้นตอน

หลัก ๆ อยู่ 2 ขั้นตอนคือ กระบวนการเฟตช์(Fetch) เป็นการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วทำการแปลงรหัสคำสั่งนั้นเป็นภาษาเครื่องเพื่อเตรียมประมวลผล ขั้นตอนต่อมาคือ กระบวนการเอ็กซีคิวต์(Execute) เป็นการกระทำตามคำสั่งที่กำหนดหรือตามที่เฟตช์ขึ้นมาโดยกระบวนการก่อนหน้า เมื่อทำการเอ็กซีคิวต์คำสั่งเรียบร้อยแล้วก็จะไปทำการเริ่มเฟตช์คำสั่งใหม่ต่อไป

เมื่อเริ่มจ่ายไฟให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์จะเกิดการรีเซ็ตในลักษณะที่เรียกว่า เพาเวอร์-ออนรีเซ็ต(Power On reset) ซึ่งพียูเริ่มต้นการทำงานที่แอดเดรส 0000H ของหน่วยความจำโปรแกรม จังหวะการทำงานของพียูจะเป็นไปตามรูปแบบ โดยได้รับการกำหนดจากรอบการทำงานหรือแมชีนไซเคิล(Machine cycle) ในรูปที่ 2.7 เป็นไคอะแกรมเวลาแสดงจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยใน 1 รอบการทำงานจะแบ่งย่อยออกเป็น 6 สเตต(State) กำหนดชื่อเป็น S1-S6 ในแต่ละ สเตตมีค่าเวลาเท่ากับ 2 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา ถ้าสัญญาณนาฬิกามีค่าเท่ากับ 12 MHz จะมีคาบเวลาเท่ากับ 1 ms คาบเวลาทั้งสองภายในหนึ่งสเตตจะเรียกว่า เฟส 1 (Phase 1) และ เฟส 2 (Phase 2)



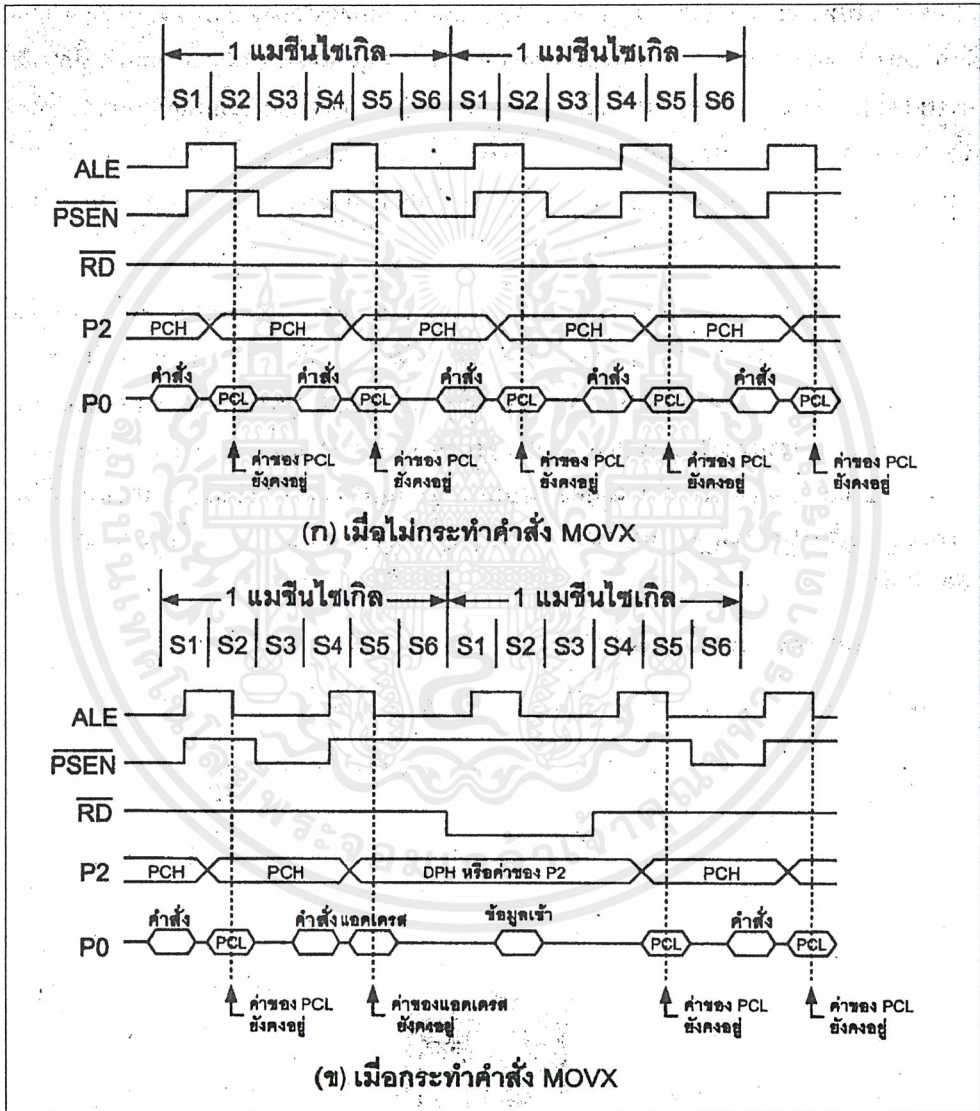
รูปที่ 2.7 ไชเกิดการดำเนินงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลช

ในรูปที่ 2.7 (ก) และ (ข) จะเป็นการเอ็กซีคิวต์คำสั่งที่ใช้เวลา 1 ไชเกิด เริ่มต้นที่สเตต 1 จะเป็นการอ่านค่าออปโค้ด อันเป็นกระบวนการแลตซ์ค่าของออปโค้ดส่งไปให้รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register: IR) การเฟตช์ครั้งที่สองจะเกิดขึ้นที่สเตต 4 ภายในแมชีนไซเคิลเดียวกัน ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่เป็นคำสั่งไบต์เดียว การเฟลชครั้งที่ 2 ภายในแมชีนไซเกิลเดียวกันจะถูกตัดทิ้งไป ในคำสั่งที่มีใช้เวลา 1 ไซเกิล จะสิ้นสุดการทำงานในสแตต 6 ของแมชีนไซเกิลเดียวกัน

ในกรณีคำสั่งใช้เวลา 2 ไซเกิล การทำงานของคำสั่งนั้นจะสิ้นสุดลงในสแตต 6 ของแมชีนไซเกิลที่ 2 ดังในไดอะแกรมรูปที่ 2.7(ก) สำหรับหารกระทำคำสั่ง MOVX ซึ่งเป็นคำสั่งขนาด 1 ไบต์ 2 ไซเกิล จะไม่มีการเฟลชเกิดขึ้นในไซเกิลที่ 2 ของคำสั่ง MOVX นี้ เนื่องจากซีพียูจะไปทำการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก ดังแสดงในไดอะแกรมรูปที่ 2.7(ง) จะเห็นได้ว่าเวลาในการเอ็กซีคิวต์จะไม่ได้ขึ้นอยู่กับว่าทำการติดต่อหน่วยความจำภายในหรือภายนอก



รูปที่ 2.8 ไดอะแกรมเวลาแสดงการติดต่อและเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในรูปที่ 2.8 แสดงสัญญาณ และไดอะแกรมเวลาของการเข้าถึง หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกโดยในรูปที่ 2.8(ก) เป็นไดอะแกรมเวลาในขณะที่ยังไม่มีการกระทำคำสั่ง MOVX สัญญาณที่ขา ALE และ PSEN จะเกิดการแอกติฟ 2 ครั้ง ภายใน 1 แมชีนไซเกิล ในทุกครั้งที่ ALE เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอกติฟที่ พอร์ต 0(P0) จะมีค่าของรีจิสเตอร์ PC ในไบต์ต่ำออกมา ในขณะที่พอร์ต 2(P2) ก็จะมีค่าของ PC ในไบต์สูงเพื่อชี้ไปยังแอดเดรสต่อไปที่ต้องไปดำเนินการ สำหรับขา PSEN ก็จะเกิดการแอกติฟเมื่อมีการติดต่อกับโปรแกรมหน่วยความจำภายนอก ในกรณีที่กระทำคำสั่ง MOVX เพื่อเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่ขา PSEN จะไม่เกิดการแอกติฟ 2 ครั้งใน 1 เมซินไซเคิล เนื่องจากบัสแอดเดรส (Address bus) และ บัสข้อมูล (Data bus) จะถูกใช้ในการติดต่อหน่วยความจำภายนอกแทน แต่สำหรับสัญญาณ ALE ยังคงแอกติฟตามจังหวะการทำงานเหมือนเดิม

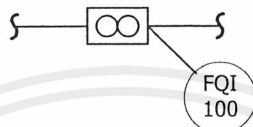
จากไดอะแกรมเวลาสามารถสรุปได้ว่า ในการทำงาน 1 รอบหรือ 1 เมซินไซเคิล ซีพียูไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้เวลา 12 คาบเวลาของสัญญาณเวลานั้นคือ เวลาในการทำงาน 1 ไซเคิล มีค่าเท่ากับ 1 ms หรือมีความเร็วในการทำงานภายใน 1 MHz ในกรณีที่ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 12 MHz ดังนั้นถ้าต้องการทราบความเร็วของการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถหาได้จาก ค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาหารด้วย 12 และถ้าต้องการหาค่าเวลาของ 1 รอบการทำงานหรือ 1 เมซินไซเคิล สามารถทำได้โดยการหาส่วนกลับของความเร็ว ในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถสรุปเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ เท่ากับ  
 ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา(ค่าของคริสตอลที่ต่ออยู่ระหว่างขา XTAL1และ XTAL2)/12  
 เวลา 1 เมซินไซเคิล = 1/ความเร็วในการทำงานภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

### บทที่ 3

## เครื่องวัดอัตราการไหลแบบเชิงบวก (POSITIVE DISPLACEMENT FLOWMETER) และโฟโต้เซนเซอร์(PHOTO SENSOR)

### 3.1 สัญลักษณ์ในการใช้งานของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบเชิงบวก



- รูปแบบการออกแบบ
- A. impeller, propeller, turbine
  - B. nutating disc
  - C. oval gear
  - D. piston
  - E. Rotating Vane
  - F. Specialised, Low flow, etc.
  - G. Viscous helix

อุปกรณ์ต่อร่วมใช้งาน Strainer  
ความแม่นยำ ± 0.1 ถึง 2% ของ Flow

### 3.2 ชนิดและหลักการทำงานของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบเชิงบวก

#### 3.2.1 หลักการของแบบ Positive Displacement

เครื่องวัดแบบ Positive Displacement เป็นเครื่องมือวัดปริมาตรของการไหล โดยแต่ละรอบของการหมุนของเครื่องมือวัดจะแบ่งปริมาตรของเหลวออกเป็นห้วงๆ แต่ละห้วงที่ไหลผ่านมีปริมาตรที่แน่นอน ดังนั้นอัตราการไหลขึ้นอยู่กับจำนวนห้วง(Pulse) ที่ไหลผ่านในหนึ่งหน่วยเวลา ลักษณะของเครื่องมือวัดแบบนี้คล้ายกับหลักการดิจิตอลในยุคแรกๆ อาศัยชุดเฟืองที่ติดกับแกน ทำให้อ่านค่า Flow รวม(Total หรือ Integrated) ได้ที่หน้าปัดโดยตรง แต่ในปัจจุบันสามารถต่อเข้ากับระบบดิจิตอลได้ โดยตรง ถ้าเราติดตั้งเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าเป็นห้วงๆ ให้ผลิตสัญญาณตามจำนวนรอบของการหมุน ดังสมการ

$$Q = K.n \quad (5.44)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	Q	คือ ปริมาตรทั้งหมดที่ไหลผ่านเครื่องมือวัด
	K	คือ ค่าคงที่
	n	คือ จำนวน Pulse ที่วัดได้

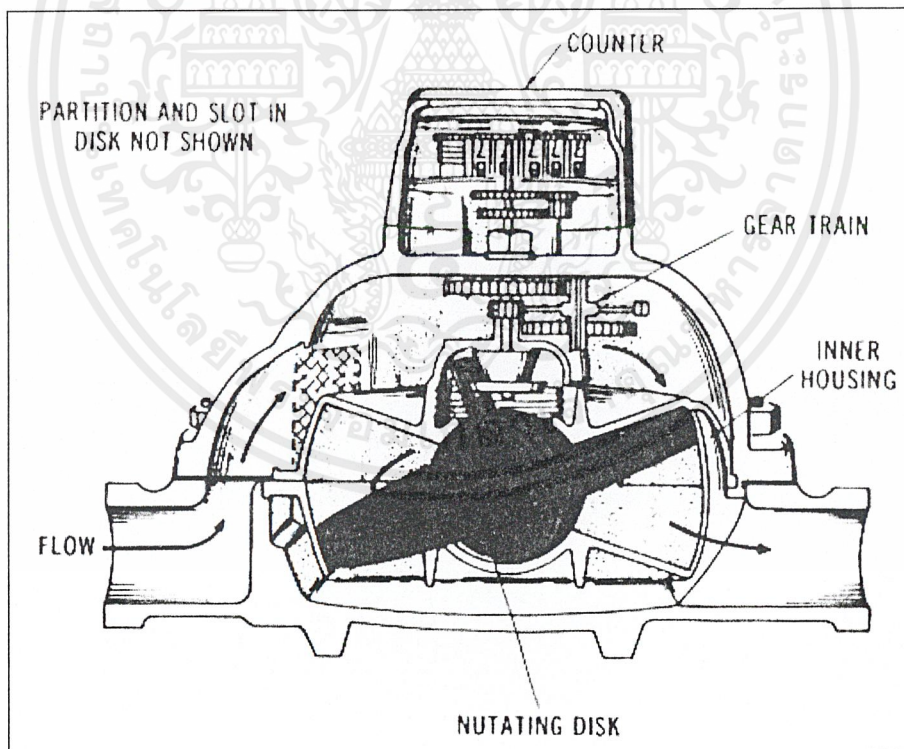
แต่ถ้าต้องการทราบค่าอัตราการไหล (Flow Rate) ก็สามารถทำได้ โดยผ่านภาคคำนวณหา

$$Q = C \cdot \frac{n}{T} \quad (5.45)$$

เมื่อ	Q	คือ อัตราการไหลมีหน่วยเป็นปริมาตรต่อหน่วยเวลา เช่น $\text{m}^3/\text{hr}$ .
	C	คือ ค่าคงที่
	n	คือ จำนวน Pulse ที่วัดได้ ใน 1 หน่วยเวลา T

รูปแบบของเครื่องมือวัดแบบ Positive Displacement มีหลายแบบ แบ่งตามลักษณะการหมุนของตัววัด ดังเช่น แบบนิวตติ้งดิสก์ แบบลูกสูบหมุน (Oscillation Piston) และแบบโอวอล (Oval)

### 3.2.2 แบบนิวตติ้งดิสก์ (Nutating Disk)

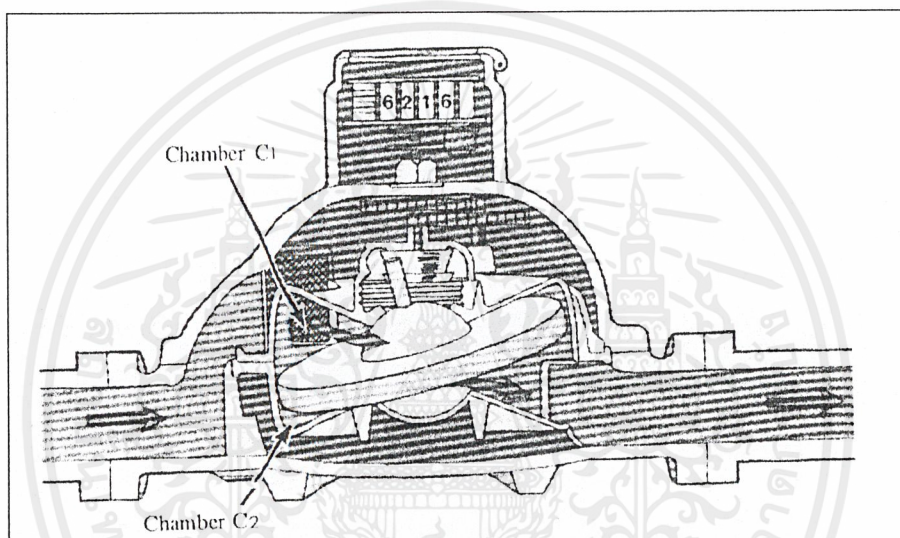


รูปที่ 3.1 โครงสร้างของนิวตติ้งดิสก์

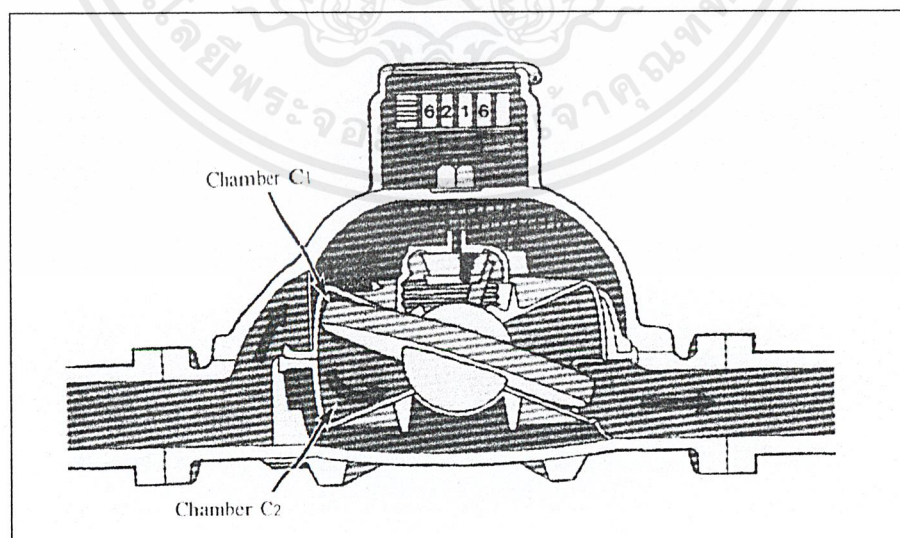
เป็นแบบที่นิยมใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำประปา ตัวดิสก์ถูกติดตั้งอยู่บนบอลเบริง ในตำแหน่งเอียงพอดีที่ขอบทั้งสองด้านสัมผัสกับกล่องที่บรรจุอยู่ ทำให้ปริมาตรถูกแบ่งเป็น 2 ห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Chamber) คือ ด้านล่างและด้านบนของตัวดิस्क การทำงานของนิวเคลิ่งดิस्क ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ด้านข้างกล่องบรรจุดิस्कถูกเจาะเป็น 2 ช่อง ช่องหนึ่งเป็นทางเข้าของของเหลว อีกช่องหนึ่งเป็นทางออก เมื่อมีของเหลวไหลเข้าสู่กล่องทำให้ดิस्कหมุนไป ขอบดิस्कด้านที่สัมผัสกับกล่องทำหน้าที่เป็นตัวกั้นของเหลวที่ไหลเข้าไปในกล่องแล้วมิให้รั่วออก ทิศทางการหมุนของดิस्कจะเป็นไปตามทิศทางการไหลของของเหลว เนื่องจากความดันคิฟเฟอร์เรชันที่เกิดขึ้นที่ด้านเข้าและด้านออกของตัววัดในหนึ่งรอบที่ดิस्कหมุนไป จะมีปริมาตรของเหลวไหลผ่านตัววัด แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงบนและช่วงล่างของดิस्क ดังนั้นปริมาตรที่ไหลผ่านตัววัดจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนรอบที่ดิस्कหมุนไปแทนที่ติดกับบอลล์เบริง สามารถนำไปขับเฟืองอ่านค่า Flow รวมได้โดยตรงหรืออาจต่อไปเข้ากับตัวสร้าง Pulse ผลิตสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณดิจิทัลได้



(ก)



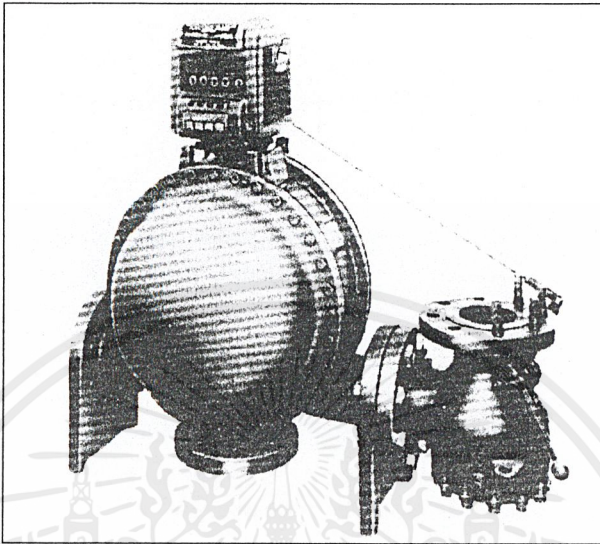
(ข)

รูปที่ 3.2 การทำงานของนิวเคลิ่งดิस्क

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 แบบลูกสูบหมุน(Oscillating Piston)

หลักการการทำงานของเครื่องวัดแบบนี้คล้ายๆ กับแบบนิวเตตติ้งดิสก์ แต่ใช้ลูกสูบที่ถูกวางเยื้องศูนย์กลางอยู่กับกรอบวงกลมหมุนส่ายไปรอบๆ โรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ด้านเข้าและด้านออกของของเหลว จะถูกกั้นด้วยไดอะแฟรมแผ่นตรง



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดแบบลูกสูบหมุนและวาล์วด้านเข้าที่ปิดโดยอัตโนมัติเมื่อไม่ใช้งาน

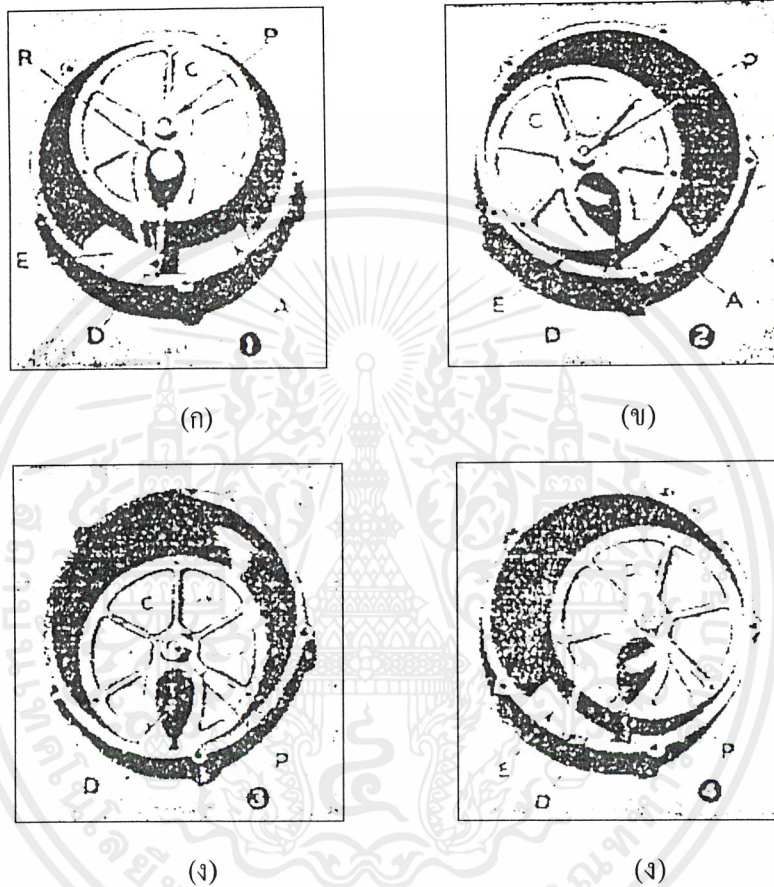


รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องวัดแบบลูกสูบหมุน

จังหวะการทำงาน ตามรูปที่ 3.5(ก) ของเหลวที่มีความดันจะไหลเข้าตัววัดทางช่อง A สู่อ่าง B ทางขวามือและผลักดันให้ลูกสูบ C หมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เมื่อตำแหน่งของลูกสูบ C หมุนไปอยู่ดังรูปที่ 3.5(ข) จะทำให้ช่อง A ถูกปิดมากขึ้น จนกระทั่งช่องเข้า A และช่องออก E ถูกปิดสนิทในดังรูปที่ 3.5(ค) ต่อจากนั้น ช่องออก E จะถูกเปิดออก ของเหลวที่ไหลเข้าห้อง B ตามรูปที่ 3.5(ง) จะถูกลูกสูบอัดให้ออกทางช่องออก E ในจังหวะเดียวกันนั่นเอง ช่องเข้า A ก็จะเริ่มเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

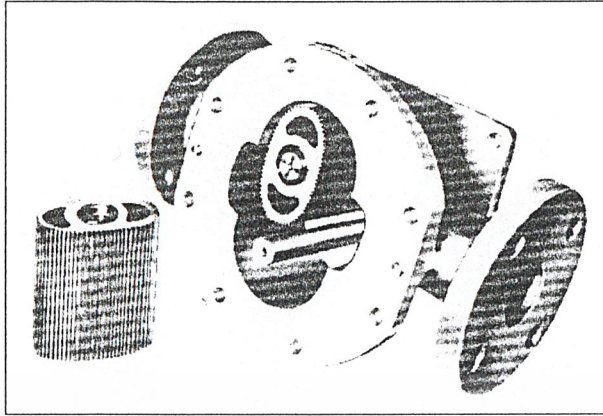
ออกรับของเหลวเข้าและ ผลักดันให้ของเหลวที่เข้าไปในจังหวะก่อนไหลออกสู่ช่องทางออก E จนหมด จังหวะการทำงานก็จะ วนเวียนไปตลอดในลักษณะนี้ การวัดปริมาตรของเหลวที่ไหลผ่านตัววัดนี้ จะใช้การวัดจำนวนรอบของลูกสูบที่หมุนไป เนื่องจากลูกสูบ C ถูกออกแบบให้หมุนไปติดกับกรอบนอกและสัมผัสกับไดอะแฟรมอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการรั่วไหลของของเหลวจะมีน้อยมาก ยกเว้นในช่วงอัตราการไหลต่ำๆ เท่านั้น ขณะไม่ใช้งานควรมีวาล์วปิดไว้ตลอดเวลาเพื่อป้องกันการรั่วตามรูปที่ 3.4



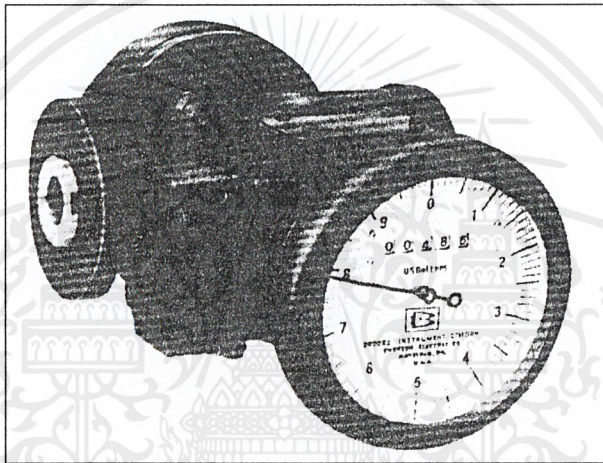
รูปที่ 3.5 จังหวะการทำงานแบบลูกสูบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 แบบโอวอล(Oval)

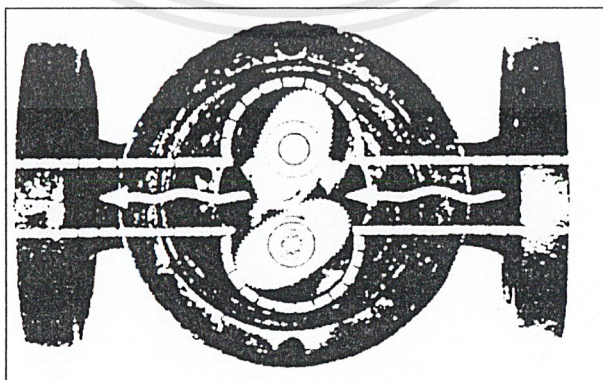


รูปที่ 3.6



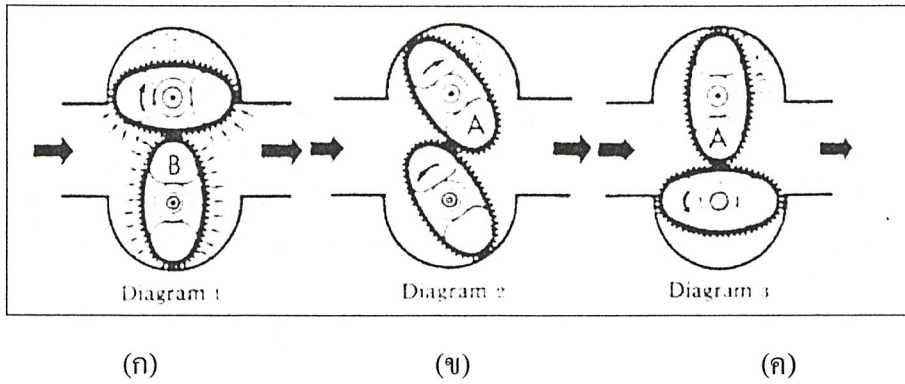
รูปที่ 3.7

ลักษณะเป็นเฟืองรูปวงรี(Oval) 2 อันขบกันอยู่ในตัววัด เฟืองนี้จะถูกผลักให้หมุนไปเนื่องจากความดันของของเหลวทางด้านเข้า(Inlet) เมื่อเฟืองทั้งคู่หมุนไปจะเกิดจังหวะรับและคายของเหลวสลับกันไป



รูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9

จากรูปที่ 3.9(ก) เป็นจังหวะที่เฟือง B ภายของเพลวออกและเฟือง A รับของเพลวเข้าเต็มทีพร้อมที่จะคายออกเมื่อเฟืองหมุนต่อไป รูปที่ 3.9(ข) เป็นจังหวะที่เฟือง A ภายของเพลวออกและเฟือง B เริ่มรับของเพลวเข้า จนถึงรูปที่ 3.9(ค) เฟือง B รับของเพลวเข้าเต็มทีพร้อมที่จะคายออกเป็นเช่นนี้ตลอดไป การหมุนของเฟืองแต่ละรอบจะส่งผ่านของเพลวไปได้ 4 ช่วงของปริมาตรที่ช่องว่างระหว่างเฟืองกับกรอบตัววัด การที่ออกแบบตัวหมุนเป็นเฟืองขบกันเพื่อป้องกันการเลื่อนของตัวโอวอล(Slip) และเพื่อให้เป็นตัวกั้นระหว่างของเพลวทางด้านเข้าและด้านออกได้ดียิ่งขึ้น การวัดอัตราการไหลด้วยวิธีนี้สามารถลดค่าผิดพลาดลงเหลือต่ำกว่า 0.5% เท่านั้น

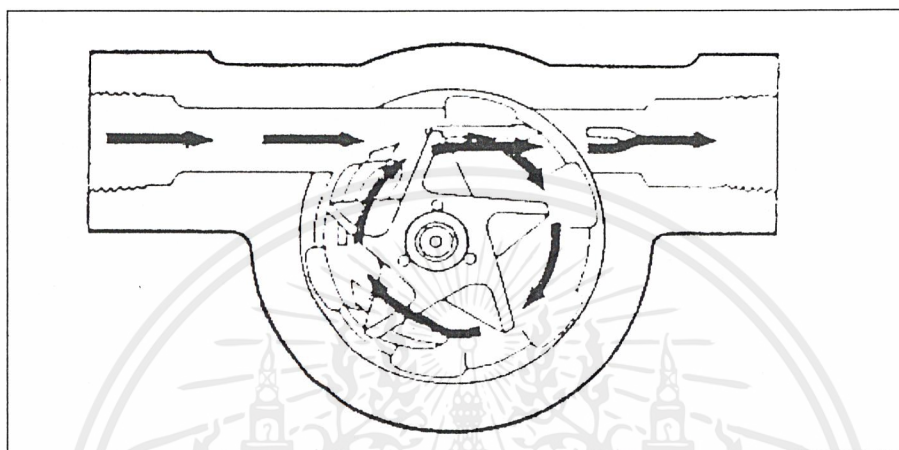
ค่าความหนืดของของเพลวจะมีผลต่อการวัดอยู่บ้างโดยเฉพาะในช่วงอัตราการไหลต่ำๆ ตัวอย่างเช่น ในโอวอลตัวหนึ่งมีค่าผิดพลาดสัมพันธ์กับค่าความหนืด ดังนี้ ก๊าซโซลีนที่มีค่าความหนืด 0.4 cp จะอ่านค่าได้น้อยกว่าความเป็นจริงมากกว่า 1% ในช่วงอัตราการไหลต่ำกว่า 13% ของค่าสูงสุด เปรียบเทียบกับน้ำที่มีค่าความหนืด 1 cp Light Oil ที่มีค่าความหนืด 3 cp และน้ำมันเตาที่มีค่าความหนืด 60 cp จะอ่านได้มากกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย ในช่วงอัตราการไหลสูงกว่า 5% ของค่าสูงสุด

ค่าความดันสูญเสีย(Pressure Loss) เนื่องจากตัววัดและแปรเปลี่ยนไปตามเปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลและค่าความหนืด ถ้าค่าความหนืดสูงจะมีค่าความดันสูญเสียสูงกว่าของเพลวที่มีค่าความหนืดต่ำ

การสร้างสัญญาณเอาต์พุตทางไฟฟ้า จะตรวจวัดที่เฟืองตัวใดตัวหนึ่ง โดยติดแม่เหล็กถาวรไว้ที่เฟืองโรเตอร์ที่หมุนไปตามอัตราการไหลเมื่อจุดที่ติดตั้งแม่เหล็กหมุนผ่าน เจนเนอเรเตอร์ตัวเล็กจะเกิดสัญญาณไฟฟ้าขึ้นเป็นห้วงๆ จำนวนห้วงที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลสามารถกำหนดได้ เช่น 100cc/Pulse เมื่อผ่านภาคพรีแอมพลิฟายเออร์จะได้คลื่นรูปสี่เหลี่ยม(Square Wave) ออกมาซึ่งสามารถต่อโดยตรงเข้ากับคอมพิวเตอร์ได้ วัสดุที่ใช้ทำเฟืองโรเตอร์มีหลายชนิด สามารถเลือกใช้ได้ตามของเพลวที่ต้องการวัด เช่น คาร์บอนพิเศษ(Special Carbon) แบบมาตรฐานทำด้วยสแตนเลสสตีล 316 ขนาดของอัตราการไหลต่ำสุดที่สามารถวัดได้ตั้งแต่ 4 ลิตร/ชั่วโมง

โอมง จนถึงย่านหมื่นลิตร/ชั่วโมง มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 0.5\%$  ของค่าสูงสุด เหมาะสำหรับใช้วัดปริมาตรของของเหลวที่ต้องการบรรจุหีบห่อ เช่น ใช้ควบคุมการบรรจุน้ำมันหรือน้ำผลไม้ลงในกล่องบรรจุ เพราะให้ค่าความถูกต้องสูงและให้ความเชื่อถือได้สูงกว่าเครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Positive Displacement แบบอื่นๆ ที่มีใช้กันอยู่โดยทั่วไป

### 3.2.5 แบบใบพัดหมุน

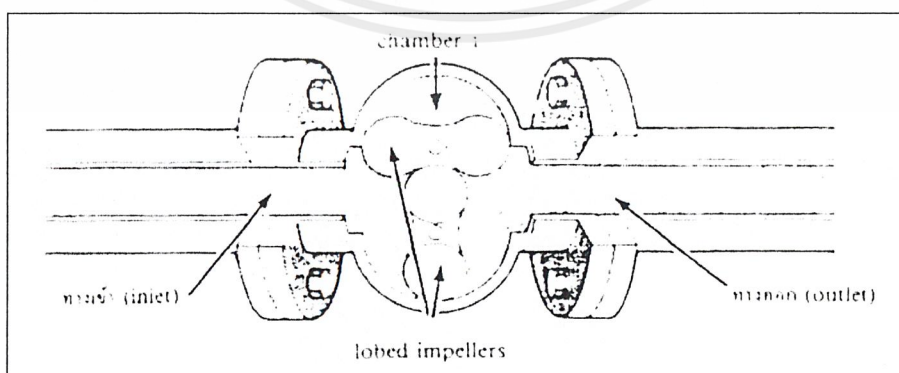


รูปที่ 3.10 แสดงโครงสร้างแบบใบพัดหมุน

จากรูปที่ 3.10 เป็นการแสดงใบพัดหมุนของตัววัดแบ่งปริมาตรออกเป็น 5 ส่วนใน 1 รอบ การหมุนใบพัดถูกออกแบบลักษณะดาว 5 แฉก ใบพัดทำให้ได้ค่าของการวัดค่อนข้างละเอียดขึ้น

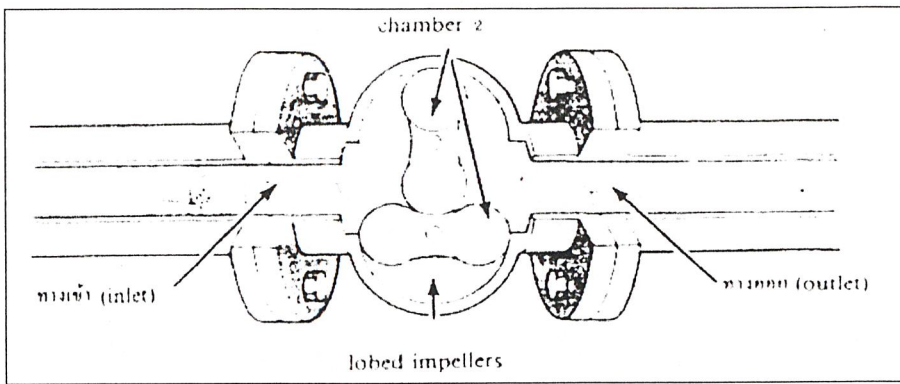
### 3.2.6 แบบ Lobeb Impeller Meter

ทำงานเหมือนตัววัดแบบโอวอลแต่มีรูปแบบของโรเตอร์ต่างไป คือ เว้าตรงส่วนกลางของโรเตอร์ เมื่อโรเตอร์ทั้งสองหมุนไปจะมีส่วนที่สัมผัสกันและสัมผัสกับกรอบนอกตลอดเวลา ลักษณะการรับของเหลวและการคายออกที่จังหวะการทำงานเหมือนของแบบโอวอลทุกประการ



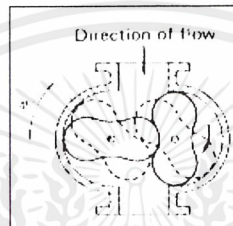
(ก) ในจังหวะแรก Fluid ที่ต้องการวัดจะไหลผ่าน chamber 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

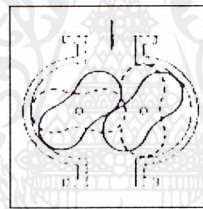


(ข) ในจังหวะต่อมา Fluid จะถูกคายออกและเริ่มในจังหวะใหม่ใน Chamber 2

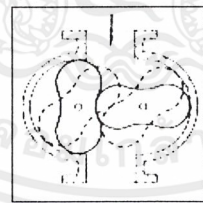
รูปที่ 3.11 แสดงจังหวะการเคลื่อนที่ภายใน Chamber



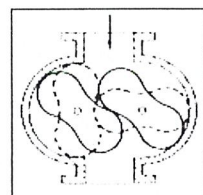
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3.12 แสดงจังหวะการเคลื่อนที่ Lobeb Impeller Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 โฟโต้เซนเซอร์ (Photo Sensor หรือ Photo Interrupter)

โฟโต้เซนเซอร์ หรือบางครั้งเรียกว่า โฟโต้อินเตอร์ (Photo interrupter) เป็นอุปกรณ์ที่มีทั้งตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงเหมือนกัน ต่างกันกับโฟโต้คัปเปิลเตอร์ตรงที่ตัวกำเนิดแสงจะจ่ายแสงออกมาภายนอกและแสงนั้นจะรับด้วยตัวรับแสงซึ่งอยู่ภายในอุปกรณ์เดียวกัน โฟโต้เซนเซอร์มี 2 แบบ คือ แบบส่องแสงโดยตรง กับแบบสะท้อนแสง

#### 3.3.1 โฟโต้เซนเซอร์แบบส่องแสงโดยตรง

โฟโต้เซนเซอร์ชนิดนี้ ตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงจะวางห่างกัน 1 – 10 มม. หันหน้าเข้าหากัน แสงจะวิ่งจากตัวกำเนิดแสงผ่านช่องว่างนี้ไปหาตัวรับแสง ถ้ามีสิ่งกีดขวางมากันทางเดินแสง ตัวรับแสงจะรับแสงและให้สัญญาณออกที่แตกต่างไปจากปกติ

ตัวกำเนิดแสงจะใช้อินฟาเรด LED ส่วนตัวรับแสงจะใช้เป็นโฟโต้ทรานซิสเตอร์ หรือเป็นคาร์ลิงตันโฟโต้ทรานซิสเตอร์ ในกรณีที่ใช้ในบริเวณที่มีแสงโดยรวมมากมักจะติดฟิลเตอร์กรองแสงธรรมชาติที่บริเวณตัวรับแสงด้วย

บางครั้งถ้าผลของแสงภายนอกสูงมาก จะใช้วิธีกำเนิดแสงให้เป็นพัลส์ และทางด้านรับก็จะรับแสงในช่วงจังหวะพัลส์นี้ด้วย

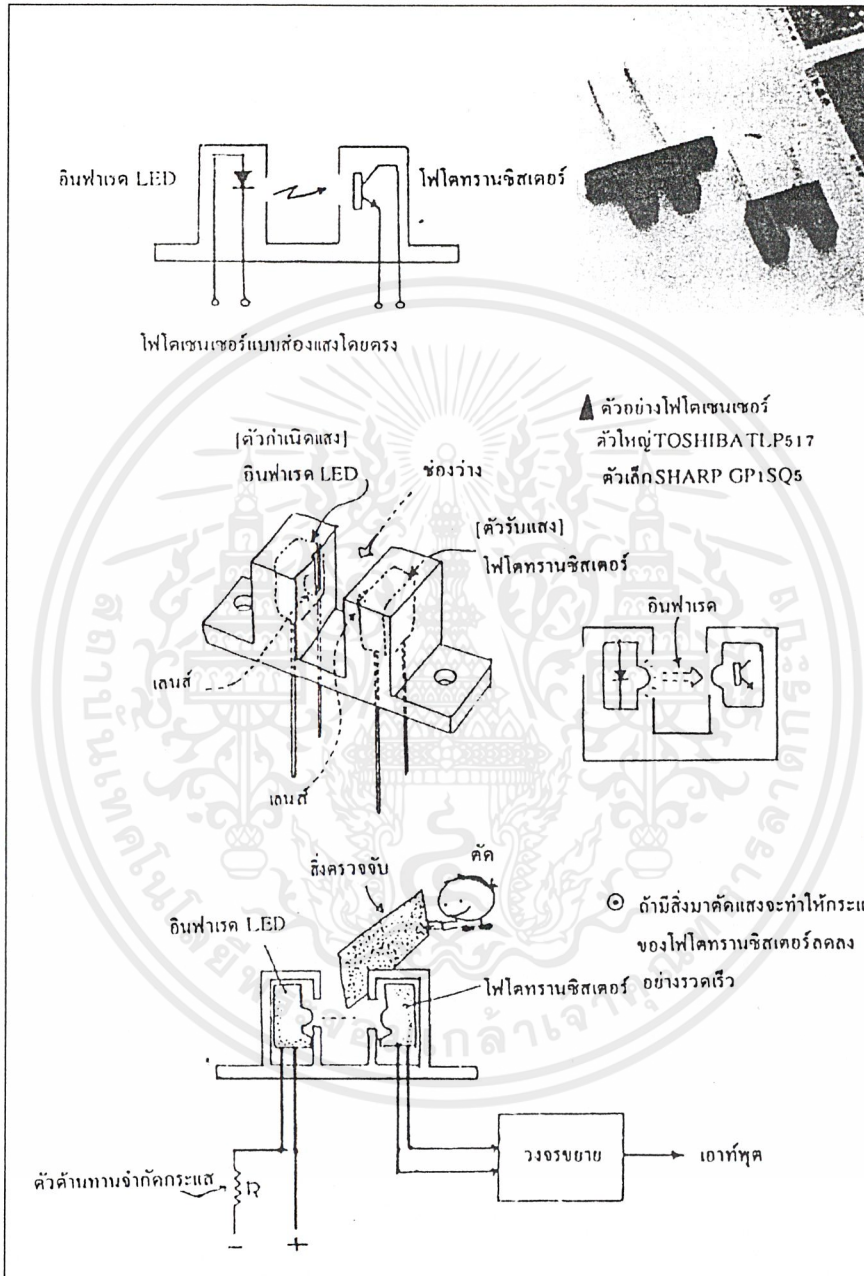
ถ้าสอดกระดาษเข้าไปช่องระหว่างตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงจะทำให้สัญญาณออกเปลี่ยนแปลงไป เราสามารถใช้หลักการนี้ในการตรวจสอบตำแหน่งของกระดาษในเครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องพิมพ์ เครื่องโทรสาร ใช้ในการตรวจวัดความเร็วของมอเตอร์ กล่าวคือถ้ามอเตอร์หมุนด้วยความเร็วผิดปกติก็สามารถทราบค่าได้ทันที จะเห็นว่าการตรวจสอบหรือตรวจวัดด้วยโฟโต้เซนเซอร์เป็นการตรวจสอบโดยไม่ต้องสัมผัสวัตถุโดยตรง ทำให้สามารถใช้งานได้ทนทานกว่าแบบที่ต้องมีการสัมผัส

#### 3.3.2 โฟโต้เซนเซอร์แบบสะท้อน

บางครั้งเราเรียกว่า โฟโต้อินเตอร์รับเตอร์แบบสะท้อน มีทั้งตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงเหมือนแบบแรกเพียงแต่ทั้งสองตัวไม่ได้หันเข้าหากัน แต่เรียงอยู่ด้านเดียวกันในขณะที่ทำงานแสงจากตัวกำเนิดแสงจะส่องออกไปด้านนอก และจะไม่เข้าตัวรับแสงเลย แต่ถ้ามีวัตถุเคลื่อนเข้ามาใกล้แสงที่ส่องออกมาจะสะท้อนที่ตัววัตถุและสะท้อนกลับไปที่ตัวรับแสงจะทำให้ได้สัญญาณออกมาดังคำอธิบายในรูป

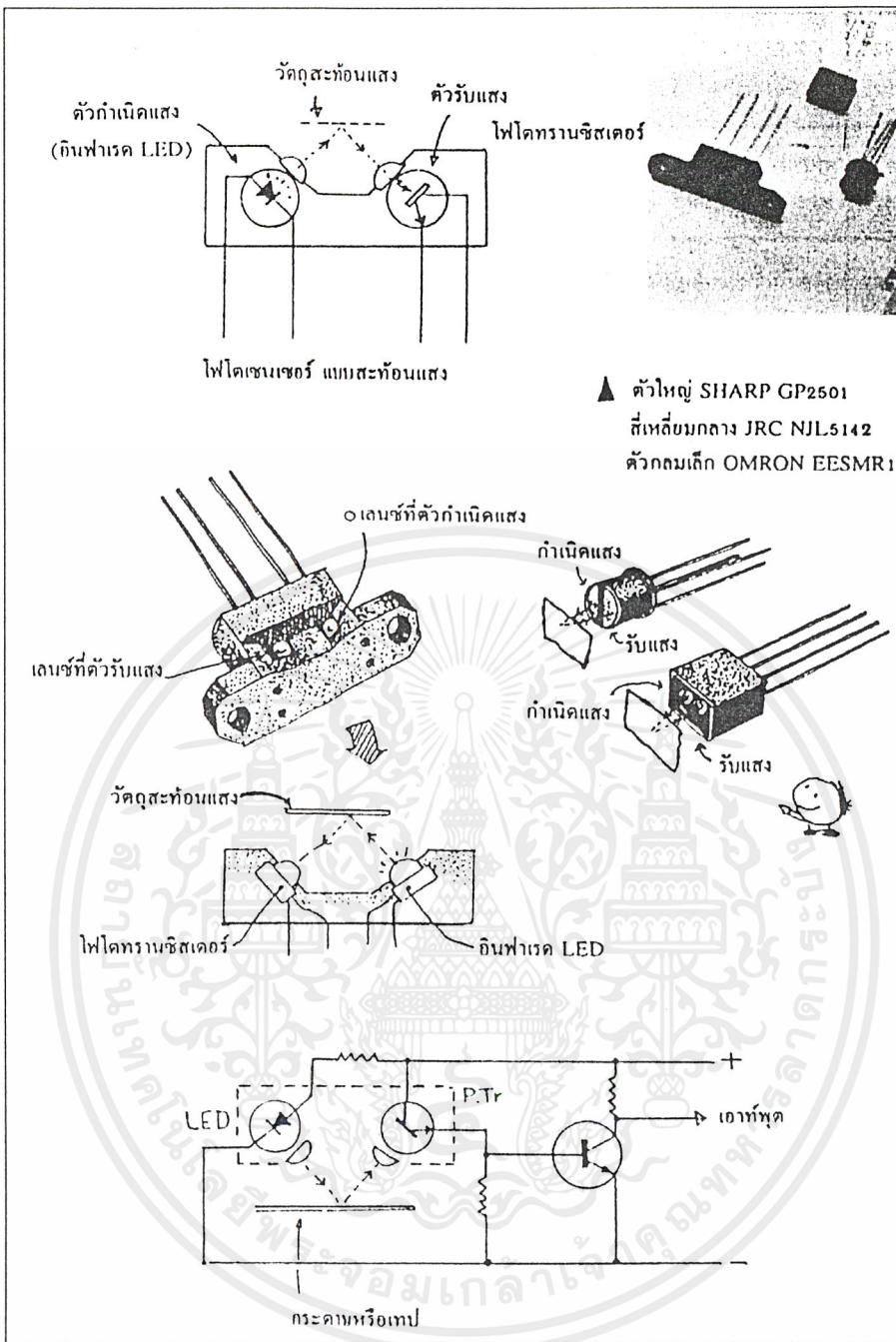
ตัวกำเนิดแสงจะใช้อินฟาเรด LED ตัวรับแสงจะเป็นโฟโต้ทรานซิสเตอร์ หรือคาร์ลิงตันทรานซิสเตอร์ จากโครงสร้างของตัวโฟโต้อินเตอร์รับเตอร์แบบสะท้อนนี้จะเห็นว่าผลของแสงโดยรอบจะมีผลต่อการทำงานมาก ดังนั้น ที่ตัวรับแสงจะติดตั้งฟิลเตอร์เพื่อกรองแสงธรรมชาติออกไป

ที่ตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสง บางครั้งอาจจะมีเลนส์ติดตั้งไว้ แบบมีเลนส์นี้สามารถตรวจจับการเข้ามาใกล้ของวัตถุตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรขึ้นไปจนถึงหลายมิลลิเมตร แล้วแต่ว่าจะปรับ โฟกัสของเลนส์ไว้ที่ระยะใด แต่การทำงานของมันจะไวมากโดยเฉพาะตรงจุดโฟกัส แบบที่ไม่มีเลนส์ ไม่มีโฟกัสก็มีแบบนี้จะไม่ไวเท่าแบบแรก และมักจะใช้ในกรณีที่ใช้แบบมีเลนส์ไม่ได้เนื่องจากไวเกินไป



รูปที่ 3.13 แสดงโฟโตเซนเซอร์แบบส่องแสงโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงโครงสร้างโฟโต้เซนเซอร์แบบสะท้อน

การประยุกต์ใช้โฟโต้เซนเซอร์ก็เหมือนกับแบบส่องโดยตรง กล่าวคือ ใช้ในการตรวจจับสิ่งของ วัตถุแบบที่ไม่ต้องสัมผัส ใช้ในเครื่องถ่ายภาพเอกสาร เครื่องโทรสาร ดูว่ามีกระดาษหรือไม่ ตรวจสอบจุดปลายของเทปกระดาษ เทปแม่เหล็ก เทปวีดีโอ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

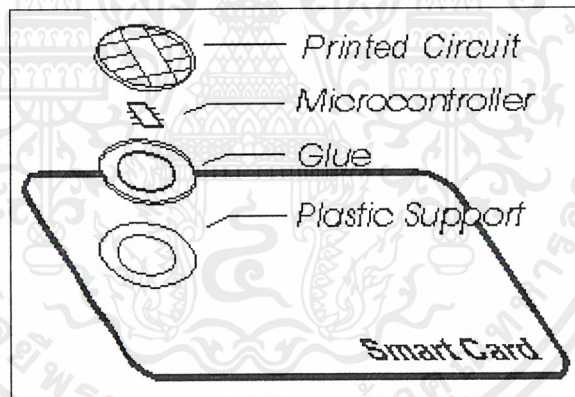
## บทที่ 4

# สมาร์ทการ์ด(SMARTCARD)

## และโซลินอยด์(Soliniods)

### 4.1 บัตรสมาร์ทการ์ด(Smart Card)

บัตรสมาร์ทการ์ด(Smart Card)หรือบัตรChip Cardคือบัตรพลาสติกที่บรรจุไอซี(Integrated circuit) หรือ ชิพ(Chip) ไว้ภายในบัตรซึ่งซ่อนอยู่ภายใต้หน้าสัมผัสขนาดประมาณ 1.5ซ.ม.x1.5 ซ.ม. วงจรอิเล็กทรอนิกส์จะติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกผ่านหน้าสัมผัส ขนาดของบัตร Chip Card มีขนาดเท่ากับบัตรเครดิตที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 7816 ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานของบัตรแบบ Chip Card วงจรอิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวสามารถทำงานในการเก็บข้อมูลประมวลผลและบางวงจรสามารถทำงานด้วยการถอดและเข้ารหัส เพื่อความปลอดภัยของข้อมูล โดยวิธีการเข้ารหัสตามมาตรฐานของ DES (Data Encryption System) หรือตามมาตรฐานของ RSA (Rivest, Shamir and Adleman)



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของสมาร์ทการ์ด

#### 4.1.1 ประเภทของบัตรสมาร์ทการ์ด

บัตรสมาร์ทการ์ด(Smart Card) แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ตามคุณสมบัติ และระดับความสามารถ ได้แก่

**Memory Card** คือบัตรที่มีวงจรบรรจุหน่วยความจำหรือข้อมูลซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงได้อย่างจำกัด เป็นบัตรที่มีการใช้งานมากที่สุดในปัจจุบันคาดว่าจะยังคงเป็นเทคโนโลยีของบัตรที่จะมีอยู่ต่อไปอีก 5 ปีข้างหน้าเพราะมีราคาถูก สามารถผลิตได้ครั้งละมาก ๆ ตัวอย่างของการนำ Memory Card มาใช้งาน คือ บัตรโทรศัพท์สาธารณะ บัตรชมภาพยนตร์

**Microprocessor Card** คือบัตรที่มีวงจรมินิชิปที่มีหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit: CPU) มีหน่วยความจำทั้งชนิดที่เป็นแบบ ROM, RAM, EPROM และ EEPROM ที่มีความซับซ้อนมาก กว่าบัตรชนิดแรก และบางประเภทจะมีวงจรมินิชิปที่ทำหน้าที่ในการถอดรหัส และมีระบบประมวลผลเองเรียกว่า COS(Card Operating System) สำหรับข้อมูลปริมาณมาก หรือต้องการความปลอดภัยสูง เมื่อเป็นเช่นนี้ ทำให้ต้นทุนค่อนข้างสูง และระบบงานที่สามารถนำบัตรชนิดนี้ไปใช้ คือ กระเป๋าเงินสด(Electronic Purse) ที่บัตรนี้เติมเงินสดลงในบัตรได้

**Super Smart Card** คือ บัตรที่ประกอบด้วยวงจรมินิชิป หน่วยความจำ และหน่วยประมวลผลกลาง(CPU) ที่มีความซับซ้อนขึ้นไปอีกรวมทั้งอาจจะมีคีย์บอร์ดบนตัวบัตรในลักษณะคล้ายๆ เครื่องคิดเลขขนาดเท่าบัตรเครดิต จนถึงรุ่นที่สามารถทำงานได้เสมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กๆ ได้ ในปัจจุบัน บัตร Super Smart Card อยู่ในระหว่างการพัฒนาวิจัย แต่ก็มีราคาสูงมากเกินกว่าที่จะนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์

สมาร์ทการ์ดยังสามารถแบ่งออกได้อีก 2 แบบใหญ่ ๆ คือ

1. สมาร์ทการ์ดแบบมีการสัมผัส(Contact smart cards) ซึ่งการใช้งานจำเป็นต้องมีการสอดใส่เข้าไปในเครื่องอ่านสมาร์ทการ์ด(smart card reader)
2. สมาร์ทการ์ดแบบไม่มีการสัมผัส(Contactless smart cards) ซึ่งการใช้งานต้องการเพียงให้วางอยู่ใกล้ๆ กับสายอากาศเท่านั้น

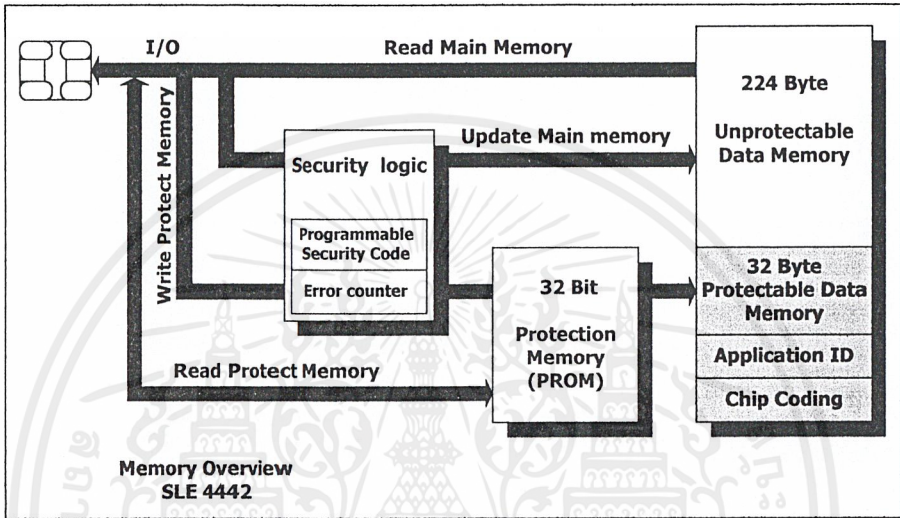
**สมาร์ทการ์ดแบบมีการสัมผัส** เป็นบัตรที่มีการฉีกชิปทองขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณครึ่งนิ้ว เอาไว้ที่ด้านหน้าบัตร แทนการใช้แถบแม่เหล็ก(Magnetic stripe) ที่เคยพบเห็นใช้กันมากที่สุด ในบัตรเครดิตหรือบัตรเอทีเอ็ม เมื่อผู้ใช้สอดใส่บัตรเข้าไปในเครื่องอ่านบัตรสมาร์ทการ์ดแล้ว มันจะสัมผัสกับหัวต่อหรือคอนเน็คเตอร์ทางไฟฟ้า ซึ่งจะทำการส่งถ่ายข้อมูลเข้าและออกจากชิป

**สมาร์ทการ์ดแบบไม่มีการสัมผัส** เป็นบัตรที่มองดูรูปร่างภายนอกแล้วคล้ายกับบัตรเครดิตพลาสติกแบบหนึ่ง ที่ภายในมีการฉีกชิปคอมพิวเตอร์และขดลวดสายอากาศไว้ภายใน ซึ่งใช้ในการติดต่อกับเครื่องรับ/เครื่องส่งที่อยู่ในระยะไกล(Remote receiver/transmitter) โดยทั่วๆ ไปเรามักใช้บัตรแบบนี้เมื่อต้องการดำเนินการทางด้านรายการ(Transactions) อย่างรวดเร็ว ตัวอย่างเช่นที่ใช้กับการจัดเก็บเงินค่าผ่านทางด่วน

#### ตัวอย่างสมาร์ทการ์ด(Smart Card)เบอร์SLE4442

Smart Card เบอร์ SLE4442 มีหน่วยความจำแบบ EEPROM ขนาด 256 Bytes โดยแบ่งเป็น Protectable Data Memory 32 Bytes และ Unprotected Data Memory 224 Bytes สามารถอ่านและเขียนได้ 100,000 ครั้ง เก็บข้อมูลได้นานถึง 10 ปี ส่วนที่เป็น Protectable Data Memory นั้นสามารถเขียนข้อมูลถาวรไว้โดยจะลบหรือแก้ไขเปลี่ยนแปลงไม่ได้อีกเลยและในส่วนนี้ได้ถูกเขียนข้อมูล

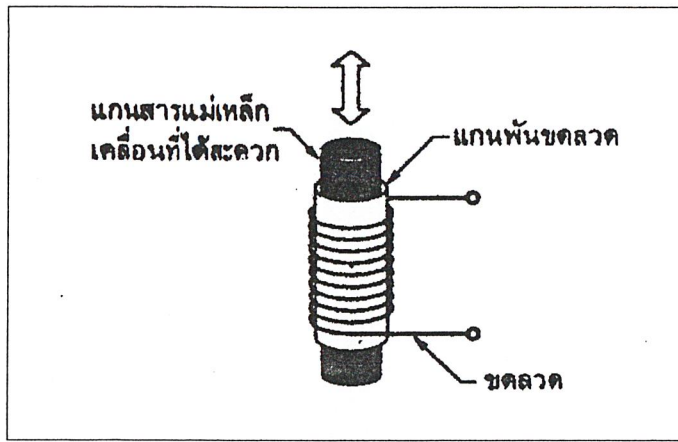
ถาวรไว้แล้ว 12 Bytes ตามมาตรฐาน ISO7816 นอกจากนี้ SLE4442 ยังมี PSC(Programmable Security Code) 3 Bytes เพื่อใช้ในการตรวจสอบค่าให้ตรงกับค่า PSC ที่มีในบัตรก่อนจึงจะเขียนข้อมูลลงในบัตรได้และ EC(Error Counter) เพื่อใช้ในการนับจำนวนครั้งที่ทำการตรวจสอบ Verify ค่า PSC โดยถ้าทำการตรวจสอบ Verify ค่า PSC ไม่ถูกต้องถึง 3 ครั้ง บัตรนี้ จะเขียนข้อมูลไม่ได้อีกเลยทันที การนับ Error Counter นี้จะถูก Reset เมื่อได้ทำการ Verify ค่า PSC ได้ถูกต้อง ค่า PSC มาตรฐานของบัตรใหม่ที่ผลิตจาก โรงงานคือ FFFFFFFF



รูปที่ 4.2 การจัดสรรหน่วยความจำในสมาร์ทการ์ดเบอร์ SLE4442

#### 4.2 โซลินอยด์(Solenoids)

โซลินอยด์มาจากคำว่า “โซเลน(Solen)” ซึ่งมีความหมายทางแพทย์เป็นคล้าย ๆ ฝือกหุ้มอวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บ ซึ่งก็อาจจะอยู่ในลักษณะของปลอกแขนหรือปลอกขา เมื่อมีตัวประคิษฐ์กรรมตัวนี้เกิดขึ้น ซึ่งโครงสร้างของมันก็คือ ขดลวดพันรอบ ๆ แกนสารแม่เหล็กดังรูปที่ 4.3 นั่นเอง ลักษณะก็เป็นคล้าย ๆ ทรงกระบอกเช่นกัน ศัพท์โซลินอยด์จึงอาจจะถูกเรียกมาเป็นเช่นนี้ อาจใช้โซลินอยด์มาประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการเชื่อมโยงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกลโดยตรง โดยสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้เข้ามาทางขดลวด จะทำให้แกนสารแม่เหล็กของโซลินอยด์เกิดการเคลื่อนที่ขึ้น การเคลื่อนที่นี้เองที่นำไปใช้ประโยชน์เช่น ชักกลอนประตูเอาไว้ ไปถีบกระดิ่งทำให้กลไกทำงานหรือหยุดทำงาน หรือ ทำเป็นโซลินอยด์วัลล์ ฯลฯ



รูปที่ 4.3 โครงสร้างพื้นฐานของโซลินอยด์

โซลินอยด์ที่ใช้กันมี 2 ชนิดคือ

1. ชนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
2. ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง

#### 4.2.1 หลักการทำงานของโซลินอยด์

เออร์สเตด เป็นผู้ตั้งกฎ(ตามหลักเป็นจริงที่ค้นพบ)ว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในลวดตัวนำใดๆ ก็ตาม จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ตัวนำนั้น(ดูรูปที่ 4.4) และยังเป็นผู้ออกกฎมือขวามาให้ดูทิศทางเส้นแรงแม่เหล็กด้วย คือ ถ้าเอามือขวากำรอบเส้นลวด โดยนิ้วหัวแม่มือแทนทิศทางกระแสไหล นิ้วที่เหลือทั้งหมด (ซึ่งมี 4 นิ้วและจะหันไปทางเดียวกัน) จะแสดงทิศทางเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วได้ไปขั้วเหนือ

เมื่อเอาเส้นลวดมาขดเป็นวง ๆ หลาย ๆ วง ก็จะทำให้เกิดลักษณะของขดลวดขึ้น ดังรูปที่ 4.5 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดแต่ละขดจะอยู่ในทิศทางเสริมกัน และก่อกำเนิดเป็นเส้นแรงของสนามแม่เหล็กรวม มีทิศเหนือใต้ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งก็แปลว่าในขณะที่ขดลวดชุดนี้จะทำหน้าที่เช่นเดียวกับแม่เหล็กถาวรแท่งหนึ่ง ซึ่งพร้อมที่จะดูดสารแม่เหล็กทันที แต่เนื่องจากสภาพรอบ ๆ ขดลวดเป็นอากาศเส้นแรงแม่เหล็กจึงไม่เข้มข้นมากนัก

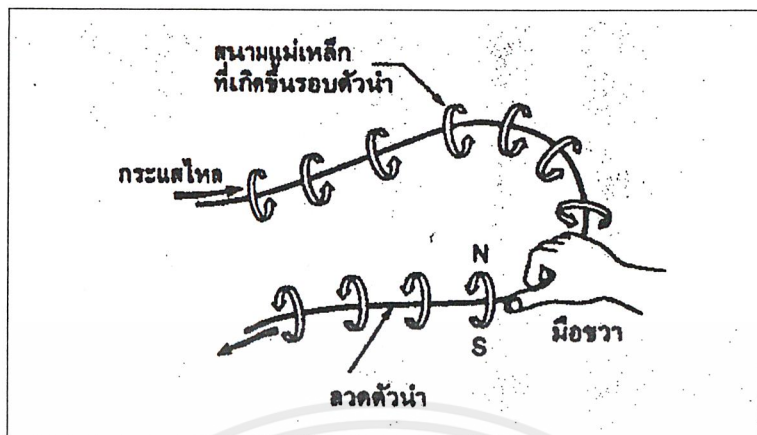
เพื่อที่จะไม่ให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นกระจัดกระจาย เขาจึงใส่แกนเหล็กอ่อนรูปตัว C เข้ามารอบๆ ขดลวด เพื่อให้สนามแม่เหล็กมากขึ้นดังรูปที่ 4 ถ้าเอาแกนกระทุ้ง(Plunger) มาใส่เข้าไปตรงกลางขดลวดในตำแหน่งที่ 1 แกนกระทุ้งจะถูกดูดให้ลึกลงเข้ามาจนสนิทในตำแหน่งที่ 2 ยิ่งระยะทางไกลมากเท่าไร แรงดูดก็จะมากขึ้นเท่านั้น

#### ข้อแตกต่างระหว่างโซลินอยด์ไฟตรงและโซลินอยด์ไฟสลับ

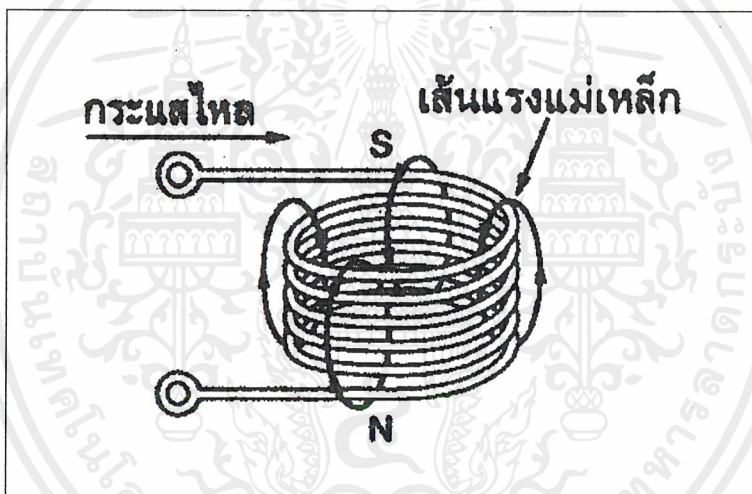
โซลินอยด์ไฟตรง กระแสที่ไหลในขดลวดจะค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไม่ว่าแกนกระทุ้งจะอยู่ในตำแหน่งใดก็ตาม แต่ในโซลินอยด์ไฟสลับ กระแสอยู่ในขณะที่แกนกระทุ้งอยู่นอกวง ขดลวดจะมีค่าสูง และเมื่อแกนกระทุ้งถูกดูดเข้ามาจนสุดขดลวดกระแสจะลดต่ำลง ลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

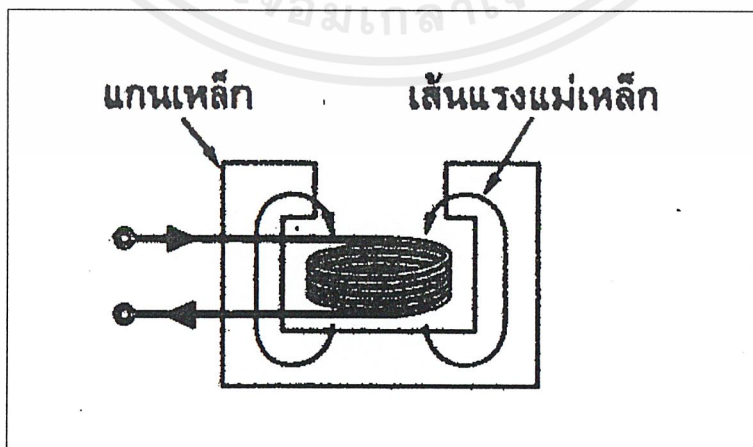
แบบนี้ที่เองที่ทำให้เราต้องระวังอย่าให้เกิดการติดขัดของแกนกระทู้ในโซลินอยด์ไฟสลับ เพราะจะทำให้เกิดกระแสมาก ๆ ไหลค้างอยู่ทำให้ขอลวดร้อนขึ้นและอาจจะไหม้เสียหายได้



รูปที่ 4.4 แสดงถึงทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด



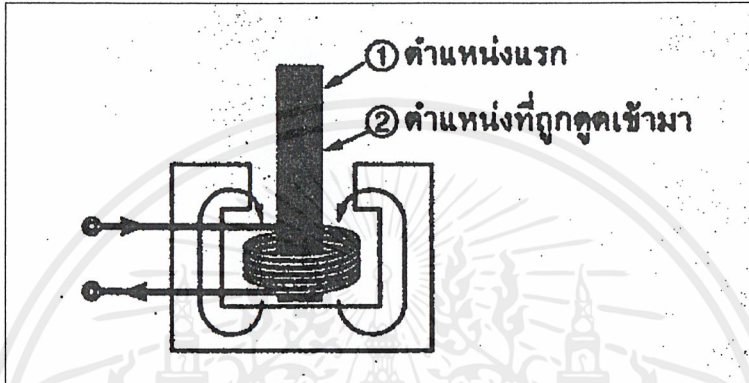
รูปที่ 4.5 แสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ในขดลวดที่มีกระแสไหล



รูปที่ 4.6 แสดงการเพิ่มเหล็กอ่อนเข้ามาเพื่อเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงสร้างของโซลินอยด์แบบไฟสลับนั้นจะต้องพันขดลวด Saded Coil หรือแหวน (Ring) ซึ่งเป็นขดพันรอบแกนเพียงรอบเดียว หรือ ไม่ก็รอบลัดวงจรเอาไว้เลย จุดประสงค์ที่พันไว้ เพราะในไฟสลัป กระแสจะลดลงมาเป็นศูนย์ 2 ครั้งทุก ๆ ไซเคิลช่วงที่กระแสเป็นศูนย์นี้เองทำให้ แรงดูดแม่เหล็กลดลงและทำให้เกิดเสียงหึ่ง ๆ ขึ้น และการดูดก็ไม่แน่นอนพื้นขดลวดแหวนที่เพิ่มเติม เข้าไปนี้จะทำให้วงจรแม่เหล็กเกิดเป็นสภาพ 2 เฟส คือ แม้ในขณะที่กระแสเป็นศูนย์ก็ตาม ขดลวด แหวนซึ่งมีกระแสที่เกิดจากการเหนี่ยวนำกับสนามแม่เหล็ก จะยังคงมีแรงเสริมมาเสริมการดูดใน ช่วงนี้ได้ แต่ก็จะทำให้เกิดการสูญเสีย(Loss) ของความร้อนในขดลวดบ้างเป็นข้อแลกเปลี่ยน

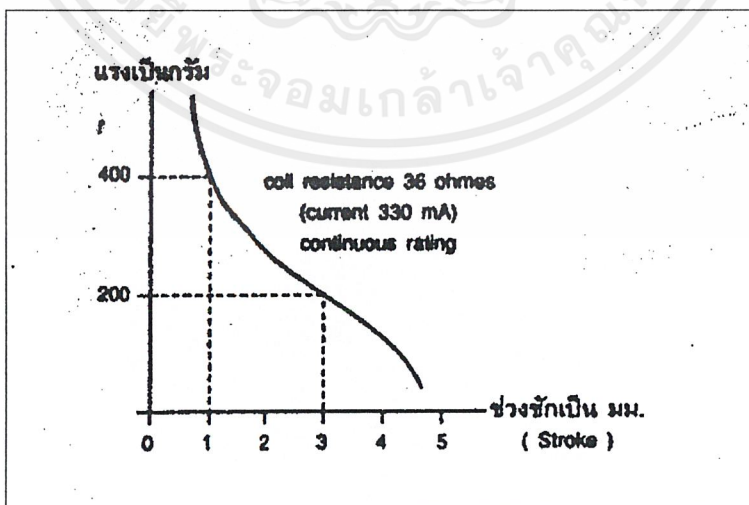


รูปที่ 4.7 แสดงการเคลื่อนที่ของแกนกระหู่

#### 4.2.2 ขั้นตอนการเลือกใช้โซลินอยด์

จะคำนึงถึงหลักใหญ่ๆคือ

1. แรงดันใช้งาน ไม่ว่าจะ เป็นไฟตรงหรือไฟสลัป ถ้าเป็นไฟสลัปก็ต้องดูความถี่ใช้งานให้ตรงตามต้องการด้วย



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะช่วงชักของโซลินอยด์ไฟตรง 12 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ช่วงชักใช้งาน(Operating Stroke)ของโซลินอยด์จะต้องเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่าใด (จะกำหนดเป็นมิลลิเมตร)

3. ขนาดของโหลด ว่าต้องใช้แรงขนาดเท่าใดมักจะบอกเป็นกรัม

4. ใช้งานต่อเนื่องหรือไม่ การใช้งานต่อเนื่อง(Continuous) หมายถึง เราอาจจะใส่แรงดันไฟฟ้าเข้าขดลวดค้างไว้ได้เลย โดยขดลวดไม่ไหม้หรือเป็นแบบจ้วงหวะ ๆ(Intermittent duty)

ในรูปที่ 4.8 เป็นตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกับระยะช่วงชักของโซลินอยด์ จะเห็นว่าที่ช่วงชักไกล ๆ จะมีแรงน้อยมาก และที่ระยะใกล้เข้าแรงก็จะมากขึ้นเป็นทวีคูณ ในกรณีที่โซลินอยด์จะให้แรงชุด 200 กรัม ที่ระยะช่วงชัก 3 ม.ม. และจะให้แรงถึง 400 กรัม ที่ช่วงชักสั้น ๆ ขนาด 1 ม.ม.

#### 4.2.3 แนวความคิดในการเอาโซลินอยด์ไปประยุกต์ใช้

สำหรับโซลินอยด์ที่แรงดึงไม่มากนัก

- ทำเป็นกลอนล็อกประตู เมื่อมีแรงมาดันมาที่ขดลวด โซลินอยด์จะดึงแกนกระทุ้งกลับ เป็นการปลดล็อก

- ชูป้ายโฆษณา(Display) ในกรณีนี้ถ้าโซลินอยด์ยังไม่ทำงาน สปริงจะดึงป้ายให้ตั้งฉากกับหน้าต่างป้าย ทำให้เราไม่เห็นตัวหนังสือ แต่ถ้าโซลินอยด์ได้รับแรงดันเข้ามา แกนกระทุ้งจะถูกดูด ทำให้แกนติดค้ำหน้าป้ายโฆษณาออกมาให้เราเห็น

- ใช้กับกลไกของเล่นที่ทำด้วยอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น หุ่นยนต์ รถยนต์เด็กเล่นและอื่นๆ

สำหรับโซลินอยด์ที่แรงดึงไม่มากนัก(เช่นในงานอุตสาหกรรม) ดังรูปที่ 4.10 ประกอบ

- กลไกอินเตอร์ล็อก ใช้กับพวกเครื่องหยอดเหรียญต่าง ๆ เครื่องเล่นทางอิเล็กทรอนิกส์ กระเบื้องทริปของเซอกิตเบรกเกอร์ ฯลฯ

- ควบคุมลิ้นของไหล พวกลิ้นปิดเปิดทางเดินของลม หรือน้ำมันในระบบนิวแมติกและไฮดรอลิกส์ ควบคุมลิ้นน้ำหรือ เรียกว่า โซลินอยด์ วาล์ว ฯลฯ

- ช่วยในการนับจำนวนสินค้า โดยวงจรนับจะส่งแรงดันมาที่โซลินอยด์เป็นช่วงเวลาที่จะได้จำนวนตามต้องการ โซลินอยด์จะดูดและเบนทิศทางสินค้าไปลงหีบห่อตามจำนวนที่ถูกต้อง

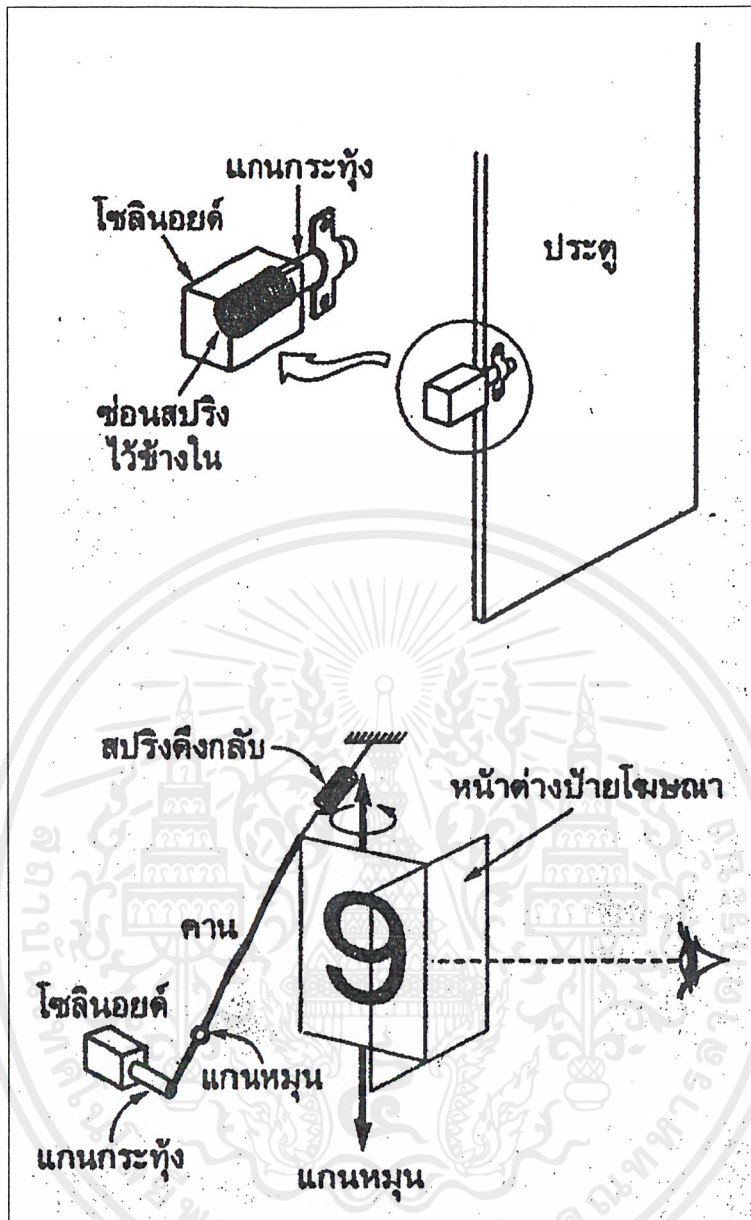
- ระบบเบรก ใช้ควบคุมระบบเบรกในเครื่องจักรกล ลิฟท์ ฯลฯ

- ควบคุมการทำงานของคลัตช์ โดยการดึงให้หน้าคลัตช์เข้าตะกันเป็นการถ่ายทอดกำลังผ่านไป

- ควบคุมการเจาะและพิมพ์ของเครื่องจักร ก็โดยการตัดแปลงติดตั้งหัวเจาะและพิมพ์เข้าบนแกนของโซลินอยด์

- ควบคุมการปิดเปิดของฮอปเปอร์(Hopper คล้ายกับปากกรวย มีหน้าที่เป็นทางไหลของวัสดุที่อยู่ในไซโล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

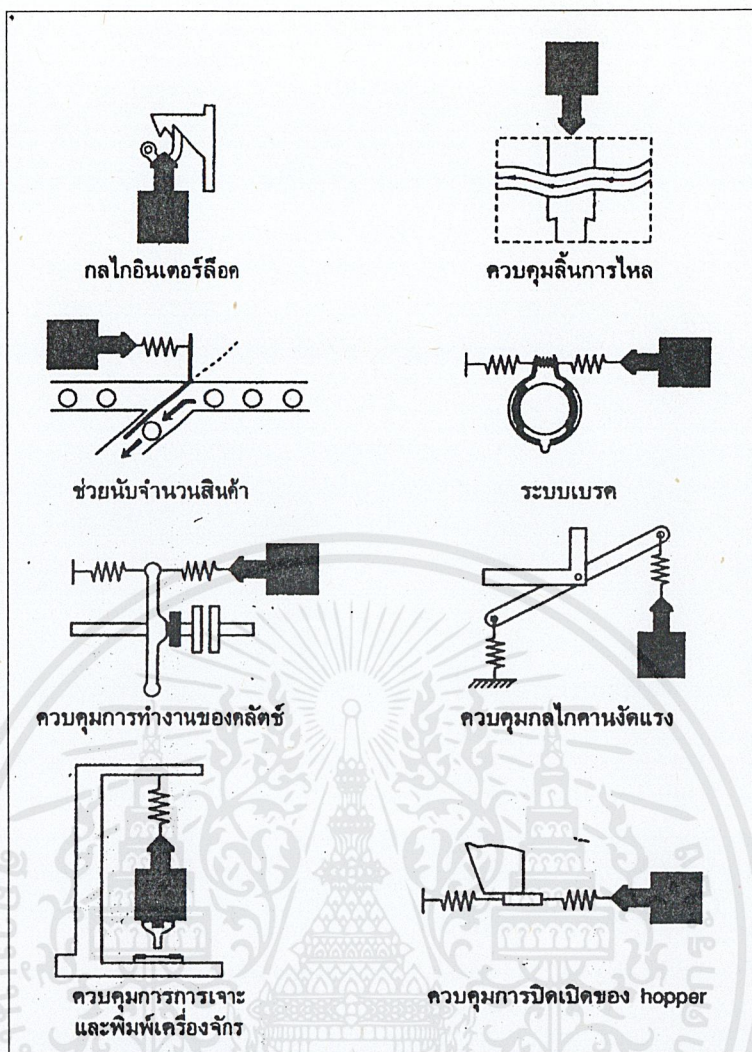


รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างการนำโซลินอยด์ที่แรงดึงไม่มากนักไปใช้งาน

#### 4.2.4 ข้อระวังในการใช้โซลินอยด์เพื่อให้อายุยืนยาวที่สุด

1. ถ้ากำลังใช้โซลินอยด์ไฟสลับจะต้องทำกลไกให้มั่นใจได้ว่า โซลินอยด์จะดูดแกนกระทุ้งเข้ามาหาสุดตัวเต็มที่ ถ้าไม่เช่นนั้นกระแสในโซลินอยด์จะสูงและเกิดความร้อน และขดลวดอาจจะไหม้ การตัดแปลงแก้ไขก็จะทำกันดังรูปที่ 4.11 โดยถ้าเกิดการติดขัดด้านโพลด(Joint Spring) เพิ่มเติมนี้จะยึดตัวให้แกนเคลื่อนที่เข้าไปสุดได้
2. ควรระวังให้แนวการเคลื่อนที่ของแกนกระทุ้งในแนวแกนเสมอ ในกรณีที่มีการเคลื่อนที่จะเป็นส่วนโค้ง ก็อาจเพิ่มข้อต่อเข้ามาดังรูปที่ 4.12 เพื่อช่วยให้การเคลื่อนที่ของแกนกระทุ้งอยู่ในแนวแกนมากขึ้น

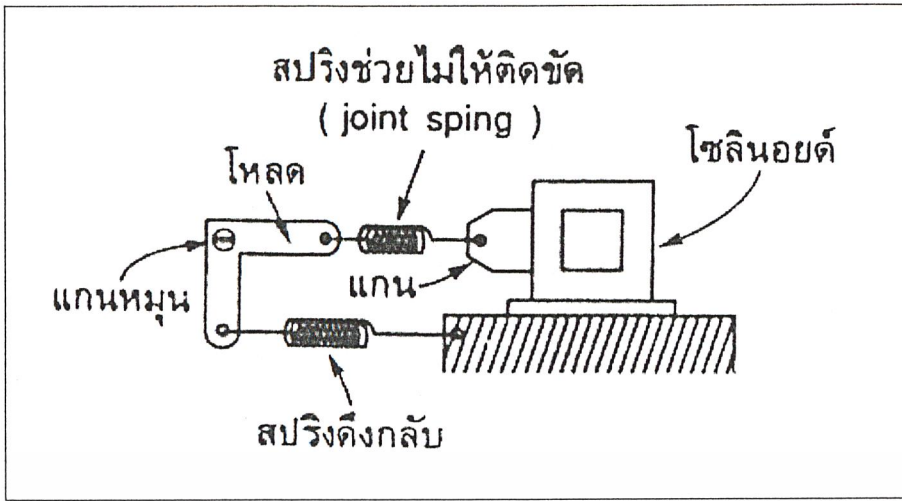
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



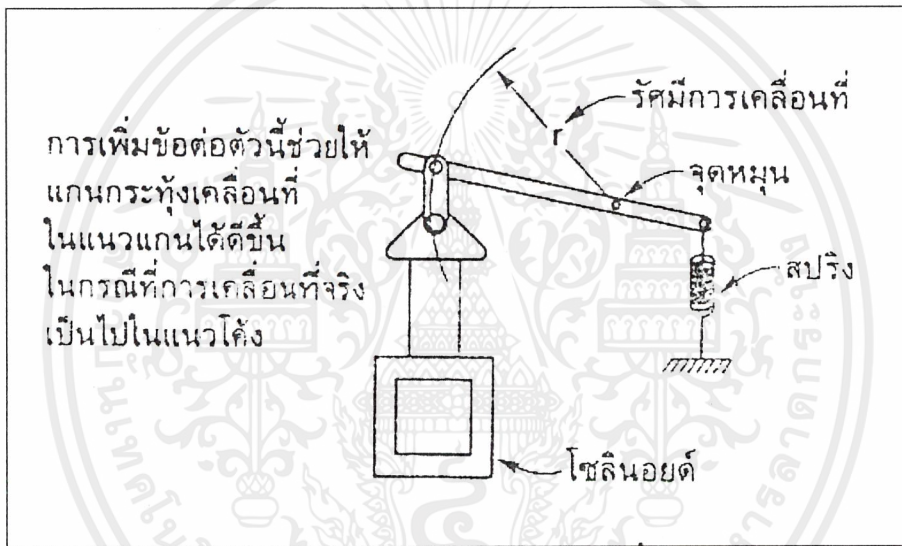
รูปที่ 4.10 แสดงตัวอย่างการนำโซลินอยด์ที่มีแรงดึงมากไปใช้งาน

3. พยายามอย่าวางตำแหน่งโซลินอยด์อยู่ใกล้หรือติดกับสารแม่เหล็ก เพราะอาจจะมีสารแม่เหล็กส่วนหนึ่งรั่วไหลออกไป ได้อันจะเป็นเหตุให้แรงดึงลดลง ควรแก้ไขโดยเพิ่มฉนวนแม่เหล็กแทรกเข้าไปด้วย

4. ต้องติดตั้งตัวถังโซลินอยด์ให้แน่นหนา เนื่องจากโซลินอยด์เป็นตัวส่งกำลังทางกล ฉะนั้นเมื่อมีแรงกริยาออกมา ก็ย่อมต้องมีแรงปฏิกิริยาเกิดขึ้นกับตัวถังของโซลินอยด์ ถ้ายึดไม่แน่นพอในระยะยาวอาจจะทำให้เกิดการสั่น หรือหลุด หรือหลวมได้



รูปที่ 4.11 แสดงการเพิ่มเติมสปริงเชื่อมต่อเพื่อให้แน่ใจว่าโชลินอยด์จะดูดได้เต็มที่กว่า

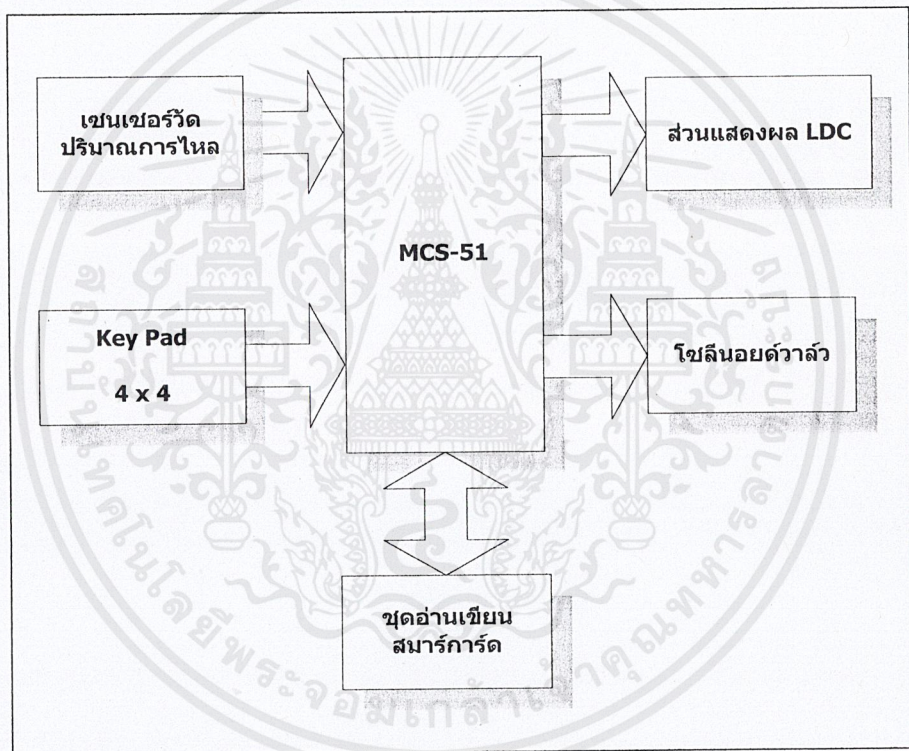


รูปที่ 4.12 แสดงการใช้ข้อต่อมาช่วยให้แกนกระทั่งเคลื่อนที่อยู่ในแนวแกน

## บทที่ 5

### การออกแบบและการสร้าง

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานสามารถแบ่งออกเป็น ส่วนหลักๆคือ ส่วนของการควบคุมซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งในการควบคุมนั้นก็แบ่งออกเป็นทั้งซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์ ในส่วนของซอฟต์แวร์ก็คือโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม ส่วนของฮาร์ดแวร์ก็จะเป็นการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม เช่น ชุดอ่านและเขียนสมาร์ทการ์ด, ส่วนแสดงผล, ส่วนป้อนค่าผ่านคีย์, ชุดเปิด/ปิด โซลินอยด์วาล์วและรับค่าจากเซนเซอร์วัดปริมาณการไหล เป็นต้น



รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องควบคุมการขายน้ำคิดเงินผ่านสมาร์ทการ์ด

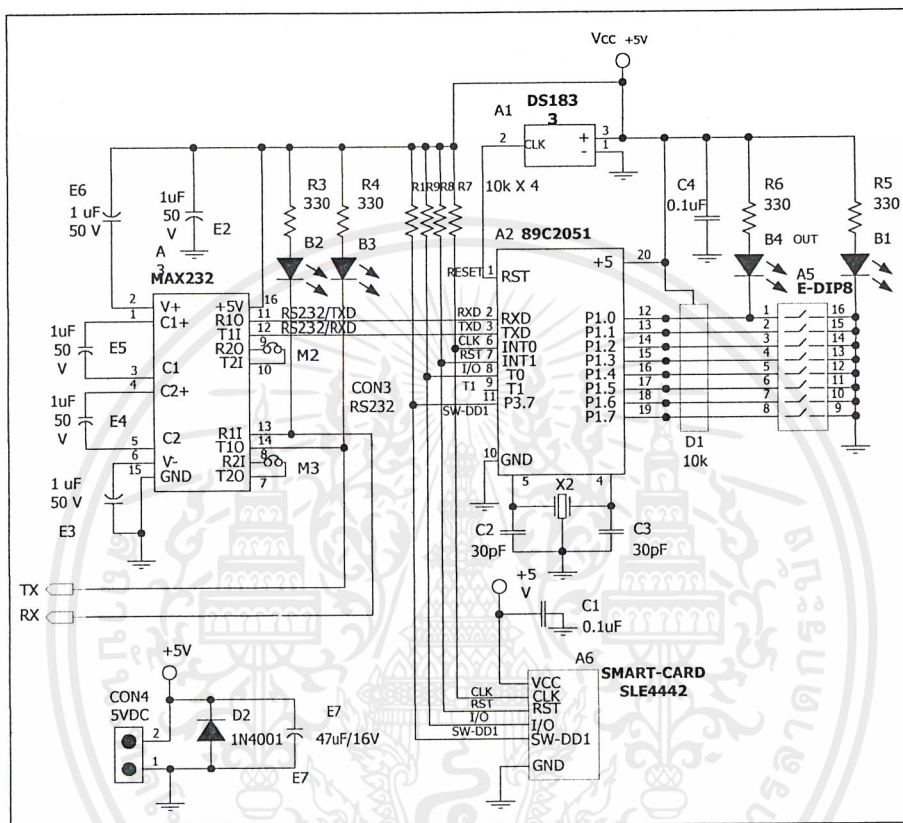
เครื่องควบคุมการขายน้ำคิดเงินผ่านสมาร์ทการ์ด แบ่งระบบการทำงานได้ดังนี้

1. ชุดอ่านเขียนสมาร์ทการ์ด
2. ภาควิทยาศาสตร์ระบบการทำงานของเครื่องโดยใช้ MCS-51
3. ส่วนแสดงผล LCD 16 x 2
4. ชุดคีย์แพด 4 x 4
5. ชุดเซนเซอร์วัดปริมาณการไหล
6. ชุดขับโซลินอยด์วาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.1 ชุดอ่านและเขียนสมาร์ทการ์ด

เป็นบอร์ดสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการอ่านและเขียนข้อมูลกับบัตรสมาร์ทการ์ดเบอร์ SLE 4442 รับคำสั่งติดต่อสื่อสารผ่านทาง RS 232 โดยการติดต่อจะอาศัยชุดคำสั่งที่ใช้งานแบบ ASCII สามารถเขียนข้อมูลถาวรลงไปในบัตรได้ มีระบบตรวจสอบค่า PSC พร้อม Error Counter ให้ความปลอดภัยข้อมูลสูง ในรูปที่ 5.2 แสดงวงจรชุดอ่านและเขียนค่าลงสมาร์ทการ์ด

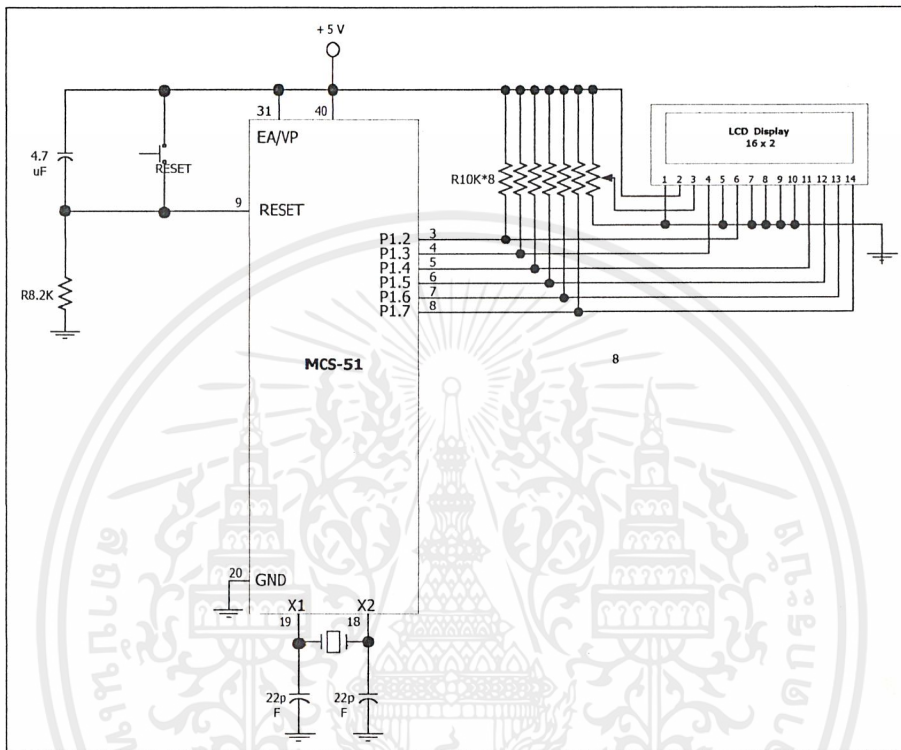


รูปที่ 5.2 วงจรชุดอ่านและเขียนค่าลงสมาร์ทการ์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ส่วนควบคุมการแสดงผลผ่าน LCD 16 x 2

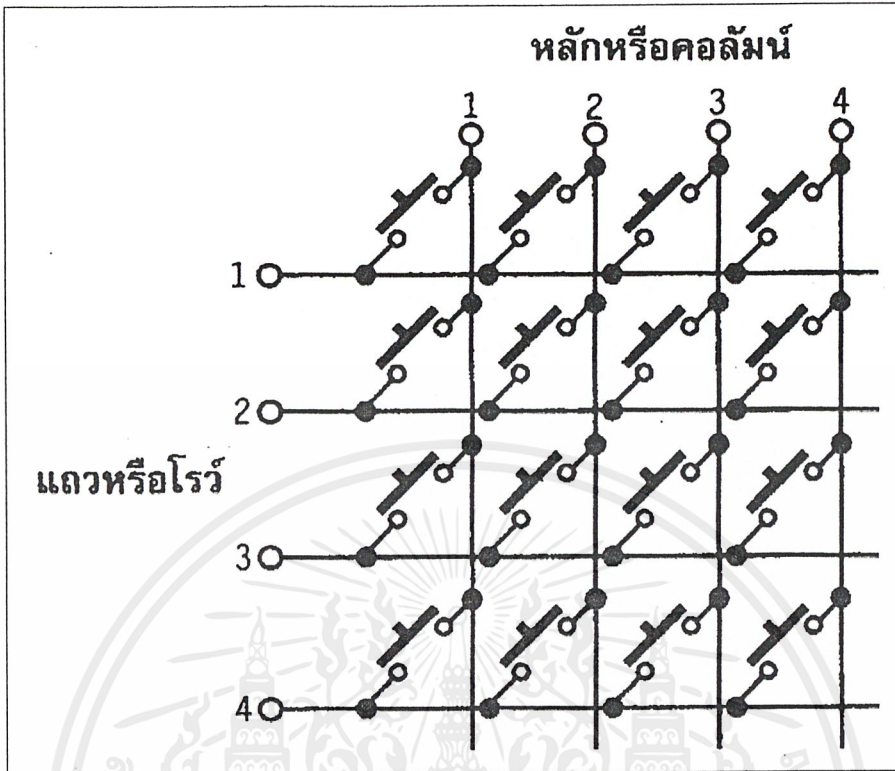
การติดต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้แบบ 4 บิต เพื่อเป็นการประหยัดพอร์ต ในการติดต่อ โดยในส่วนแสดงผลนี้จะแสดงค่าต่าง ๆ เช่น ปริมาณน้ำค้างเหลือจากการเติม ,ปริมาณ ยอดเงินคงเหลือและสถานะอื่น ๆ เป็นต้นในรูปที่ 5.3 เป็นวงจรแสดงการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุมการแสดงผล LCD ขนาด 16 x 2



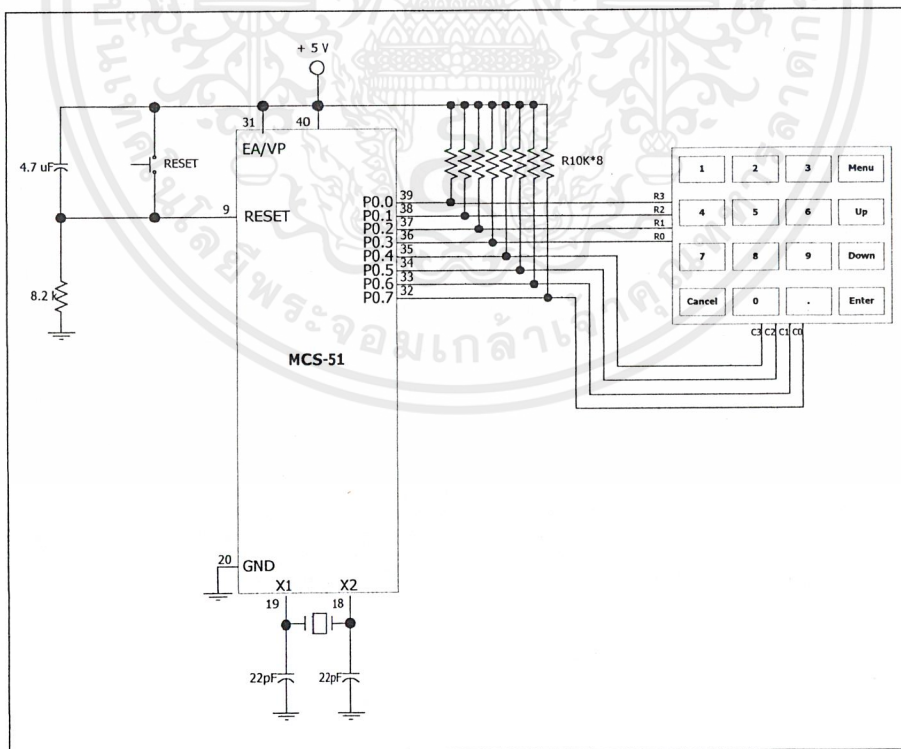
รูปที่ 5.3 การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการแสดงผล LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ส่วนการป้อนค่าผ่านคีย์ 4x4



รูปที่ 5.4 วงจรของสวิตช์แบบเมตริกซ์หรือคีย์แพด



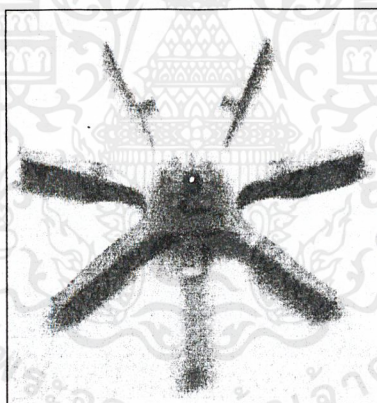
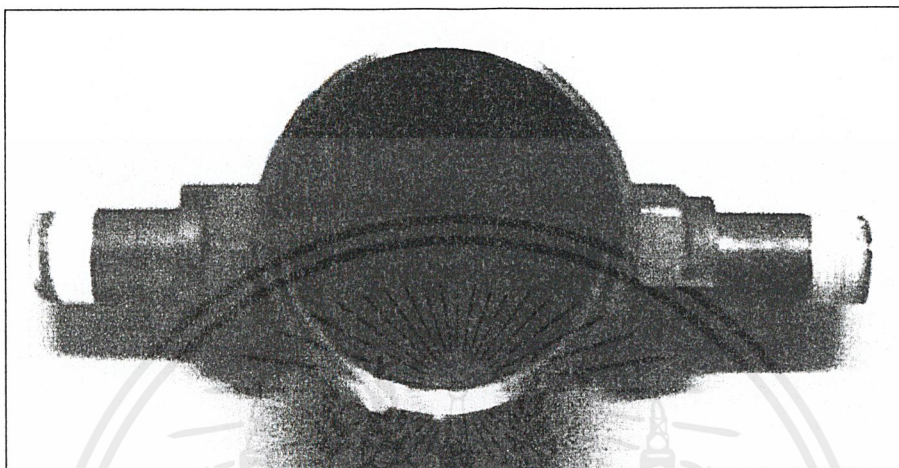
รูปที่ 5.5 แสดงการเชื่อมต่อคีย์แพดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 ชุดเซนเซอร์วัดปริมาณการไหล

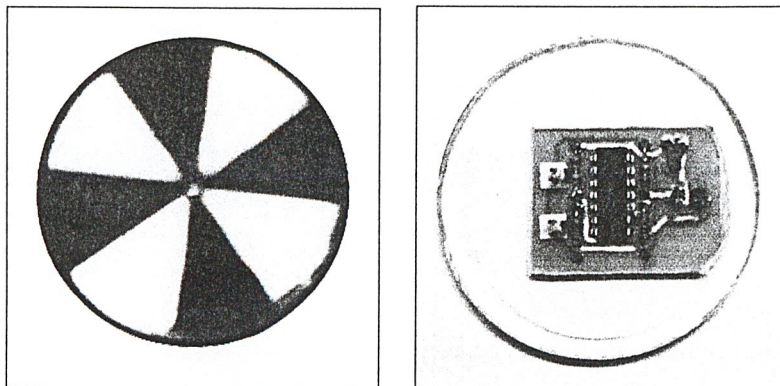
จะประกอบด้วยสองส่วนคือ

1. ชุดวัดอัตราการไหลแบบเชิงบวก(Positive displacement) เพื่อให้น้ำไหลผ่านแล้วจับแผ่นเพลทสีขาว สีดำ ให้ชุดเซนเซอร์ตรวจจับแล้วสร้างสัญญาณพัลส์ในการหมุนในแต่ละรอบจะได้สัญญาณพัลส์ออกมารอบละ 4 ลูก

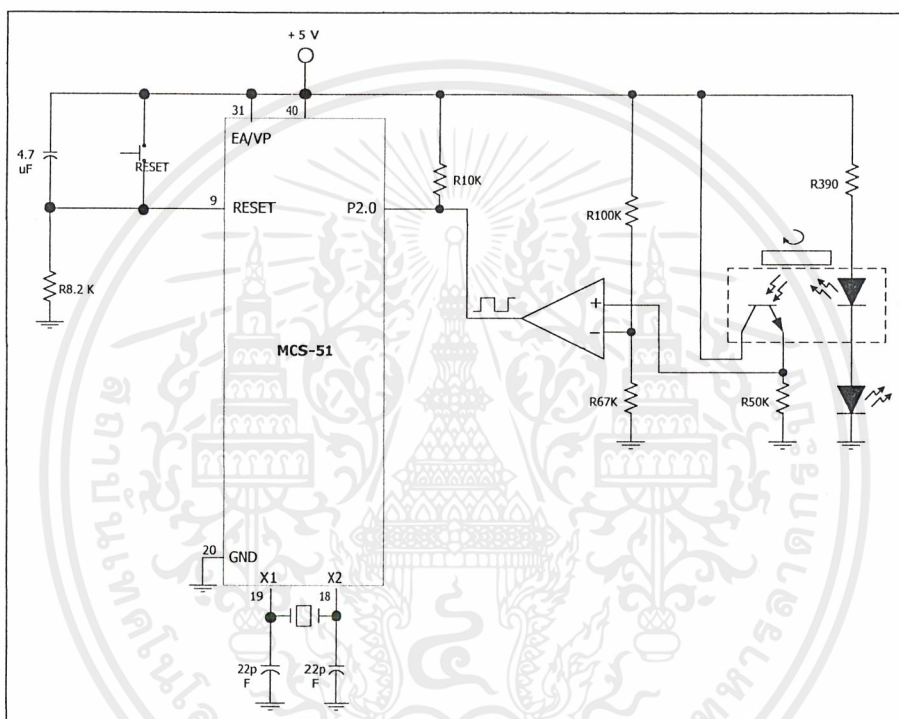


รูปที่ 5.6 แสดงภายในมิเตอร์วัดอัตราการไหล

2. ชุดวงจรเซนเซอร์ตรวจจับแสงจะทำการตรวจจับแผ่นเพลทสีขาว สีดำ เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ออกมาในการหมุนแต่ละรอบของตัววัดอัตราการไหลเชิงบวก(Positive displacement) และส่งสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน



รูปที่ 5.7 แสดงแผ่นเพลทสี่ขา สีดำ และวงจรตรวจจับแสง

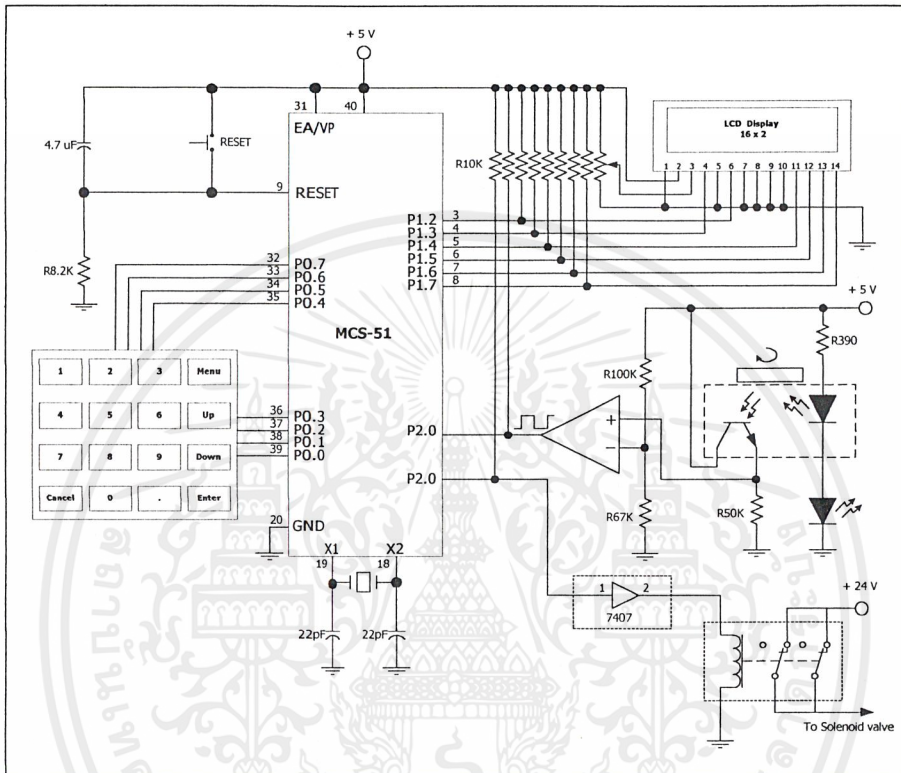


รูปที่ 5.8 แสดงแผ่นเพลทสี่ขา สีดำ และวงจรตรวจจับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

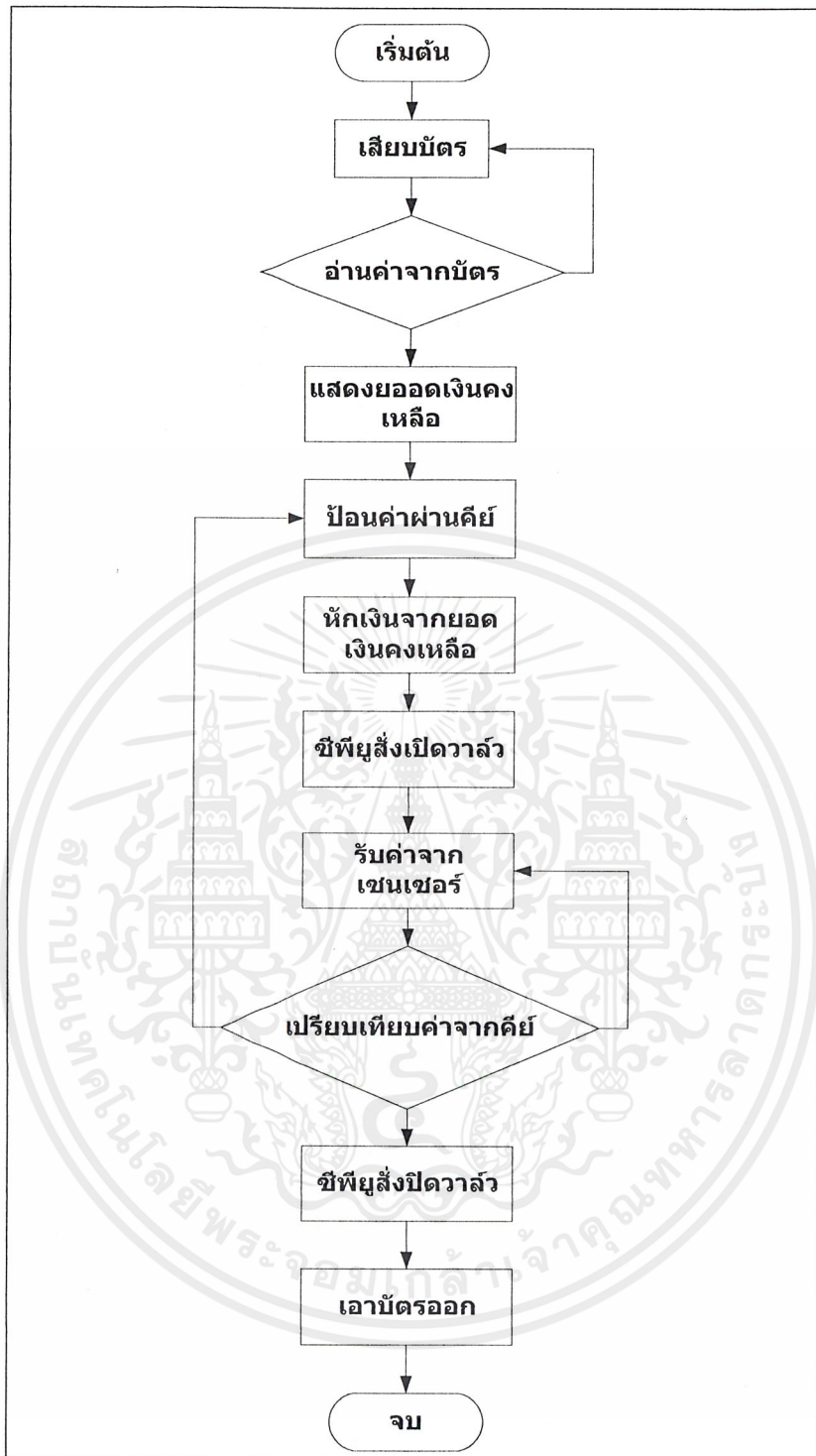
## 5.5 ชุดขับโซลินอยด์วาล์ว

ชุดนี้จะเป็นตัวป้อนค่าจำนวนลิตร จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้โซลินอยด์วาล์วเปิด เซนเซอร์จะผลิตสัญญาณพัลส์ออกมาตามรอบของการหมุนของตัววัดอัตราการไหลแบบเชิงบวก(Positive Displacement) ในแต่ละรอบจะได้พัลส์ 4 ลูก และเมื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณจากเซนเซอร์กับค่าที่ป้อน เมื่อเท่ากัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะสั่งให้โซลินอยด์วาล์วปิด



รูปที่ 5.9 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งชุดขับโซลินอยด์วาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องควบคุมการขายน้ำคิดเงินผ่านบัตรสมาร์ตการ์ด

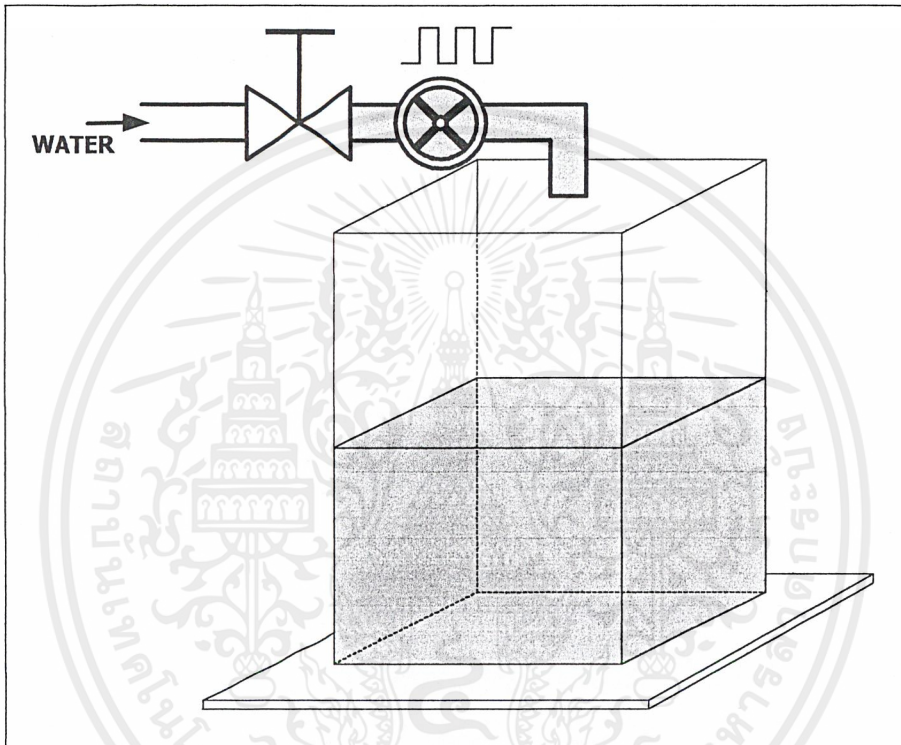
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 6.1 การหาค่าจำนวนพัลส์ในปริมาณน้ำค่าต่างๆ

เริ่มการทดลองโดยการเปิดน้ำใส่ภาชนะที่มีการคำนวณปริมาตรแล้ววัดปริมาณการไหลที่ผ่านมิเตอร์แล้วสร้างจำนวนพัลส์ออกมาตามปริมาณการไหล



รูปที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงจำนวนพัลส์ที่ปริมาตรน้ำไหลผ่าน

ทดสอบ (ครั้งที่)	ปริมาตร (ลิตร/พัลส์)							
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
1	21	46	68	98	125	150	190	218
2	20	50	78	105	130	158	191	220
3	24	51	73	103	129	159	192	221
4	22	52	81	109	130	160	193	220
5	20	50	75	98	120	155	190	219
6	24	51	75	105	135	162	189	218
7	25	52	82	120	142	170	189	217
8	23	52	79	109	130	168	188	222
9	25	51	79	109	138	165	190	220
10	28	53	78	107	136	163	189	220
11	23	54	82	107	136	168	193	220
12	23	51	83	106	136	163	191	221
13	23	51	75	106	132	161	190	222
14	23	49	72	103	130	160	189	218
15	23	49	79	109	135	160	189	217
16	23	52	82	106	135	165	190	219
17	25	56	82	109	138	164	191	222
18	22	49	76	103	130	159	192	221
19	22	49	76	103	129	160	192	219
20	23	50	76	104	130	160	189	220
21	23	51	76	105	131	159	188	222
22	22	49	76	105	130	159	189	219
23	21	51	73	105	135	159	189	216
24	21	49	75	103	129	160	193	213
25	23	53	80	106	135	162	189	222
26	24	59	79	104	128	155	188	215
27	22	55	81	105	138	162	190	221
28	25	55	83	109	135	162	190	218
29	23	49	70	107	136	161	192	219
30	23	49	79	109	134	162	191	215

### สรุปผลการทดลองที่ 6.1

จากตารางบันทึกผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าที่ปริมาตรน้ำ 1 ลิตร เราสามารถใช้จำนวนพัลส์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมที่ 50 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 การทดลองคีย์ค่าจำนวนพัลส์ที่ได้จากการทดลองที่ 6.1

### 6.2.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมที่อ่านค่าจากคีย์เป็นจำนวนพัลส์
2. คีย์ค่าจำนวนพัลส์ 50 พัลส์
3. วัดปริมาตรน้ำที่ได้ใน 10 ครั้ง

ตารางที่ 6.2 บันทึกผลการทดลองการคีย์ค่าจำนวนพัลส์

จำนวนพัลส์	ปริมาตรที่วัดได้(ลิตร) จากการทดลองครั้งที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	0.50	0.50	0.52	0.51	0.54	0.53	0.53	0.50	0.50	0.51
50	1.02	1.01	1.00	1.03	1.02	1.05	1.02	1.05	1.02	1.00
75	1.51	1.55	1.53	1.54	1.52	1.51	1.50	1.53	1.55	1.50
100	2.02	2.02	2.03	2.00	2.01	2.05	2.01	2.03	2.02	2.01

## 6.3 การทดลองคีย์จำนวนลิตร

### 6.3.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมที่อ่านค่าจากคีย์เป็นจำนวนลิตร
2. คีย์ค่าจำนวนลิตรในค่าต่าง ๆ
3. วัดปริมาตรน้ำที่ได้ใน 10 ครั้ง

ตารางที่ 6.3 แสดงผลการทดลองการคีย์ค่าจำนวนลิตร

จำนวนลิตร	ปริมาตรที่วัดได้(ลิตร) จากการทดลองครั้งที่									
	1	Error	2	Error	3	Error	4	Error	5	Error
0.2	0.25	0.05	0.24	0.04	0.24	0.04	0.25	0.05	0.24	0.04
0.4	0.43	0.03	0.43	0.03	0.44	0.04	0.43	0.03	0.43	0.03
0.5	0.52	0.02	0.55	0.05	0.53	0.03	0.54	0.04	0.55	0.05
0.6	0.62	0.02	0.64	0.04	0.63	0.03	0.64	0.04	0.65	0.05
0.8	0.85	0.05	0.83	0.03	0.85	0.05	0.85	0.05	0.84	0.04
1.0	1.04	0.04	1.05	0.05	1.05	0.05	1.04	0.04	1.05	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.4 การทดลองการหักค่าเงินจากบัตร

### 6.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมที่อ่านค่าจากคีย์เป็นจำนวนลิตรรวมทั้งการหักเงินจากบัตร
2. คีย์ค่าจำนวนลิตรในค่าต่าง ๆ
3. ดูยอดเงินคงเหลือจากยอดเงินที่ถูกหัก

ตารางที่ 6.4 แสดงผลการทดลองการหักเงินจากบัตร

ปริมาณ (ลิตร)	ยอดเงินคงเหลือหักจากค่าบริการต่อลิตร(เริ่มต้นที่ 300 บาท) อัตราค่าบริการต่อลิตร(สตางค์)							
	25	Error	50	Error	75	Error	100	Error
0.50	299.88	0.005	299.75	0.00	299.63	0.005	299.50	0.00
0.60	299.73	0.00	299.45	0.00	299.18	0.00	298.90	0.00
1.00	299.48	0.00	298.95	0.00	298.43	0.00	297.90	0.00
1.50	299.11	0.005	298.20	0.00	297.31	0.005	296.40	0.00
5.00	297.86	0.00	295.70	0.00	293.56	0.00	291.40	0.00
20.00	292.86	0.00	285.70	0.00	278.56	0.00	271.40	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในโครงการปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้ พอลจะสรุปผลการทำงานต่าง ๆ ที่ได้รับและปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำโครงการปริญญาณิพนธ์และ แนวทางแก้ไขและ ข้อเสนอแนะ เพื่อที่จะได้นำโครงการปริญญาณิพนธ์นี้ไปปรับปรุงแก้ไขเพื่อพัฒนาในโอกาสต่อไป

#### 7.1 สรุปผลการทำโครงการปริญญาณิพนธ์

จากการทำงานโดยรวมของเครื่องขายน้ำคิดเงินผ่านบัตรสมาร์ตการ์ด พบว่า การทำงานของเครื่องสามารถขายน้ำได้ตรงตามค่าที่ป้อนไปโดยมีค่าความผิดพลาดสูงสุดประมาณ +5 เปอร์เซ็นต์ในการเติมน้ำแต่ละครั้ง ส่วนในชุดของการหักเงินจากตัวบัตรสมาร์ตการ์ด นั้นสามารถหักเงินได้เป็นสตางค์หรือทศนิยมสองตำแหน่ง โดยมีความคลาดเคลื่อนคือ หากการชื้อน้ำในครั้งนั้น ๆ มีการหักเงินเป็นทศนิยมสามตำแหน่งเครื่องจะทำการปิดค่าทศนิยมตำแหน่งที่สามขึ้นไปหนึ่งค่าถ้าค่านั้นเกิน 0.005 และเมื่อจำนวนเงินในบัตรหมดหรือไม่เพียงพอในการเติมน้ำก็จะมีกรเตือนที่หน้าจอ การทดลองโดยรวมของทุกระบบ พบว่าสามารถใช้งาน ได้ผลดีตามวัตถุประสงค์

ผลของการดำเนินงานจัดทำนั้น จะได้เครื่องควบคุมการขายน้ำคิดเงินผ่านบัตรสมาร์ตการ์ด ที่มีคุณสมบัติและการทำงานตรงตามขอบเขตที่กำหนดไว้ทุกข้อ อนึ่งโครงการปริญญาณิพนธ์นี้สามารถที่จะนำไปเป็นต้นแบบในการให้ความรู้เกี่ยวกับการขายสินค้าอัตโนมัติชนิดอื่น โดยหักเงินผ่านบัตรสมาร์ตการ์ดได้

#### 7.2 ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มเครื่องกรองน้ำ และเครื่องทำน้ำดื่ม โอโซน เพื่อให้ น้ำที่ขายสามารถ ดื่มได้
2. เพิ่มเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อให้ผู้ชื้อได้ดื่มน้ำที่สดชื่น และชื่นใจ
3. จากโครงการชุดนี้โซลินอยด์ที่ใช้เป็นแบบปกติเปิดคั้งนั้นเมื่อเกิดไฟฟ้าดับจะทำให้ น้ำไหลตลอดเวลาจึงควรเปลี่ยนเป็นแบบปกติปิด
4. อัตราการไหลของน้ำประปาที่ใช้ในการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการใช้ไหลดเพิ่มขึ้น จึงควรมีการควบคุมอัตราการไหลให้คงที่เช่นการปิดตั้งปั้มหรือมีที่เก็บน้ำไว้



**ภาคผนวก**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Features

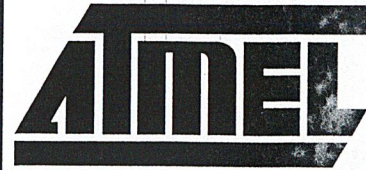
- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K Bytes of In-System Reprogrammable Downloadable Flash Memory
  - SPI Serial Interface for Program Downloading
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2K Bytes EEPROM
  - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
- 4.0V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-Level Program Memory Lock
- 256 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Nine Interrupt Sources
- Programmable UART Serial Channel
- SPI Serial Interface
- Low Power Idle and Power Down Modes
- Interrupt Recovery From Power Down
- Programmable Watchdog Timer
- Dual Data Pointer
- Power Off Flag

## Description

The AT89S8252 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K bytes of Downloadable Flash programmable and erasable read only memory and 2K bytes of EEPROM. The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard 80C51 instruction set and pinout. The on-chip Downloadable Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface or by a conventional non-volatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Downloadable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S8252 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The AT89S8252 provides the following standard features: 8K bytes of Downloadable Flash, 2K bytes of EEPROM, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, programmable watchdog timer, two Data Pointers, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89S8252 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset.

The Downloadable Flash can be changed a single byte at a time and is accessible through the SPI serial interface. Holding RESET active forces the SPI bus into a serial programming interface and allows the program memory to be written to or read from unless Lock Bit 2 has been activated.



## 8-Bit Microcontroller with 8K Bytes Flash

**AT89S8252**

0401D-A-12/97



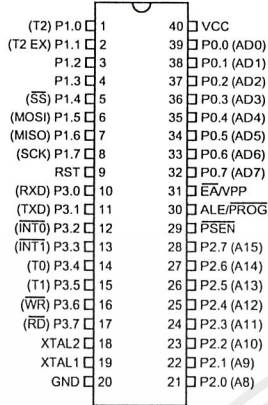
4-105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

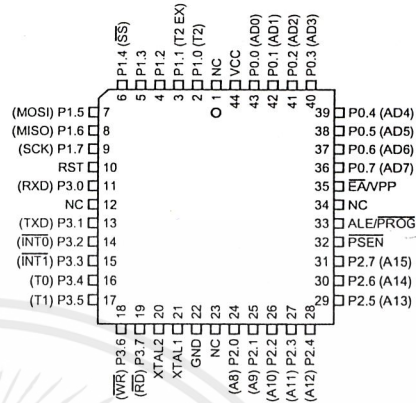


## Pin Configurations

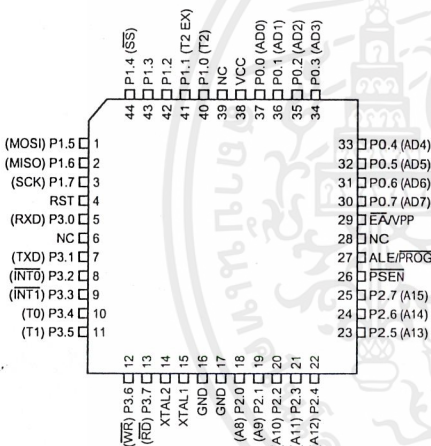
PDIP



PLCC



PQFP/TQFP



## Pin Description

**V<sub>CC</sub>**  
Supply voltage.

**GND**  
Ground.

**Port 0**  
Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

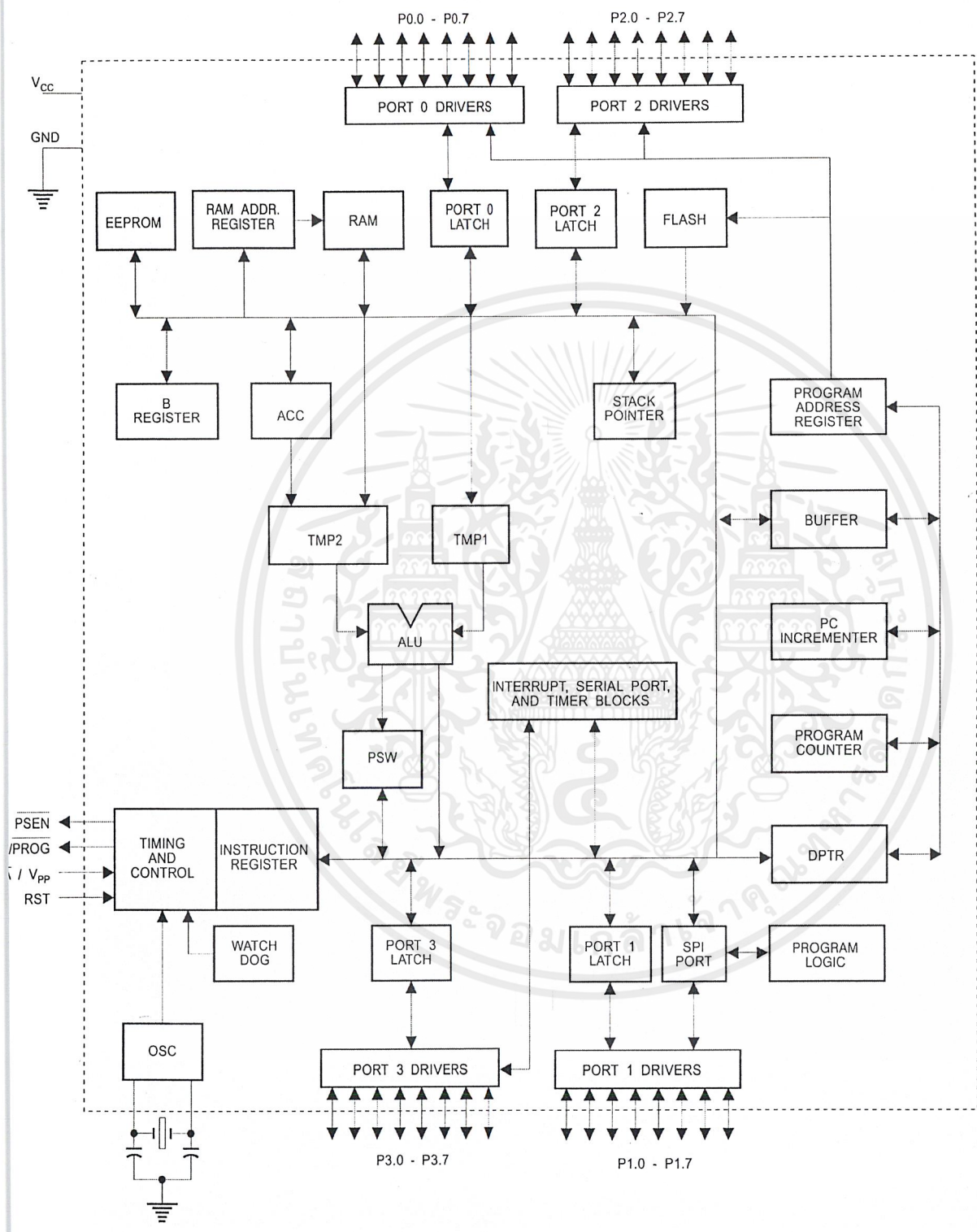
Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

**Port 1**  
Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

Some Port 1 pins provide additional functions. P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively.

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Features

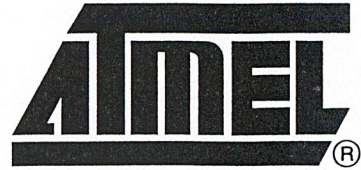
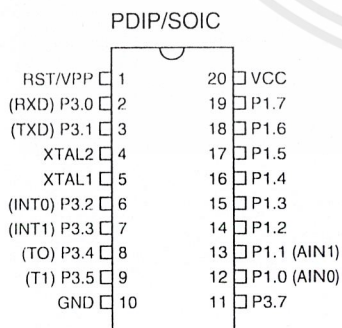
- Compatible with MCS-51™ Products
- 4K Bytes of Reprogrammable Flash Memory
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 3.0V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Two-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 15 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial UART Channel
- Direct LED Drive Outputs
- On-chip Analog Comparator
- Low-power Idle and Power-down Modes
- Brown-out Detection

## Description

The AT89C4051 is a low-voltage, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C4051 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89C4051 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 15 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, a precision analog comparator, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C4051 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software-selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

## Pin Configuration



## 8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash

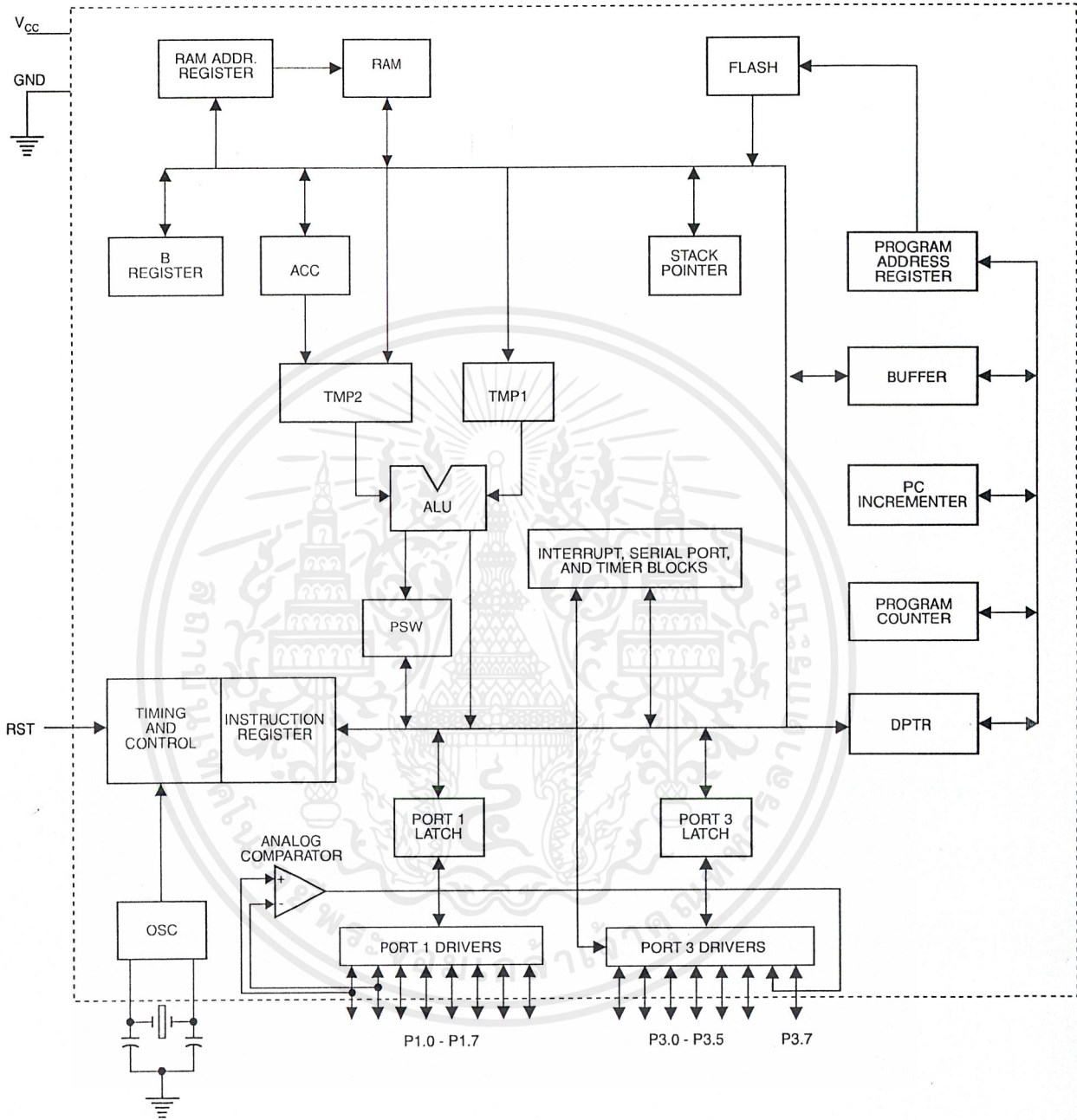
## AT89C4051

Rev. 1001C-02/00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Block Diagram



## ICs for Chip Cards

**SLE 4432/42**

Intelligent 256-Byte EEPROM

**SLE 4440**

Intelligent 64-Byte EEPROM

**SLE 4441**

Intelligent 128-Byte EEPROM

Data Sheet 09.98  
Extension

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>SLE 4432/40/41/42 Data Sheet Extension</b>	
<b>Revision History: Original Version 09.98</b>	
Previous Releases:	
Page	Subjects (changes since last revision)

**Important:** For further information please contact:  
Siemens Semiconductor Group in Munich, Germany,  
Security & Chip Card ICs,  
Fax +49 89 636-22360

The supply of this component does not include a license for its use in smart card applications. This license is due to INNOVATRON Patents  
137 Boulevard de Sébastopol, 75002 Paris, France, Fax +33 1 4013 3909

**Published by Siemens AG, Bereich Halbleiter, HL CC Applications Group  
Balanstr. 73, D-81541 München**

© Siemens AG 1998. All Rights Reserved.

**Attention please!**

As far as patents or other rights of third parties are concerned, liability is only assumed for components, not for applications, processes and circuits implemented within components or assemblies.

The information describes the type of component and shall not be considered as assured characteristics.

Terms of delivery and rights to change design reserved.

For questions on technology, delivery, and prices please contact the Semiconductor Group Offices in Germany or the Siemens Companies and Representatives world-wide (see address list).

Due to technical requirements components may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact your nearest Siemens Office, Semiconductor Group.

Siemens AG is an approved CECC manufacturer.

**Packing**

Please use the recycling operators known to you. We can also help you – get in touch with your nearest sales office. By agreement we will take packing material back, if it is sorted. You must bear the costs of transport.

For packing material that is returned to us unsorted or which we are not obliged to accept, we shall have to invoice you for any costs incurred.

**Components used in life-support devices or systems must be expressly authorized for such purpose!**

Critical components<sup>1)</sup> of the Semiconductor Group of Siemens AG, may only be used in life-support devices or systems<sup>2)</sup> with the express written approval of the Semiconductor Group of Siemens AG.

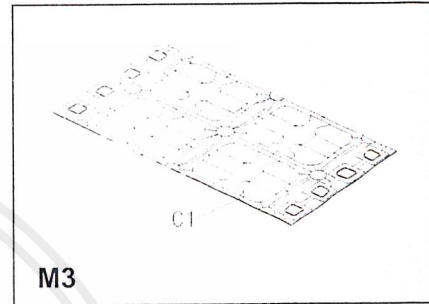
- 1) A critical component is a component used in a life-support device or system whose failure can reasonably be expected to cause the failure of that life-support device or system, or to affect its safety or effectiveness of that device or system.
- 2) Life support devices or systems are intended (a) to be implanted in the human body, or (b) to support and/or maintain and sustain human life. If they fail, it is reasonable to assume that the health of the user may be endangered.

**Intelligent 256-Byte EEPROM with Write Protect Function** **SLE 4432**

**Intelligent 256-Byte EEPROM with Write Protect Function and Programmable Security Code (PSC)** **SLE 4442**

## Features

- 256 x 8-bit EEPROM organization
- Byte-wise addressing
- Irreversible byte-wise protection of lowest 32 addresses (Byte 0...31)
- 32 x 1-bit organization of protection memory
- Two-wire link protocol
- End of processing indicated at data output
- Ambient temperature  $T_A$  -35... +80°C
- Supply voltage 5 V - 5 / +10 %
- Supply current < 10 mA
- EEPROM programming time 5 ms
- ESD protection typical 4000 V
- Endurance minimum  $10^5$  write/erase cycles / bit<sup>1)</sup>
- Data retention for minimum of 10 years<sup>1)</sup>
- Contact configuration and Answer-to-Reset (synchronous transmission) in accordance to ISO standard 7816



## Additional Feature of SLE 4442

- Data can only be changed after entry of the correct 3-byte programmable security code

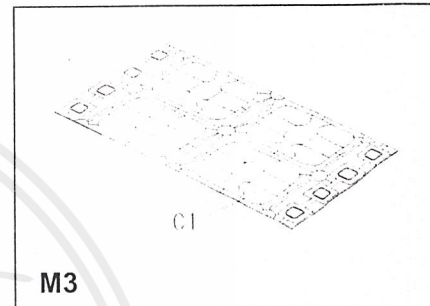
Type	Ordering Code	Package
SLE 4432 M3	on request	Wire-Bonded Module M3
SLE 4432 C	on request	Chip
SLE 4442 M3	on request	Wire-Bonded Module M3
SLE 4442 C	on request	Chip

<sup>1)</sup> Values are temperature dependent, for further information please refer to your Siemens Sales Office.

**Intelligent 64-Byte EEPROM with Write Protect Function and Programmable Security Code (PSC)** **SLE 4440**

**Intelligent 128-Byte EEPROM with Write Protect Function and Programmable Security Code (PSC)** **SLE 4441**

- 64 x 8-bit EEPROM organization (SLE 4440)
- 128 x 8-bit EEPROM organization (SLE 4441)
- Byte-wise addressing
- Irreversible byte-wise protection of lowest 32 addresses (Byte 0...31)
- 32 x 1-bit organization of protection memory
- Two-wire link protocol
- End of processing indicated at data output
- Ambient temperature  $T_A$  -35... +80°C
- Supply voltage 5 V -5 / +10 %
- Supply current < 10 mA
- EEPROM programming time 5 ms
- ESD protection typical 4000 V
- Endurance minimum  $10^5$  write/erase cycles / bit<sup>1)</sup>
- Data retention for minimum of 10 years<sup>1)</sup>
- Contact configuration and Answer-to-Reset (synchronous transmission) in accordance to ISO standard 7816
- Data can only be changed after entry of the correct 3-byte programmable security code



Type	Ordering Code	Package
SLE 4440 M3	on request	Wire-Bonded Module M3
SLE 4440 C	on request	Chip
SLE 4441 M3	on request	Wire-Bonded Module M3
SLE 4441 C	on request	Chip

1) Values are temperature dependent, for further information please refer to your Siemens Sales Office.

## Introduction

This document describes changes and extensions of the Data Sheet 07.95 of SLE 4432 / SLE 4442. All information of the Data Sheet 07.95 are also valid for SLE 4440 and SLE 4441 (e.g. operational information) except the data mentioned in this document.

In detail the following items are added or changed

- Memory size SLE 4440
- Memory size SLE 4441
- Ambient temperature  $T_A$   $-35^{\circ}\text{C} \dots +80^{\circ}\text{C}$
- ESD protection min. 1500 V, typical 4000 V
- Endurance minimum 100000 write/erase cycles / bit
- Package: Module M3
- Coding information

Especially the transmission protocol (2-wire) and commands are fully compatible for all chip types.

### 1. Memory Overview

The memory is organized in a **Main Memory** of

- 64 byte for SLE 4440
- 128 byte for SLE 4441
- 256 byte for SLE 4432 and SLE 4442

Each of the first 32 bytes of the Main Memory can be irreversibly protected against data change by writing the corresponding bit in the **Protection Memory** (32 bit). Dependent on the state of the protection bit the memory is read only (ROM) or may be erased and written again (EEPROM). Change of the manufacturer code is only possible by the chip manufacturer.

Change of data of the Main Memory and write a bit of the Protection Memory is only possible after a correct verification of the **Programmable Security Code (PSC)** for SLE 4440, SLE 4441 and SLE 4442.

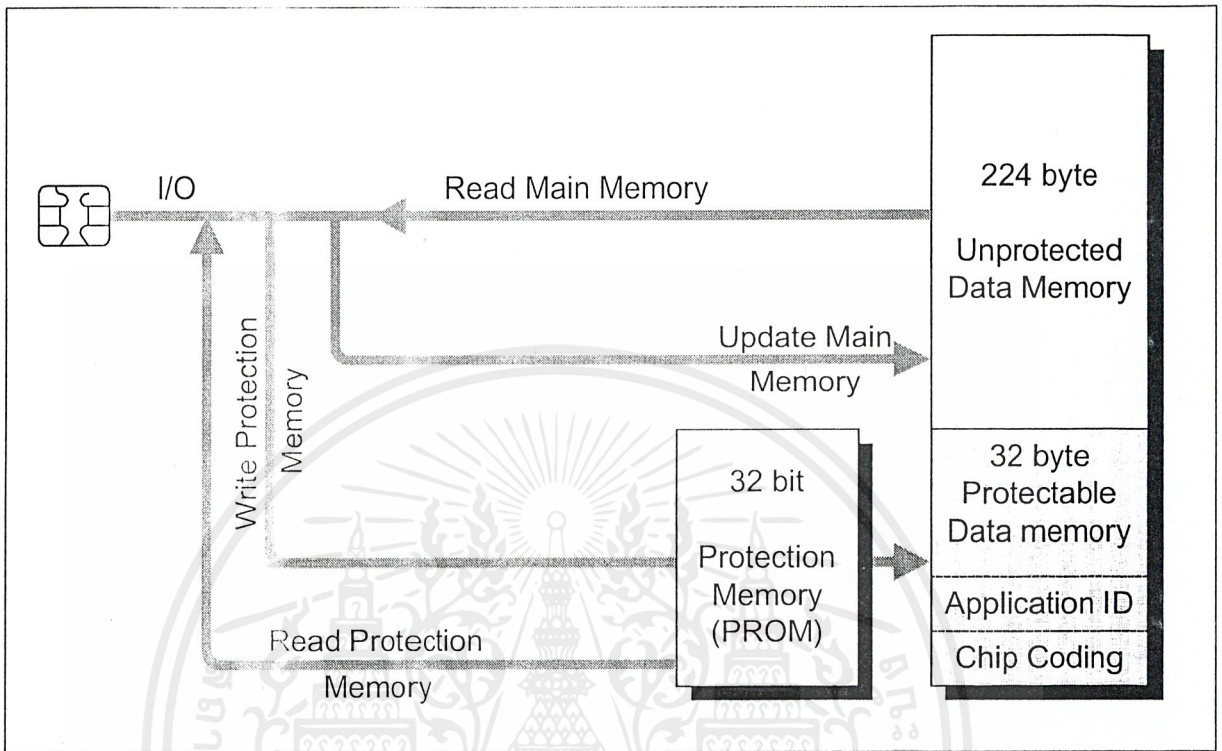


Figure 1 Memory Overview SLE 4432

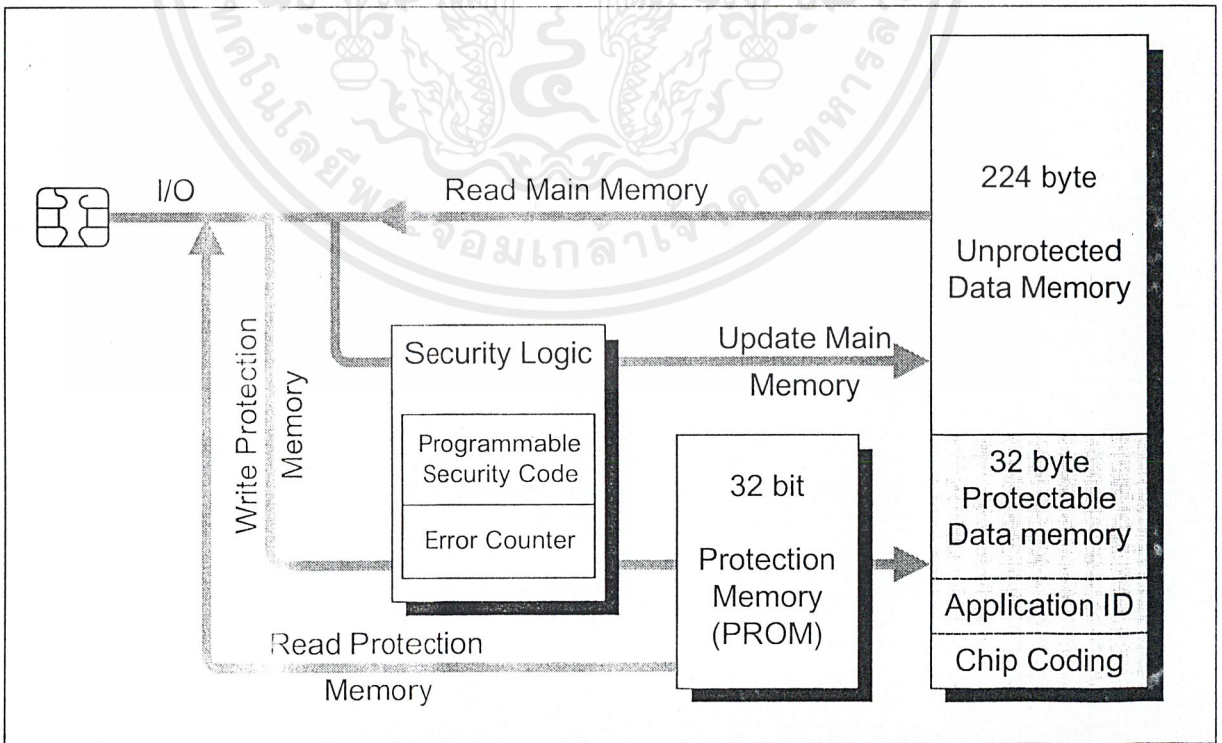


Figure 2 Memory Overview SLE 4442

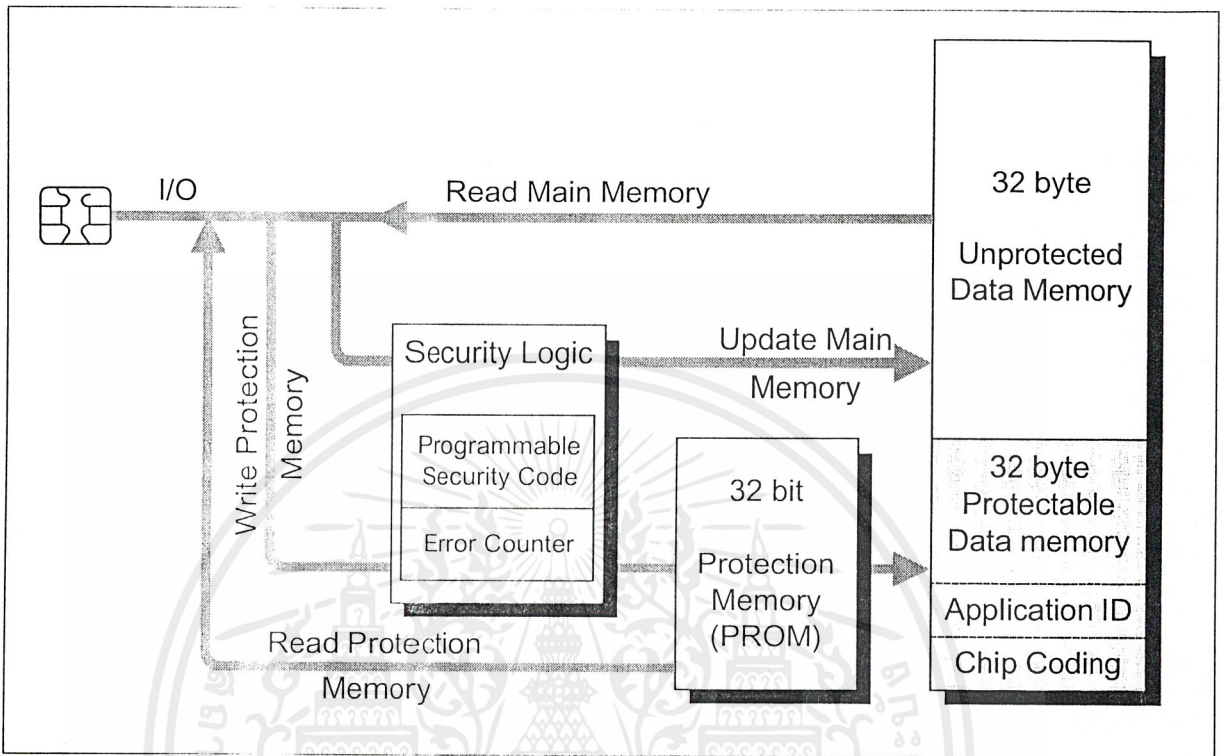


Figure 3 Memory Overview SLE 4440

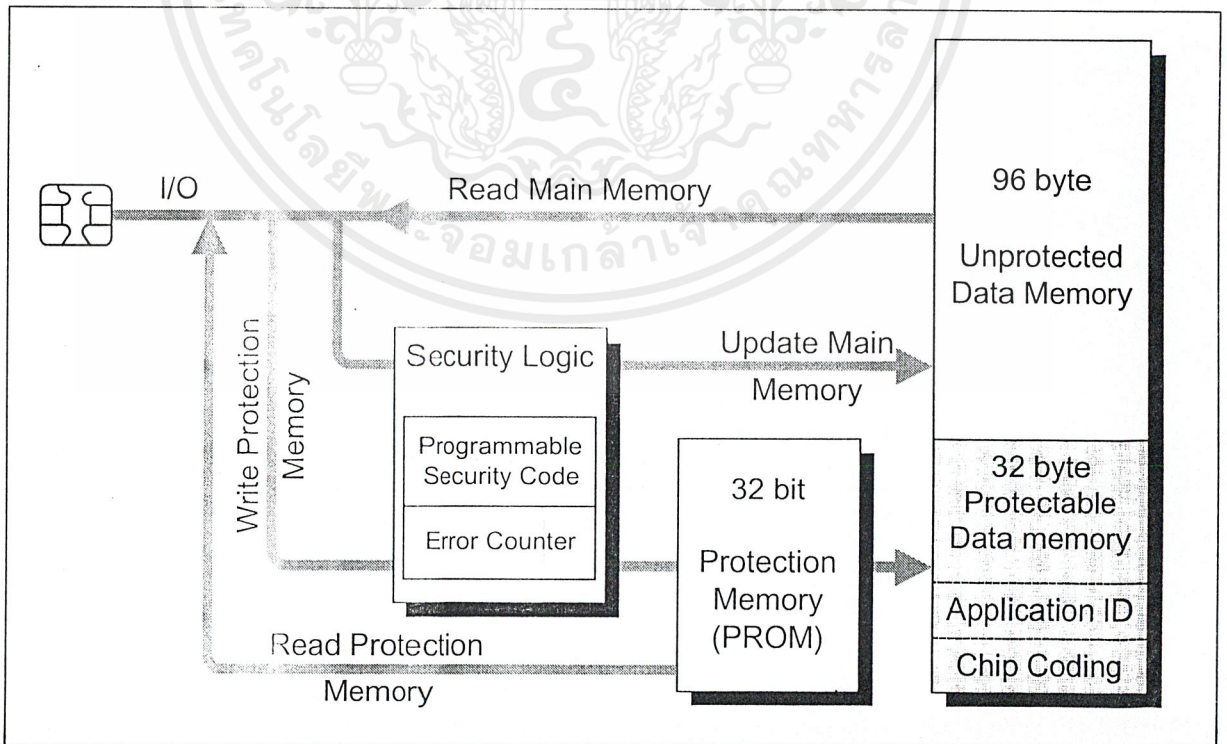


Figure 4 Memory Overview SLE 4441

**2. Coding**

SLE 4432, SLE 4442, SLE 4440 and SLE 4441 are delivered with a customer related unique code in order to allow an unambiguous identification of the application. Thus a terminal can clearly accept or reject a card after reading the Answer-to-Reset and the identification data. The Answer-to-Reset (ATR) for synchronous IC cards according to ISO/IEC 7816 is a standardized procedure allowing to identify an IC card (ICC) supporting the synchronous Answer-to-Reset. The Answer-to-Reset data allow an interface device to select the appropriate chip type and operate the ICC according to the data sheet of the chip.

Two different coding schemes apply

- Extended coding using encoded BER-TLV data objects according to ISO/IEC 7816-4
- 16-bit manufacturer code registered at Pro Electron

Both schemes identify the application by the registered application provider identifier RID according to ISO/IEC 7816-5

**2.1. Registered Application Provider Identifier RID**

The application is generally identified by the customer specific 5-byte registered application provider identifier RID according to ISO/IEC 7816-5 using the registration category values 'A' and 'D'. The RID is a part of the AID. Thus the AID is constructed as following:

Application identifier <b>AID</b>	
Registered application provider identifier <b>RID (5 byte)</b>	Proprietary application provider identifier extension <b>PIX (≤11 byte)</b>

- Registered application provider identifier RID  
Customer specific RID provided by the registration authority to the applicant

RID	Meaning	Comment
'A x xx xx xx xx'	International registration	RID is registered by Tele Denmark
'D c cc xx xx xx'	National registration	RID is registered by a national authority
'c cc'	Country indicator	Country code according to ISO 3166
'xx xx xx'	Application provider sequence no.	Provided by national registration authority

- Proprietary application provider identifier extension PIX  
Extension for the RID holder in order to diversify own applications

Application forms for a RID are printed in the Annex A of ISO/IEC 7816-5.

- For international registration one has to apply at the acting registration authority Tele Denmark for a RID indicated by 'A'. The contact address is printed in ISO/IEC 7816-5
- For national registration one has to apply at the relevant national standardization body or its acting registration authority for a RID indicated by 'D' followed by the country code

The RID is provided by the customer to Siemens.

2.2. Extended Coding Scheme

Due to the available memory space the coding principle according to ISO/IEC 7816-4 applies for SLE 4432, SLE 4442, SLE 4440 and SLE 4441. Data are coded according to the ASN 1 data objects basic encoding rules using the structure Tag - Length - Value (BER TLV).

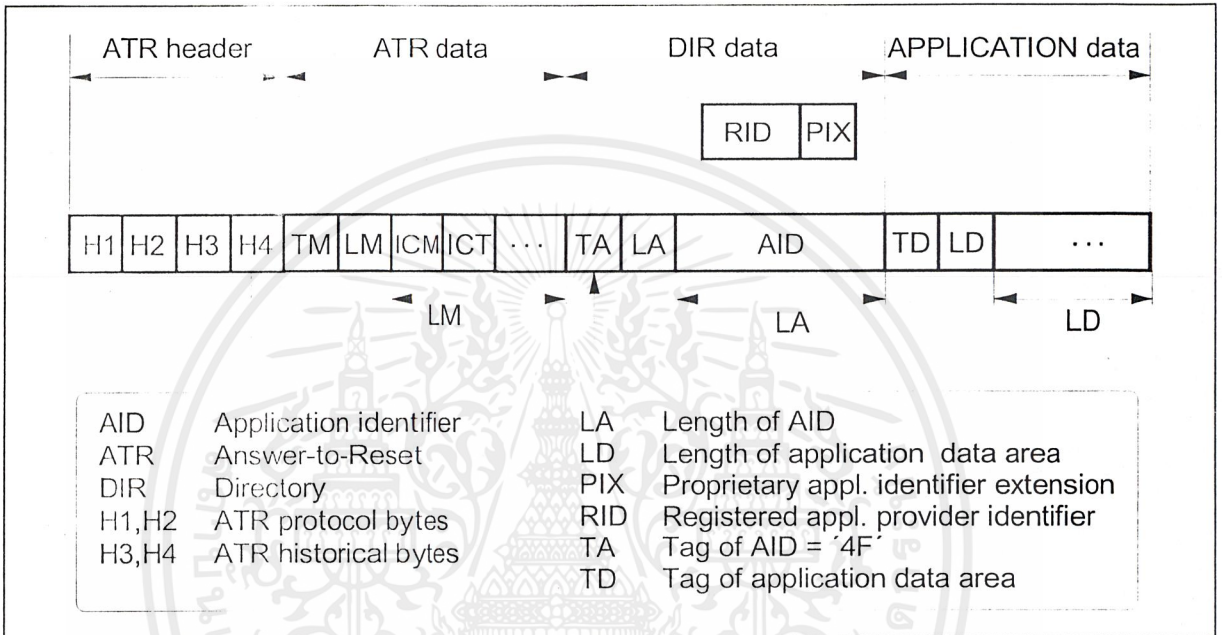
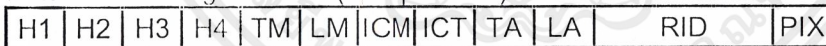


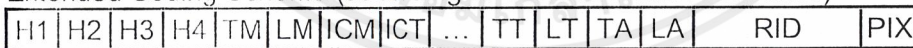
Figure 5 Structure of a Mono- Application Memory IC Card with a simple DIR-Structure

Two coding principles apply

- Extended Coding Scheme (Compressed)



- Extended Coding Scheme (according to German Health Insurance)



The byte definition is explained in the following:

ATR header

- Byte H1: Protocol type = 'A2' indicating two-wire link protocol
- Byte H2: Protocol parameter
- Byte H3: Historical byte "Category Indicator" = '10' indicating that the following byte H4 will be a DIR data reference
- Byte H4: Historical byte "DIR data reference" = a pointer (byte address) to the first byte of the directory section (i.e. TA for Extended Coding Scheme - Compressed or TT for Extended Coding Scheme - according to German Health Insurance)

### ATR data section

Byte TM: Tag manufacturing data object ('pre-issuing data') = '46'

Byte LM: Length of manufacturing data

Byte ICM: IC manufacturer = '05'. For existing applications ICM = '81' is still available

Byte ICT: IC Type

### DIR data section

The DIR data section contains according to ISO/IEC 7816-5 data objects for application selection. The following variants are possible:

- The IC card is a mono application card and only the data object 'application identifier' (tag TA = '4F') is present in the DIR data section. → Extended Coding Scheme (Compressed)
- The IC card is a mono application card with the data object 'application template' (tag TT = '61') in the DIR data section. The application template can contain along with the application identifier (tag TA = '4F') further data objects (e.g. application label - tag '50' or discretionary data - tag '53'). → Extended Coding Scheme (according to German Health Insurance)

**Note:** Bytes H1, H2, H3, H4, ICM, ICT and the customer specific RID are programmed by Siemens and protected against further changes.

## 2.3. 16-bit Coding Scheme

For applications requiring only a unique coding the following construction applies

2 byte	1 byte	5 byte
Manufacturer Code	Manufacturer data	Registered application provider identifier RID

- Manufacturer Code registered at Pro Electron  
16-bit code provided by Siemens, fix for SLE 4432, SLE 4442, SLE 4440 and SLE 4441
- Manufacturer data  
Differentiation of chip types SLE 4432, SLE 4442, SLE 4440 and SLE 4441
- Registered application provider identifier RID  
Customer specific RID provided by the registration authority to the applicant

**Note:** The above mentioned 8 bytes are programmed by Siemens and protected against further changes.

## 2.4. Codes Overview

SLE 4432, SLE 4442, SLE 4440 and SLE 4441 are available with the coding schemes. Please note that according to ISO/IEC 7816-6 Amendment 1 **ICM = '05'** for new implementations. For existing applications ICM = '81' is still available. It is recommended that terminals accept both IC manufacturer codes.

Address	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	14	15	(dec)
Address	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	...	E	F	(hex)
Meaning	H1	H2	H3	H4	TM	LM	ICM	ICT	TA	LA	RID		PIX		
Data	A2	13	10	88	46	02	05	05	4F				RID		SLE 4432
Data	A2	13	10	88	46	02	05	15	4F				RID		SLE 4442
Data	A2	03	10	88	46	02	05	17	4F				RID		SLE 4440
Data	A2	0B	10	88	46	02	05	16	4F				RID		SLE 4441

**Figure 6** Extended Coding Scheme (compressed)

Address	0	1	2	3	4	5	6	7	...	17	18	19	20	21	...	25	26	(dec)
Address	0	1	2	3	4	5	6	7	...	11	12	13	14	15	...	19	1A	(hex)
Meaning	H1	H2	H3	H4	TM	LM	ICM	ICT		TT	LT	TA	LA	RID		PIX		
Data	A2	13	10	91			05	05							RID			SLE 4432
Data	A2	13	10	91			05	15							RID			SLE 4442
Data	A2	03	10	91			05	17							RID			SLE 4440
Data	A2	0B	10	91			05	16							RID			SLE 4441

**Figure 7** Extended Coding Scheme (according to German Health Insurance)

Address	0	1	2	3	...	7												
Meaning	Manufacturer Code			Manufacturer data			Registered application provider identifier RID											
Data	31	74	01														RID	SLE 4432
Data	31	74	02														RID	SLE 4442
Data	31	74	04														RID	SLE 4440
Data	31	74	08														RID	SLE 4441

**Figure 8** 16-bit Coding Scheme

The shaded bytes are programmed by Siemens and protected against further changes.

**3. Operational Information**

**3.1. Memory Map SLE 4440**

Address (decimal)	Main Memory	Protection Memory	Security Memory
64	Data Byte 64 (D7...D0)		
:	:		
32	Data Byte 32 (D7...D0)		
31	Data Byte 31 (D7...D0)	Protection Bit 31 (D31)	
:	:	:	
4	Data Byte 4 (D7...D0)	Protection Bit 4 (D31)	
3	Data Byte 3 (D7...D0)	Protection Bit 3 (D3)	Reference Data Byte 3 (D7...D0)
2	Data Byte 2 (D7...D0)	Protection Bit 2 (D2)	Reference Data Byte 2 (D7...D0)
1	Data Byte 1 (D7...D0)	Protection Bit 1 (D1)	Reference Data Byte 1 (D7...D0)
0	Data Byte 0 (D7...D0)	Protection Bit 0 (D0)	Error Counter

The Data bytes 0 to 31 can be protected against further changes by programming the associated protection bit 0 to 31. The SLE 4440 allows data changing only after correct verification of the Reference Data bytes. Reading of the Data bytes and of the associated protection bits is always possible.

**3.2. Memory Map SLE 4441**

Address (decimal)	Main Memory	Protection Memory	Security Memory
128	Data Byte 128 (D7...D0)		
:	:		
32	Data Byte 32 (D7...D0)		
31	Data Byte 31 (D7...D0)	Protection Bit 31 (D31)	
:	:	:	
4	Data Byte 4 (D7...D0)	Protection Bit 4 (D31)	
3	Data Byte 3 (D7...D0)	Protection Bit 3 (D3)	Reference Data Byte 3 (D7...D0)
2	Data Byte 2 (D7...D0)	Protection Bit 2 (D2)	Reference Data Byte 2 (D7...D0)
1	Data Byte 1 (D7...D0)	Protection Bit 1 (D1)	Reference Data Byte 1 (D7...D0)
0	Data Byte 0 (D7...D0)	Protection Bit 0 (D0)	Error Counter

The Data bytes 0 to 31 can be protected against further changes by programming the associated protection bit 0 to 31. The SLE 4441 allows data changing only after correct verification of the Reference Data bytes. Reading of the Data bytes and of the associated protection bits is always possible.

**4. Electrical Characteristics**

The listed characteristics are ensured over the operating range of the integrated circuit. Typical characteristics specify mean values expected over the production spread. If not otherwise specified, typical characteristics apply at  $T_A = 25^\circ\text{C}$  and the give supply voltage.

**4.1. Absolute Maximum Ratings**

Stresses above those listed may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this data sheet is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may effect device reliability, including EEPROM data retention and write/erase endurance.

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Condition
		min.	typ.	max.		
ESD protection	$V_S$	1500	4000		V	ISO/IEC 7816-1
Endurance 1) (write/erase cycles/bit)		$10^5$				—
Data retention 1)		10			years	—

1) Values are temperature dependent, for further information please refer to your Siemens Sales Office.

**4.2. Operation Range**

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Condition
		min.	typ.	max.		
Ambient temperature	$T_A$	-35		+80	$^\circ\text{C}$	—

5. Package

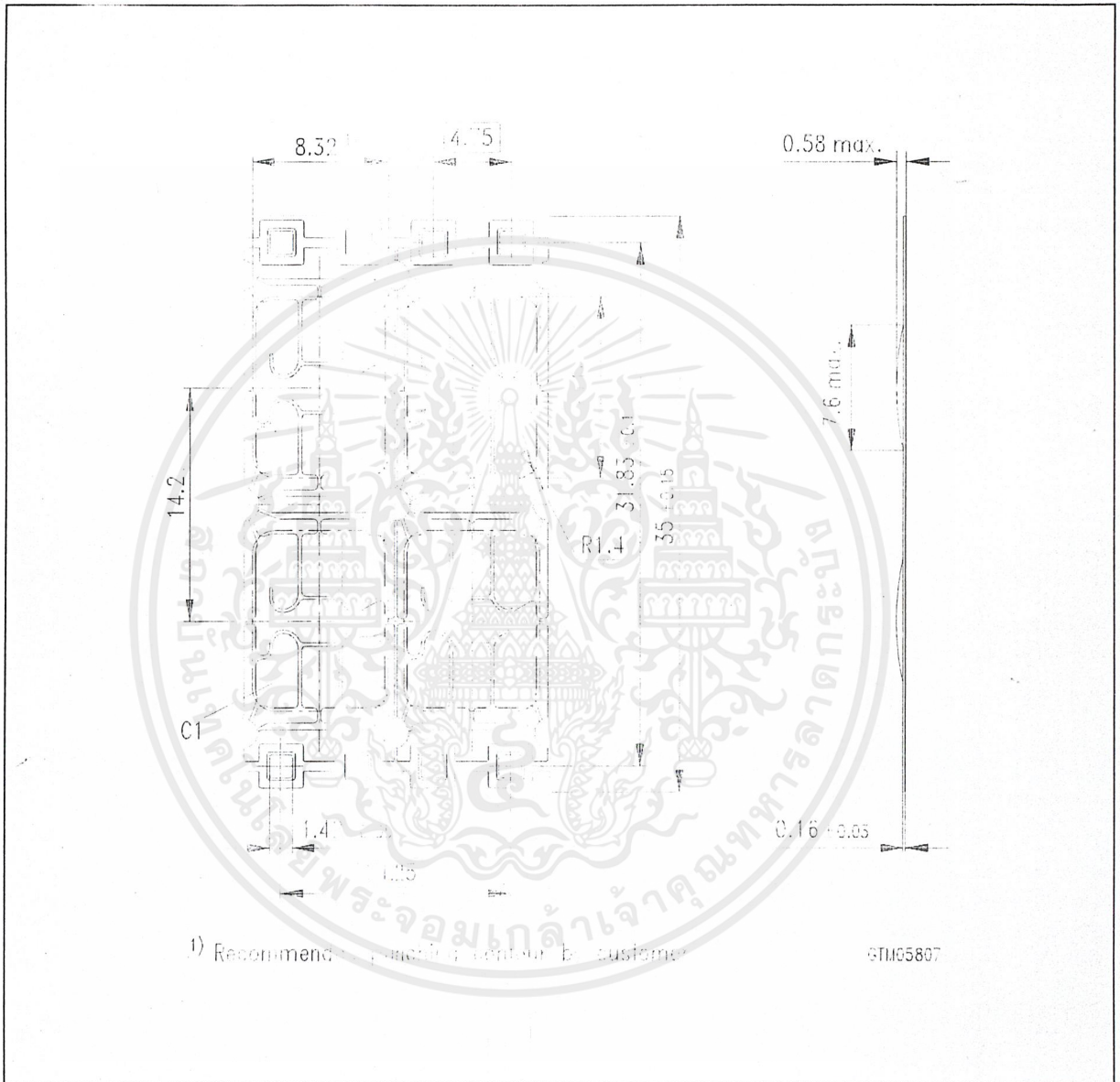


Figure 9 Package Outlines Wire-Bonded Module M3

# Reflective photosensor (photoreflector)

## RPR-359F

The RPR-359F is a reflective photosensor. The emitter is a GaAs infrared light emitting diode and the detector is a high-sensitivity, silicon planar phototransistor. A plastic lens is used for high sensitivity. In addition, since it is molded in plastic with a visible light filter, there is almost no effect from stray light.

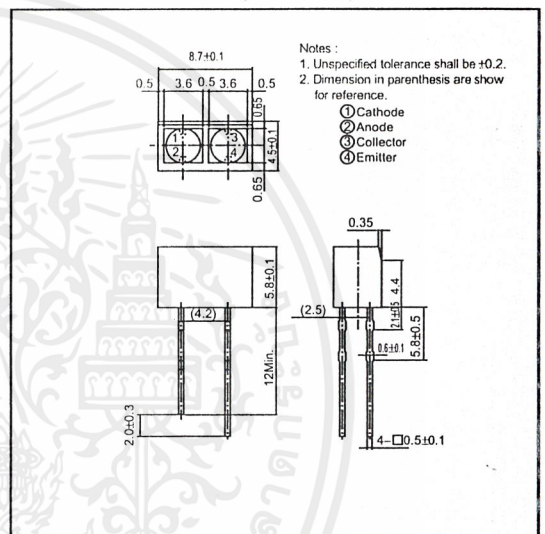
### ●Application

Copiers, Compact disc players

### ●Features

- 1) A plastic lens is used for high sensitivity.
- 2) A built-in visible light filter minimizes the influence of stray light.
- 3) Low collector-emitter saturation voltage.
- 4) Lightweight and compact.

### ●External dimensions (Units : mm)



### ●Absolute maximum ratings (Ta=25°C)

	Parameter	Symbol	Limits	Unit
Input (LED)	Forward current	$I_F$	50	mA
	Reverse voltage	$V_R$	5	V
	Power dissipation	$P_D$	80	mW
Output (Photo-transistor)	Collector-emitter voltage	$V_{CE0}$	30	V
	Emitter-collector voltage	$V_{ECO}$	4.5	V
	Collector current	$I_C$	30	mA
	Collector power dissipation	$P_C$	100	mW
Operating temperature		$T_{opr}$	-25~+85	°C
Storage temperature		$T_{stg}$	-40~+100	°C

Sensors

●Electrical and optical characteristics (Ta=25°C)

	Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
Input characteristics	Forward voltage	$V_F$	-	1.3	1.6	V	$I_F=50\text{mA}$
	Reverse current	$I_R$	-	-	10	$\mu\text{A}$	$V_R=5\text{V}$
Output characteristics	Dark current	$I_{CE0}$	-	-	0.5	$\mu\text{A}$	$V_{CE}=10\text{V}$
	Peak sensitivity wavelength	$\lambda_P$	-	800	-	nm	-
Transfer characteristics	Collector current	$I_C^*$	200	500	1800	$\mu\text{A}$	$V_{CC}=5\text{V}$ , $I_F=20\text{mA}$ , $R_L=100\Omega$ , $d=3.5\text{mm}$
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	-	0.1	0.3	V	$I_F=20\text{mA}$ , $I_C=100\mu\text{A}$
	Response time	$t_r-t_f$	-	10	-	$\mu\text{s}$	$V_{CC}=10\text{V}$ , $I_F=20\text{mA}$ , $R_L=100\Omega$

● Standard paper (90% reflection)

●Electrical and optical characteristic curves

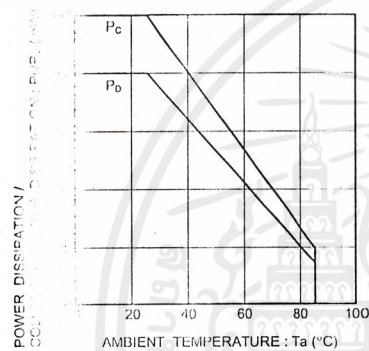


Fig.1 Power dissipation / collector power vs. ambient temperature

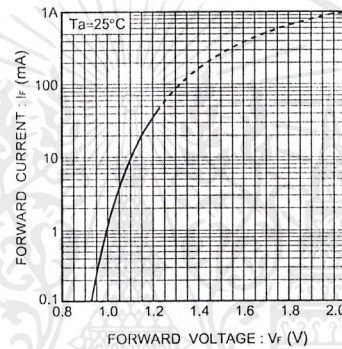


Fig.2 Forward current vs. forward voltage

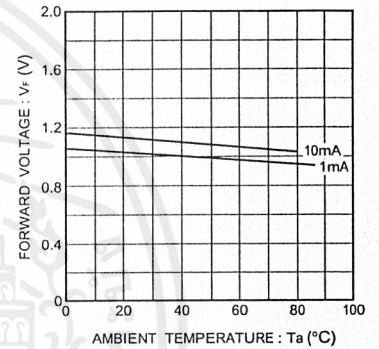


Fig.3 Forward voltage vs. ambient temperature

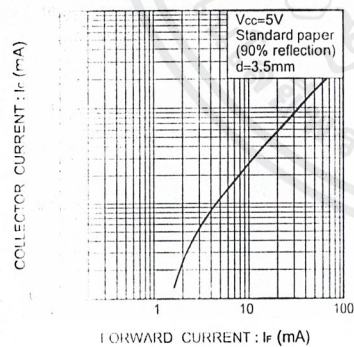


Fig.4 Collector current vs. forward current

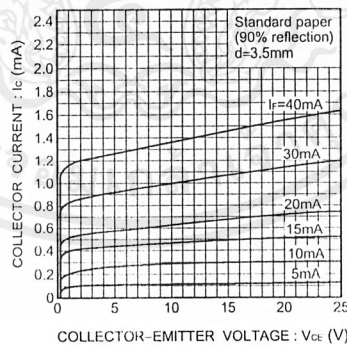


Fig.5 Output characteristics

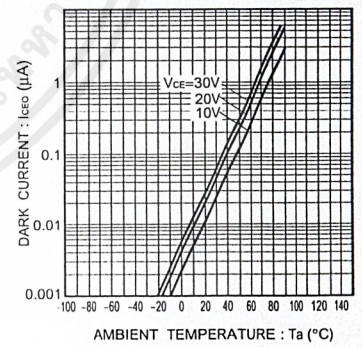


Fig.6 Dark current vs. ambient temperature

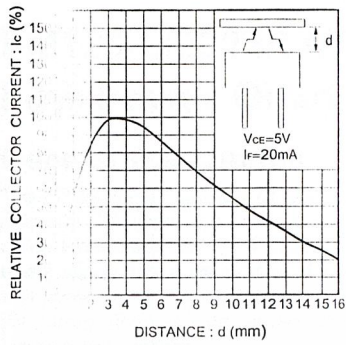


Fig.7 Relative output vs. distance

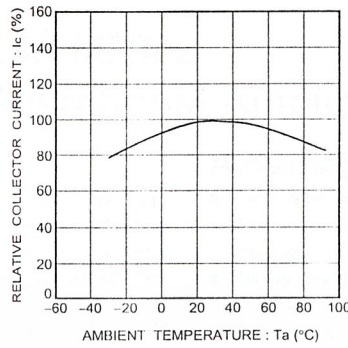


Fig.8 Relative output vs. ambient temperature

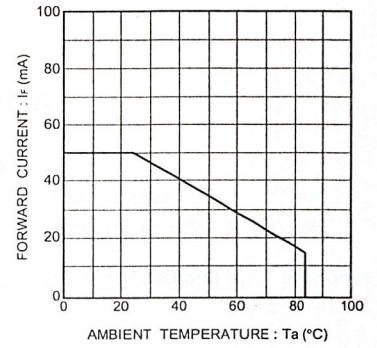
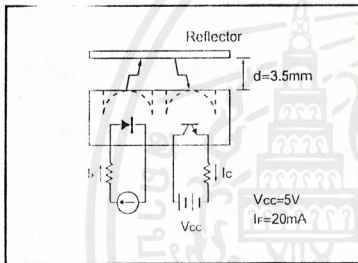


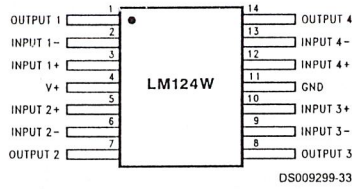
Fig.9 Forward current vs. ambient temperature

● Circuit for testing transfer characteristics



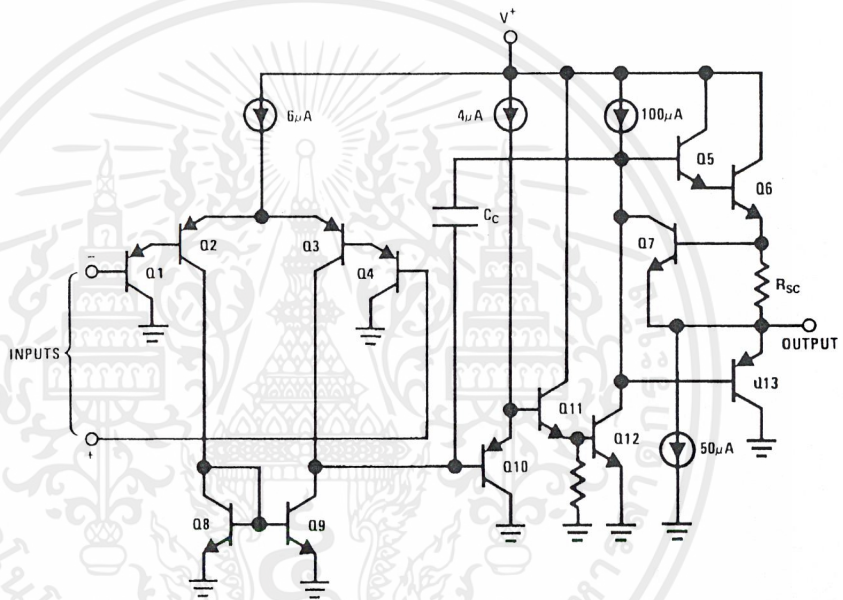
## Connection Diagram (Continued)

Note 3: See STD Mil DWG 5962R99504 for Radiation Tolerant Device



Order Number LM124AW/883, LM124AWG/883, LM124W/883 or LM124WG/883  
 LM124AWRQML and LM124AWRQMLV(Note 3)  
 See NS Package Number W14B  
 LM124AWGRQML and LM124AWGRQMLV(Note 3)  
 See NS Package Number WG14A

## Schematic Diagram (Each Amplifier)



DS009299-2

## Absolute Maximum Ratings (Note 12)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

	LM124/LM224/LM324	LM2902
	LM124A/LM224A/LM324A	
Supply Voltage, $V^+$	32V	26V
Differential Input Voltage	32V	26V
Input Voltage	-0.3V to +32V	-0.3V to +26V
Input Current ( $V_{IN} < -0.3V$ ) (Note 6)	50 mA	50 mA
Power Dissipation (Note 4)		
Molded DIP	1130 mW	1130 mW
Cavity DIP	1260 mW	1260 mW
Small Outline Package	800 mW	800 mW
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 5) $V^+ \leq 15V$ and $T_A = 25^\circ C$	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range		-40°C to +85°C
LM324/LM324A	0°C to +70°C	
LM224/LM224A	-25°C to +85°C	
LM124/LM124A	-55°C to +125°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	260°C	260°C
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	260°C	260°C
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD Tolerance (Note 13)	250V	250V

## Electrical Characteristics

$V^+ = +5.0V$ , (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 8) $T_A = 25^\circ C$		1	2		1	3		2	3	mV
Input Bias Current (Note 9)	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ , $V_{CM} = 0V$ , $T_A = 25^\circ C$		20	50		40	80		45	100	nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ , $V_{CM} = 0V$ , $T_A = 25^\circ C$		2	10		2	15		5	30	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	$V^+ = 30V$ , (LM2902, $V^+ = 26V$ ), $T_A = 25^\circ C$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ On All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2902 $V^+ = 26V$ ) $V^+ = 5V$		1.5	3		1.5	3		1.5	3	mA
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V$ , $R_L \geq 2k\Omega$ , ( $V_O = 1V$ to $11V$ ), $T_A = 25^\circ C$	50		100	50		100	25		100	V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$ , $T_A = 25^\circ C$	70		85	70		85	65		85	dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (Continued)

$V^+ = +5.0V$ , (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V$ to $30V$ (LM2902, $V^+ = 5V$ to $26V$ ), $T_A = 25^\circ C$	65	100		65	100		65	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 11)	$f = 1$ kHz to $20$ kHz, $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred)	-120			-120			-120			dB
Output Current	Source $V_{IN}^- = 1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V^- = 15V$ , $V_O = 2V$ , $T_A = 25^\circ C$	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink $V_{IN}^- = 1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V^- = 15V$ , $V_O = 2V$ , $T_A = 25^\circ C$	10	20		10	20		10	20		
	$V_{IN}^- = 1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V^- = 15V$ , $V_O = 200$ mV, $T_A = 25^\circ C$	12	50		12	50		12	50		$\mu A$
Short Circuit to Ground	(Note 5) $V^+ = 15V$ , $T_A = 25^\circ C$	40	60		40	60		40	60		mA
Input Offset Voltage	(Note 8)	4			4			5			mV
$V_{OS}$ Drift	$R_S = 0\Omega$	7			7			7			$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$ , $V_{CM} = 0V$	30			30			75			nA
$I_{OS}$ Drift	$R_S = 0\Omega$	10			10			300			$pA/^\circ C$
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$	40			40			200			nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	$V^+ = +30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$ )	0	$V^+ - 2$		0	$V^+ - 2$		0	$V^+ - 2$		V
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15V$ ( $V_O$ Swing = $1V$ to $11V$ ) $R_L \geq 2$ k $\Omega$	25			25			15			V/mV
Output Voltage Swing	$V_{OH}$ $V^+ = 30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$ )	$R_L = 2$ k $\Omega$		26	26		26		26		V
	$V_{OL}$ $V^- = 5V$ , $R_L = 10$ k $\Omega$	$R_L = 10$ k $\Omega$		27	28	27	28	27	28		
Output Current	Source $V_O = 2V$	$V_{IN}^- = +1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V^- = 15V$		10	20	10	20	10	20		mA
	Sink	$V_{IN}^- = +1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V^- = 15V$		10	15	5	8	5	8		

## Electrical Characteristics

$V^+ = +5.0V$ , (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 8) $T_A = 25^\circ C$	2			2			2			mV
Input Bias Current (Note 9)	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ , $V_{CM} = 0V$ , $T_A = 25^\circ C$	45			45			45			nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ , $V_{CM} = 0V$ , $T_A = 25^\circ C$	3			5			5			nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	$V^+ = 30V$ , (LM2902, $V^+ = 26V$ ), $T_A = 25^\circ C$	0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ On All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2902 $V^+ = 26V$ ) $V^- = 5V$	1.5		3	1.5		3	1.5		3	mA
		0.7		1.2	0.7		1.2	0.7		1.2	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V$ , $R_L \geq 2$ k $\Omega$ , ( $V_O = 1V$ to $11V$ ), $T_A = 25^\circ C$	50	100		25	100		25	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$ , $T_A = 25^\circ C$	70	85		65	85		50	70		dB
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V$ to $30V$ (LM2902, $V^+ = 5V$ to $26V$ ),	65	100		65	100		50	100		dB

## Electrical Characteristics (Continued)

$V^+ = +5.0V$ , (Note 7), unless otherwise stated

Parameter		Conditions	LM124/LM224			LM324			LM2902			Units		
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max			
		$T_A = 25^\circ C$												
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 11)		$f = 1 \text{ kHz to } 20 \text{ kHz}$ , $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred)	-120			-120			-120			dB		
Output Current	Source	$V_{IN}^+ = 1V$ , $V_{IN}^- = 0V$ , $V^+ = 15V$ , $V_O = 2V$ , $T_A = 25^\circ C$	20	40		20	40		20	40		mA		
	Sink	$V_{IN}^- = 1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V^+ = 15V$ , $V_O = 2V$ , $T_A = 25^\circ C$	10	20		10	20		10	20				
			$V_{IN}^- = 1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V^+ = 15V$ , $V_O = 200 \text{ mV}$ , $T_A = 25^\circ C$	12	50		12	50		12	50		$\mu A$	
Short Circuit to Ground		(Note 5) $V^+ = 15V$ , $T_A = 25^\circ C$	40		60	40		60	40		60	mA		
Input Offset Voltage		(Note 8)			7			9			10	mV		
$V_{OS}$ Drift		$R_S = 0\Omega$			7			7			7	$\mu V/^\circ C$		
Input Offset Current		$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$ , $V_{CM} = 0V$			100			150			45	200	nA	
$I_{OS}$ Drift		$R_S = 0\Omega$			10			10			10	$\mu A/^\circ C$		
Input Bias Current		$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$	40		300	40		500	40		500	nA		
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)		$V^+ = +30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$ )	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V		
Large Signal Voltage Gain		$V^+ = +15V$ ( $V_O$ Swing = 1V to 11V) $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	25			15			15			V/mV		
Output Voltage Swing	$V_{OH}$	$V^+ = 30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$ )	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$		26	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$		27	28	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$		23	24	V
	$V_{OL}$	$V^+ = 5V$ , $R_L = 10 \text{ k}\Omega$			5	20		5		20	5		100	mV
Output Current	Source	$V_O = 2V$	$V_{IN}^+ = +1V$ , $V_{IN}^- = 0V$ , $V^+ = 15V$		10	20		10		20	10		20	mA
	Sink		$V_{IN}^- = +1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V^+ = 15V$		5	8		5		8	5		8	

**Note 4:** For operating at high temperatures, the LM324/LM324A/LM2902 must be derated based on a  $+125^\circ C$  maximum junction temperature and a thermal resistance of  $88^\circ C/W$  which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224/LM224A and LM124/LM124A can be derated based on a  $+150^\circ C$  maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

**Note 5:** Short circuits from the output to  $V^+$  can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of  $V^+$ . At values of supply voltage in excess of +15V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

**Note 6:** This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps 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 is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than  $-0.3V$  (at  $25^\circ C$ ).

**Note 7:** These specifications are limited to  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$  for the LM124/LM124A. With the LM224/LM224A, all temperature specifications are limited to  $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ , the LM324/LM324A temperature specifications are limited to  $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ , and the LM2902 specifications are limited to  $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ .

**Note 8:**  $V_O = 1.4V$ ,  $R_S = 0\Omega$  with  $V^+$  from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to  $V^+ - 1.5V$ ) for LM2902,  $V^+$  from 5V to 26V.

**Note 9:** The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

**Note 10:** The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at  $25^\circ C$ ). The upper end of the common-mode voltage range is  $V^+ - 1.5V$  (at  $25^\circ C$ ), but either or both inputs can go to +32V without damage (+26V for LM2902), independent of the magnitude of  $V^+$ .

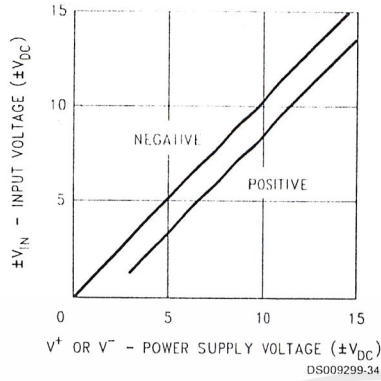
**Note 11:** Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

**Note 12:** Refer to RETS124AX for LM124A military specifications and refer to RETS124X for LM124 military specifications.

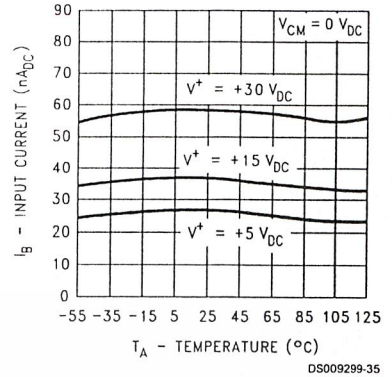
**Note 13:** Human body model, 1.5 k $\Omega$  in series with 100 pF

# Typical Performance Characteristics

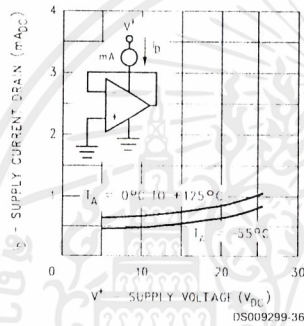
Input Voltage Range



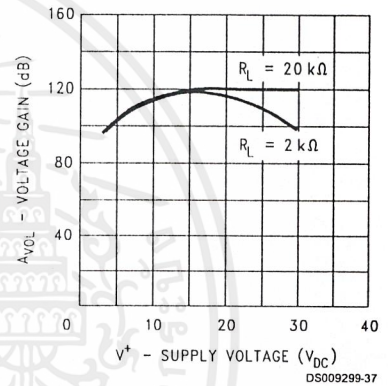
Input Current



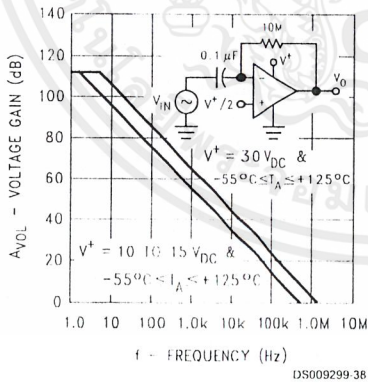
Supply Current



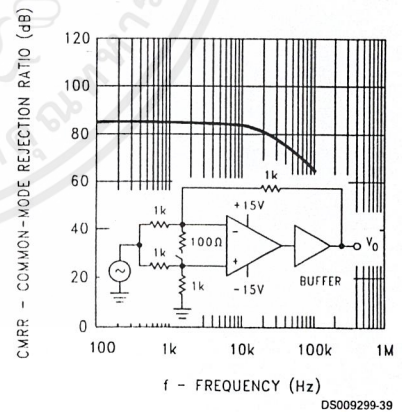
Voltage Gain



Open Loop Frequency Response



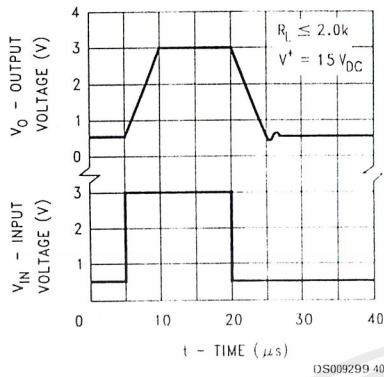
Common Mode Rejection Ratio



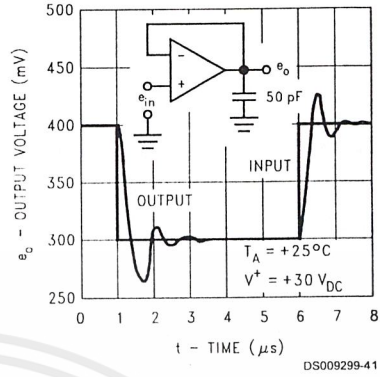
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Characteristics (Continued)

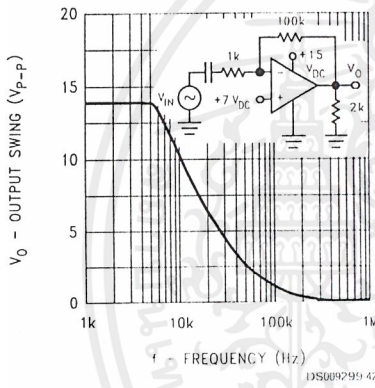
**Voltage Follower Pulse Response**



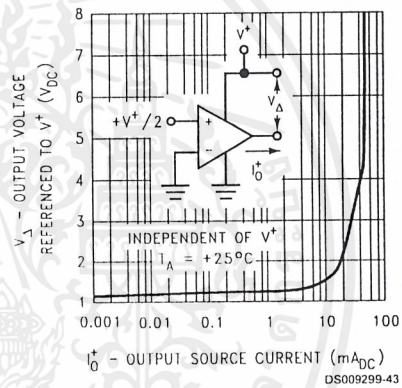
**Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)**



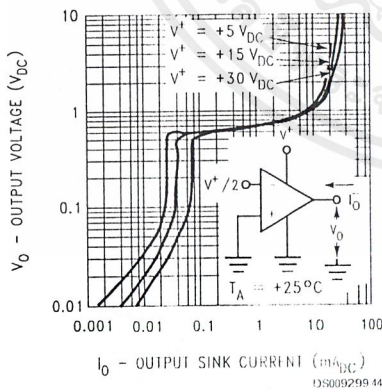
**Large Signal Frequency Response**



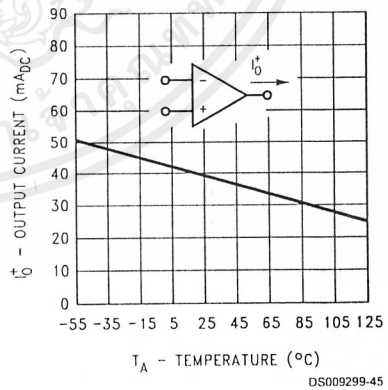
**Output Characteristics Current Sourcing**



**Output Characteristics Current Sinking**



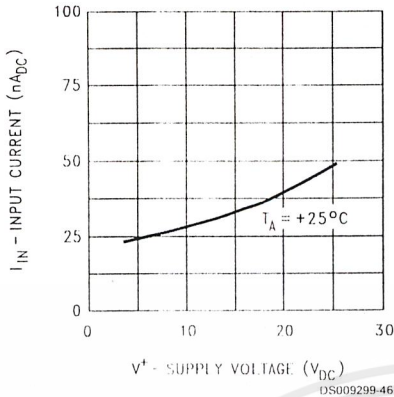
**Current Limiting**



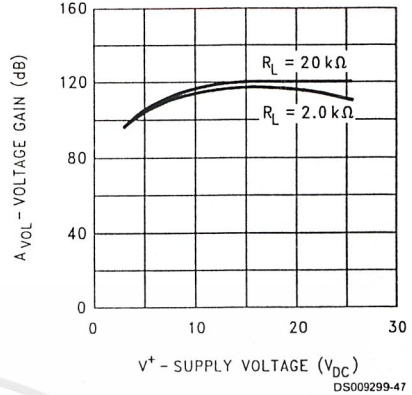
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Characteristics (Continued)

Input Current (LM2902 only)



Voltage Gain (LM2902 only)



### Application Hints

The LM124 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of  $0 V_{DC}$ . These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At  $25^\circ\text{C}$  amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of  $2.3 V_{DC}$ .

The pinouts of the package have been designed to simplify PC board layouts. Inverting inputs are adjacent to outputs for all of the amplifiers and the outputs have also been placed at the corners of the package (pins 1, 7, 8, and 14).

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than  $V^+$  without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than  $-0.3 V_{DC}$  (at  $25^\circ\text{C}$ ). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion.

Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of  $50\text{ pF}$  can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

The bias network of the LM124 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from  $3 V_{DC}$  to  $30 V_{DC}$ .

Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at  $25^\circ\text{C}$  provides a larger output current capability at elevated temperatures (see typical performance characteristics) than a standard IC op amp.

The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of  $V^+/2$ ) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.