



เครื่องจำหน่ายบุหรี่อัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์  
AUTOMATIC CIGARETTE SELLING-MACHINE

โดย  
นายกาญจนสิทธิ์ โภคพุด  
นายทิสภาพล เชยกลิ่น

วัน เดือน ปี... 22 คค 2541  
เลขทะเบียน... 039108  
เลขเรียกหนังสือ... T 40348 ก 441 ๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2540

เครื่องจำหน่ายบุหรี่อัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์  
AUTOMATIC CIGARETTE SELLING-MACHINE

โดย

นายกฤษฎา จันทิณี โภคพุด 37014013

นายทศพล เขยกลิน 37014149

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. สมยศ จุณณะปิยะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท สาขาการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง เครื่องจำหน่ายบุหรี่อัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

AUTOMATIC CIGARETTE SELLING-MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นายกาญจนสิทธิ์ โภคพุด 37014013

2. นายทศิชาติ เขยกลิ่น 37014149

  
(รศ. สมยศ จุณณะปิยะ)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องจำหน่ายบุหรี่อัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์  
AUTOMATIC CIGARETTE SELLING-MACHINE

โดย นาย กาญจนสิทธิ์ โภคพูล 37014013

นาย ทิศาพล เชยกลิ่น 37014149

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. สมยศ จุณณะปิยะ

**บทคัดย่อ**

โครงการชิ้นนี้เป็นเครื่องจำหน่ายบุหรี่ เมื่อหยอดเหรียญลงไปจะปรากฏจำนวนเงินที่หยอด จากนั้นสามารถเลือกซื้อบุหรี่ได้จากปุ่มที่ให้เลือกซึ่งจะมีไฟปรากฏขึ้น เมื่อจำนวนเงินมากพอที่จะซื้อบุหรี่ยี่ห้อต่างๆ เมื่อได้บุหรี่ยี่ห้อที่ต้องการ เครื่องจะแสดงจำนวนเงินทอนและทำการทอนเงิน ซึ่งการทำงานทั้งหมดนี้ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

**ABSTRACT**

This project is "Automatic cigarette selling-machine". When you insert coins amount of money will be shown on the LED 7-segments. Customer can select brand of cigarette that you prefer when the amount of money is enough for it. After that, the machine will show the amount of money to refund and refund it to the customer. Entire of this system is controlled by microcontroller.

## สารบัญ

### บทที่ 1

บทนำ	1
------	---

### บทที่ 2

2.1 สเต็ปป์มอเตอร์	2
2.2 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์	16
2.3 การต่อทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตัน	26
2.4 การอินเตอร์เฟสและอุปกรณ์แสดงผล	28
2.5 การควบคุมอุปกรณ์ D.C. โดยใช้ open collector buffer	35
2.6 โครงสร้างของ MCS-51	36
2.7 การตรวจสอบเหรียญ	42
2.8 การป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback)	45
2.9 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	49
2.10 วงจรบัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ค่า -40 เดซิเบลต่อเดเคด	50

### บทที่ 3

3.1 ส่วนตรวจสอบเหรียญ	54
3.2 วงจรในส่วนสวิตช์เลือกชนิดของบุหรี	74
3.3 วงจรจับสเต็ปเปอร์มอเตอร์	75
3.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ กับไมโครคอนโทรลเลอร์	77
3.5 แนวทางในการออกแบบส่วนที่เป็น MECHANIC	79
3.6 ส่วนโปรแกรมควบคุมการทำงาน	83

### บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง	111
-----------------------	-----

### บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป	131
--------------------	-----

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1	2
แสดงคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์	
รูปที่ 2.2	3
(ก) แสดงสแต็ปปีงมอเตอร์ที่มีการต่อวงจรขดลวดภายในเพื่อกระตุ้นให้เกิดแม่เหล็กขึ้น 1 ขั้ว ในทิศทางตรงกันข้าม	
(ข) แสดงการต่อวงจรขดลวดแบบกระตุ้นให้เกิดขั้วแม่เหล็กพร้อมกัน 2 ขั้วที่อยู่ใกล้กัน	
รูปที่ 2.3	3
(ก) แสดงวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับชนิดยูนิโพลาร์ ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์สวิทช์ ตัวเดียวต่อ 1 คอยล์	
(ข) แสดงวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับชนิดไบโพลาร์ ซึ่งต้องใช้ทรานซิสเตอร์ สวิทช์ 4 ตัวต่อ 1 คอยล์	
รูปที่ 2.4	4
แสดงแรงดึงดูดทำให้เกิดทอร์กที่หมุนโรเตอร์ให้ไปอยู่ในตำแหน่งที่สมดุล	
รูปที่ 2.5	5
แสดงโครงสร้างของสแต็ปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	
รูปที่ 2.6	5
แสดงการทำงานในสแต็ปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาดสี่เฟส	
รูปที่ 2.7	6
สแต็ปปีงมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้	
รูปที่ 2.8	6
แสดงตำแหน่งสมดุลเมื่อเฟสใดเฟสหนึ่งของสแต็ปปีงมอเตอร์ถูกกระตุ้น	
รูปที่ 2.9	7
แสดงการเปลี่ยนแปลงลำดับสแต็ปในการเคลื่อนที่ของสแต็ปปีงมอเตอร์ได้	
รูปที่ 2.10	8
แสดงโครงสร้างสแต็ปปีงมอเตอร์แบบไฮบริด	
รูปที่ 2.11	8
แสดงหลักการการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์แบบไฮบริด	
รูปที่ 2.12	10
แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมการขับสแต็ปปีงมอเตอร์	

รูปที่ 2.13	12
แสดงวงจรสมมูลย์ของสเต็ปปีงมอเตอร์	
รูปที่ 2.14	13
วงจรจำกัดแรงดันเกินโดยใช้ไดโอด	
รูปที่ 2.15	14
ไดโอดซัพเพรสเซอร์	
รูปที่ 2.16	14
ไดโอด – รีซิสเตอร์ซัพเพรสเซอร์	
รูปที่ 2.17	15
ซีเนอร์ไดโอดซัพเพรสเซอร์	
รูปที่ 2.18	16
สเต็ปมอเตอร์แบบสี่เฟสประกอบด้วยคอนเดนเซอร์ซัพเพรสเซอร์	
รูปที่ 2.19	17
รูปที่ 2.20	19
กราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์	
รูปที่ 2.21	21
ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตในวงจรทรานซิสเตอร์สวิทช์	
รูปที่ 2.22	22
แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต	
รูปที่ 2.23	23
การเพิ่มความเร็วในการสวิทช์	
รูปที่ 2.24	25
วงจรทรานซิสเตอร์สวิทช์ที่มีโหลดเป็นมอเตอร์	
รูปที่ 2.25	26
รูปที่ 2.26	27
รูปที่ 2.27	27
รูปที่ 2.28	28
ตัวอย่างอุปกรณ์การอินเตอร์เฟส	
รูปที่ 2.29	30
การอินเตอร์เฟสสวิทช์กับไอซี	

รูปที่ 2.30	31
สวิทช์เลือกที่ใช้กับเอาต์พุทของไอซี	
รูปที่ 2.31	33
การอินเตอร์เฟตโดยใช้ทรานซิสเตอร์	
รูปที่ 2.32	34
โครงสร้างของโฟโต้คัปเปิลอร์	
รูปที่ 2.33	35
ตัวอย่างการอินเตอร์เฟตโดยใช้โฟโต้คัปเปิลอร์	
รูปที่ 2.34	36
แสดงการต่อวงจรประยุกต์ใช้งานบัฟเฟอร์ในทางปฏิบัติ	
รูปที่ 2.35	38
แสดงโครงสร้างภายในของ MCS-51	
รูปที่ 2.36	38
แสดงการจัดวางขา 8051	
รูปที่ 2.37	39
แสดงการจัดวางขาและโครงสร้าง 8255	
รูปที่ 2.38	41
แสดงการเชื่อมโยง 8255 เข้ากับ CPU	
รูปที่ 2.39	42
แสดงกรรมวิธีการตรวจสอบเหรียญ	
รูปที่ 2.40	45
แสดงการป้อนกลับแบบบวก	
รูปที่ 2.41	46
แสดงวงจรสมมูลย์	
รูปที่ 2.42	48
แสดงลักษณะทั่วไปของ Tank Circuit	
ก) colpitts ข) clapp ค) Hartley ง) Pierce(crystal)	
รูปที่ 2.43	49
แสดงการทำงานของวงจร โมโนสเตเบิล	
รูปที่ 2.44	51
แสดงวงจรบัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ค่า -40 เดซิเบลต่อเดซิเดต และกราฟการตอบสนองความถี่	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1	53
แสดงบล็อกการทำงานของเครื่อง	
รูปที่ 3.2	54
แสดงบล็อกไดอะแกรมของตัวตรวจสอบเหรียญ	
รูปที่ 3.3	55
แสดงลักษณะของแกนเฟอร์ไรต์แบบ Pot Core	
รูปที่ 3.4	56
แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์ 72 KHz และ DC ANALYSIS	
รูปที่ 3.5	57
แสดงวงจรสมมูลของออสซิลเลเตอร์	
รูปที่ 3.6	60
แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์ 650 KHz และ DC ANALYSIS	
รูปที่ 3.7	61
แสดงวงจรสมมูลของออสซิลเลเตอร์	
รูปที่ 3.8	64
แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์ 1 MHz และ DC ANALYSIS	
รูปที่ 3.9	65
แสดงวงจรสมมูลของออสซิลเลเตอร์	
รูปที่ 3.10	67
แสดงวงจรเปลี่ยนความถี่เป็นแรงดัน	
รูปที่ 3.11	68
แสดงวงจรรองความถี่ต่ำแบบแบตเตอรี่เวิร์ท	
รูปที่ 3.12	69
แสดงวงจร Half-wave Rectifier และ Filter	
รูปที่ 3.13	70
แสดงวงจร Comparator	
รูปที่ 3.14	71
แสดงวงจรสมมูลของตัวตรวจสอบความหนาของเหรียญ	
รูปที่ 3.15	72
แสดงวงจรสมมูลของตัวตรวจสอบเส้นผ่าศูนย์กลางของเหรียญ	

รูปที่ 3.16	73
แสดงวงจรสมบูรณ์ของส่วนตรวจสอบเนื้อ โลหะของเหรียญ	
รูปที่ 3.17	74
แสดงวงจรสวิทช์กด	
รูปที่ 3.18	74
แสดงการติดและดับของไฟที่สวิทช์	
รูปที่ 3.19	75
แสดงวงจรป้องกันแซดเตอร์ริงแบบใช้ RS ฟลิปฟลอปเมื่อต่อกับสวิทช์	
รูปที่ 3.20	76
แสดงวงจรขับสเต็ปเปอร์	
รูปที่ 3.21	76
แสดงสัญญาณการกระตุ้นแบบ two phase excitation เมื่อช่วงที่ใช้ในการกระตุ้นเป็น active low	
รูปที่ 3.22	77
แสดงส่วนแสดงผล	
รูปที่ 3.23	77
แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์	
รูปที่ 3.24	78
แสดงการเชื่อมต่อวงจรกับ USER PORT 1 ของบอร์ด ANT 3172	
รูปที่ 3.25	78
แสดงการเชื่อมต่อวงจรกับ USER PORT 2 ของบอร์ด ANT 3172	
รูปที่ 3.26	79
แสดงการเชื่อมต่อวงจรกับ USER PORT 3 ของบอร์ด ANT 3172	
รูปที่ 3.27	79
แสดงส่วนทอนเงิน	
รูปที่ 3.28	80
แสดงส่วนจ่ายบุหรี่	
รูปที่ 3.29	81
แสดงการออกแบบรางเหรียญ	
รูปที่ 3.30	82
แสดงการตรวจเช็คการคงเหลือของบุหรี่แต่ละชนิด	

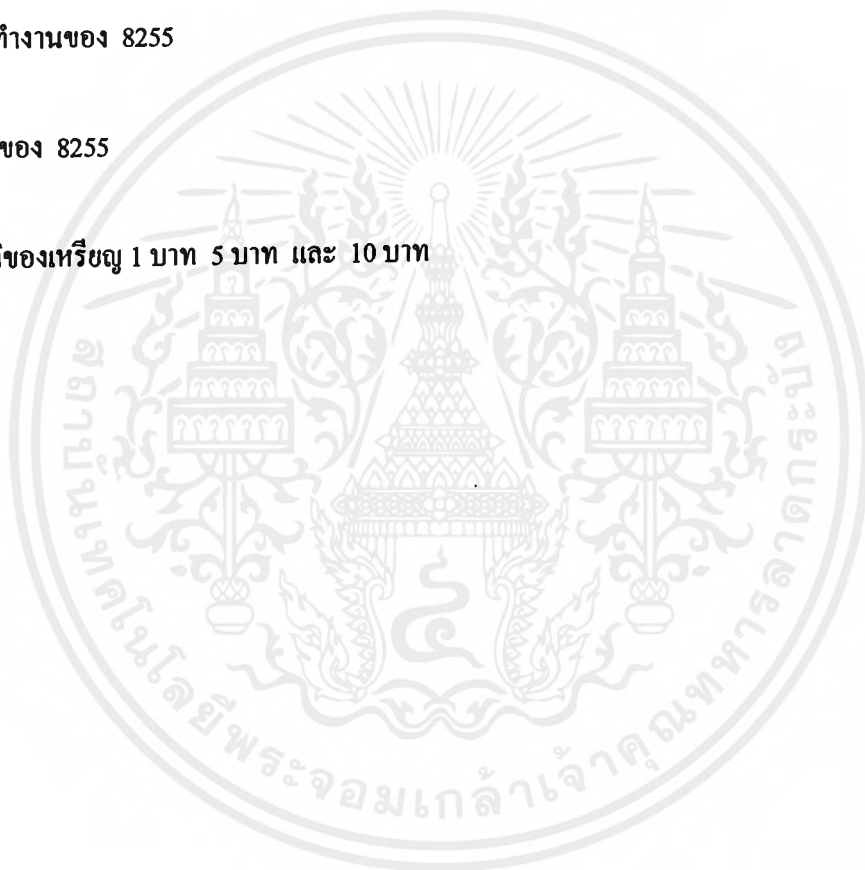
รูปที่ 3.31	83
แสดงโฟลวชาร์ตการทำงานของส่วนโปรแกรมหลัก	
รูปที่ 3.32	86
แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อย SELECT MOTOR	
รูปที่ 3.33	87
แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อย COIN CHECK	
รูปที่ 3.34	90
แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อย DEFINE COIN FOR DIAMETER	
รูปที่ 3.35	91
แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อย DEFINE COIN FOR MATERIAL	
รูปที่ 3.36	92
แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อย DEFINE COIN FOR THICKNESS	
รูปที่ 3.37	93
แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อย CANCEL	
รูปที่ 3.38	94
แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อย VALIDATION	
รูปที่ 4.1	111
แสดงเอาต์พุตที่ได้จากวงจรสวิตซ์กด ณ จุด No	
รูปที่ 4.2	112
แสดงเอาต์พุตที่นำมาต่อเข้าพอร์ท 8255 เมื่อผ่านวงจรป้องกัน bouncing	
รูปที่ 4.3	113
แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากพอร์ท 8255 ไปยังวงจรขับสเต็ปมอเตอร์	
รูปที่ 4.4	113
แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรขับสเต็ปมอเตอร์	
รูปที่ 4.5	114
แสดงการเปรียบเทียบการกระตุ้นแบบ half-step (บน) และการกระตุ้นแบบ full-step (ล่าง)	
รูปที่ 4.6	114
แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรขับสเต็ปมอเตอร์เมื่อกระตุ้นแบบ half-step (บน) และ full-step (ล่าง)	

รูปที่ 4.7	115
แสดงสัญญาณเอาต์พุตจากออสซิลเลเตอร์ 650 kHz (จุด 1)	
รูปที่ 4.8	116
แสดงสัญญาณพัลส์เอาต์พุตที่ออกจากไอซี 74LS123 (จุด 2) เพื่อนำไปเข้า lowpass filter	
รูปที่ 4.9	116
แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจร lowpass filter (จุด 3)	
รูปที่ 4.10	117
แสดงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเหรียญ 1 บาทตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์	
รูปที่ 4.11	117
แสดงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเหรียญ 5 บาทตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์	
รูปที่ 4.12	118
แสดงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเหรียญ 10 บาทตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์	
รูปที่ 4.13	118
แสดงกราฟของระดับ Voltage ที่ออกจาก Low pass filter ของเหรียญชนิดต่างๆ	
รูปที่ 4.14	119
แสดงสัญญาณเอาต์พุตจากออสซิลเลเตอร์ 1 MHz (จุด 1)	
รูปที่ 4.15	120
แสดงสัญญาณพัลส์เอาต์พุตที่ออกจากไอซี 74LS123 (จุด 2) เพื่อนำไปเข้า lowpass filter	
รูปที่ 4.16	120
แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจร lowpass filter (จุด 3)	
รูปที่ 4.17	121
แสดงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเหรียญ 1 บาทตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์	
รูปที่ 4.18	121
แสดงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเหรียญ 5 บาทตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์	
รูปที่ 4.19	122
แสดงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเหรียญ 10 บาทตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์	
รูปที่ 4.20	123
แสดงกราฟของระดับ Voltage ที่ออกจาก Low pass filter ของเหรียญชนิดต่างๆ	
รูปที่ 4.21	124
แสดงสัญญาณเอาต์พุตจากออสซิลเลเตอร์ 72 kHz	

รูปที่ 4.22	125
แสดงสัญญาณคอนโทรลนาฬิกาสวิทช์ (จุด 1)	
รูปที่ 4.23	125
แสดงสัญญาณเอาต์พุตจากส่วน rectify (จุด 2)	
รูปที่ 4.24	126
แสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจร peak detector	
รูปที่ 4.25	127
แสดงกราฟของระดับ Voltage ที่ออกจากวงจร peak detector ของเหรียญชนิดต่างๆ	
รูปที่ 4.26	128
แสดงส่วนอินดิคทีฟเซนเซอร์ซึ่งติดอยู่บนรางเหรียญ	
รูปที่ 4.27	128
แสดงส่วนสแตมป์มอเตอร์ซึ่งใช้ในการจ่ายนุหรี	
รูปที่ 4.28	129
แสดงส่วนของวงจรตรวจสอบเหรียญ	
รูปที่ 4.29	129
แสดงวงจรส่วนคอนโทรลเลอร์และส่วนวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	
รูปที่ 4.30	130
แสดงส่วนทอนเงิน	
รูปที่ 4.31	130
แสดงภายนอกของตัวเครื่อง	

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	11
การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ FULL STEP	
ตารางที่ 2.2	29
เงื่อนไขของแรงดันและกระแสที่อินพุทและเอาต์พุทของไอซี	
ตารางที่ 2.3	36
ตารางของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยวในตระกูล MCS-51	
ตารางที่ 2.4	40
สรุปโหมคการทำงานของ 8255	
ตารางที่ 2.5	41
แสดงแอสเคตของ 8255	
ตารางที่ 2.6	43
แสดงคุณสมบัติของเหรียญ 1 บาท 5 บาท และ 10 บาท	



## บทที่ 1

### บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ชีวิตประจำวันในยุคสมัยนี้จะต้องเกี่ยวข้องกับเครื่องอำนวยความสะดวกต่างๆ ซึ่งส่วนมากแล้วจะมีระบบการทำงานแบบอัตโนมัติไปเสียทุกอย่าง เช่น ลิฟต์ เครื่องปรับอากาศ เครื่องถอน - ฝากเงินอัตโนมัติ(ATM) ฯลฯ และเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติก็เป็นเครื่องอำนวยความสะดวกในการซื้อขายสินค้า โดยจะมีให้เห็นอยู่ทั่วไป เพราะประหยัดเนื้อที่ ใช้งานได้ตลอด 24 ชั่วโมง ไม่ต้องใช้คนเฝ้า ซึ่งสินค้าที่จะใช้กับเครื่องขายสินค้าอัตโนมัตินี้ส่วนมากจะเป็นสินค้าที่มีราคาต่อหน่วยไม่มากนัก เพราะจะต้องใช้เหรียญในการซื้อขาย จึงทำให้ผู้ผลิตทางการตลาดหลายบริษัทพยายามที่จะหาช่องทางจำหน่ายของตนมาสู่การจำหน่ายแบบอัตโนมัติมากขึ้น

เครื่องขายเหรียญอัตโนมัติก็เป็นตัวอย่างอันหนึ่งของการนำความสะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพที่ว้นำประยุกต์ใช้ โดยผู้ซื้อเพียงแค่ทำการหยอดเหรียญและกดเลือกชนิดของเหรียญเท่านั้น หลังจากนั้นเครื่องก็จะจ่ายเหรียญให้กับผู้ซื้อพร้อมทอนเงินออกมาด้วย

สำหรับเครื่องขายเหรียญอัตโนมัติที่สร้างขึ้นมานี้ จะเป็นการนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 หรือ MCS51 มาทำหน้าที่ประมวลผลและควบคุมการทำงานของวงจรร่วมกับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ต่าง ๆ ซึ่งประกอบกันเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- ส่วนเซ็นเซอร์เหรียญ
- วงจรขับสเต็ปมอเตอร์
- ส่วนแสดงผล

สเต็ปเปอร์มอเตอร์

ในการทำงานของเครื่องจักรต่าง ๆ ซึ่งต้องการความแม่นยำและความเที่ยงตรงในการทำงานสูงมากจำเป็นต้องใช้มอเตอร์แบบสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่มีคุณสมบัติพิเศษกว่ามอเตอร์ทั่วไปคือ สามารถควบคุมทิศทางการหมุนที่แน่นอนของตัวมอเตอร์ได้ โดยสเต็ปเปอร์มอเตอร์ส่วนใหญ่จะใช้การควบคุมโดยผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ หากต้องการควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์หลาย ๆ ตัวพร้อมกันก็จำเป็นที่จะต้องใช้อินเตอร์คอนโทรลเลอร์ที่สามารถควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์ได้ทีละ หลาย ๆ ตัวพร้อมกัน สำหรับในโครงการนี้จะใช้เพื่อการทอนเงินคืนให้กับลูกค้า และจ่ายเหรียญ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีหรือหลักการ

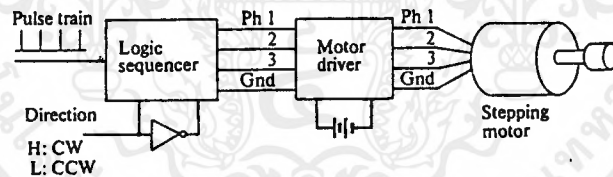
#### 2.1 สเต็ปป์มอเตอร์

สเต็ปป์มอเตอร์ แบ่งออกได้เป็นหลายชนิดด้วยกัน เช่น สเต็ปป์มอเตอร์แบบแปรค่า รีลัคแตนซ์ได้ (Variable-reluctance), สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (permanent magnet), สเต็ปป์มอเตอร์แบบไฮบริด (hybrid) และสเต็ปป์มอเตอร์แบบลิเนียร์ (linear) เป็นต้น แต่ที่ใช้งานกันบ่อยส่วนใหญ่จะเป็นแบบสเต็ปป์มอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ และสเต็ปป์มอเตอร์แบบไฮบริด

สเต็ปเปอร์มอเตอร์มีความแตกต่างจากมอเตอร์โดยทั่ว ๆ ไป คือ เมื่อป้อนไฟฟ้าให้กับมัน ๆ จะหมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งแตกต่างจากมอเตอร์โดยทั่วไป ที่จะหมุนโดยทันที และตลอดเวลาที่จ่ายไฟฟ้า สเต็ปเปอร์มอเตอร์ยังสามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลขได้อย่างละเอียด โดยการใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกำหนดและจัดเก็บตัวเลขเหล่านั้นไว้

##### 2.1.1 หลักการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์

หลักการทำงานพื้นฐานของสเต็ปป์มอเตอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยวงจรซีควเอนซ์ วงจรขับสัญญาณความถี่อินพุท และสัญญาณควบคุมทิศทางการหมุนคอนโทรลสเต็ปเปอร์ขอ สเต็ปป์มอเตอร์จะอินเทอร์เฟสได้โดยตรงกับไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอมพิวเตอร์



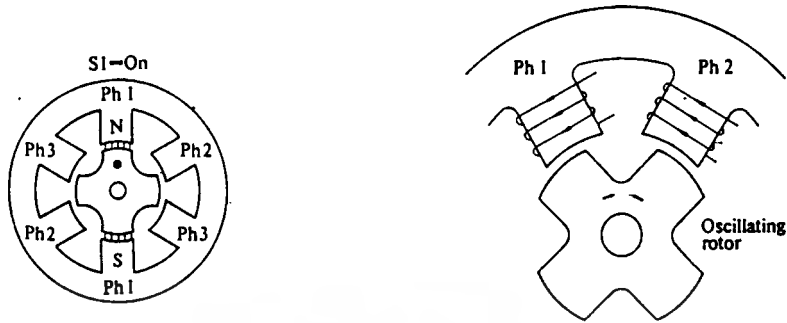
รูปที่ 2.1 แสดงคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์

##### 2.1.2 โครงสร้างและหลักการพื้นฐานของสเต็ปป์มอเตอร์

###### โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์

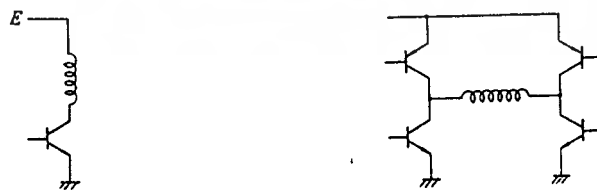
มอเตอร์โดยทั่วไปการที่จะทำให้เกิดการหมุนของโรเตอร์ (rotor) ได้ต้องมีกระทำของสนามแม่เหล็กที่ เกิดขึ้นระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ (Stator) ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดวางขั้วแม่เหล็ก (pole) โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ประกอบขึ้นจากแท่นเหล็กวงแหวนที่มีซี่ยื่นออกมา แต่ละซี่เหล่านั้นจะมีคอยล์พันสวมอยู่ ดังนั้น เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านคอยล์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic) ขึ้นด้านตรงข้ามของแต่ละ

ละขั้วแม่เหล็กจะได้รับกระแสไฟฟ้าในขณะเดียวกัน แต่ว่าจะไหลวนในทิศทางตรงกันข้ามทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้ามขึ้นดังรูปที่ 2.2 (ก)

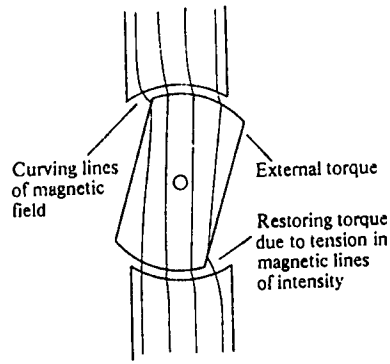


รูปที่ 2.2 (ก) แสดงสเต็ปป์มอเตอร์ที่มีการต่อวงจรขดลวดภายในเพื่อกระตุ้นให้เกิดขั้วแม่เหล็กขึ้น 1 ขั้วในทิศทางตรงกันข้าม ส่วนขดลวดอื่น ๆ จะไม่ถูกกระตุ้น

รูปที่ 2.2 (ข) แสดงการต่อวงจรขดลวดแบบกระตุ้นให้เกิดขั้วแม่เหล็กพร้อมกัน 2 ขั้วที่อยู่ใกล้กัน ทำให้โรเตอร์เคลื่อนที่มาหยุดอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กทั้งสอง การเพิ่มจำนวนสเต็ปสามารถทำได้โดยไม่ต้องเพิ่มจำนวนของโครงสร้างภายในได้ โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้โรเตอร์หยุดหมุนอยู่ระหว่างกลางของ 2 ขั้วแม่เหล็กนั้น และวิธีการนี้ยังช่วยให้เกิดแรงบิด (torque) มากขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ข) การพันขดลวดหรือคอยล์บนสเต็ปป์มอเตอร์มีอยู่ 2 วิธีคือ แบบไดโพลาร์ (dipolar) และแบบยูนิโพลาร์ (unipolar) ดังแสดงในรูป 2.3 แบบไบโพลาร์มีการพันขดลวด 1 ขดบนแต่ละขั้วของแม่เหล็กของสเตเตอร์ ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์จะถูกกำหนดโดยทิศทางของกระแสไฟฟ้า และสามารถทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามได้โดยการกลับทิศทางไหลของกระแสไฟฟ้า แบบยูนิโพลาร์จะมีการพันขดลวด 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งแต่ละขดจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามกัน การกลับขั้วแม่เหล็กเปลี่ยนไปมาทำได้โดยการสวิตซ์กระแสไฟฟ้าจากขดลวดหนึ่งไปยังอีกขดลวดหนึ่งแทนเท่านั้น โดยปกติของขดลวดทั้งสองจะมีการเชื่อมต่อกันหรือมีจุดร่วมเพื่อลดจำนวนของสายไฟที่ต่อจากมอเตอร์



รูปที่ 2.3 แสดงวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับสเต็ปป์มอเตอร์ทั้งสองแบบ  
 (ก) สำหรับชนิดยูนิโพลาร์ ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์สวิตซ์เพียงตัวเดียวต่อ 1 คอยล์  
 (ข) สำหรับชนิดไบโพลาร์ ซึ่งต้องใช้ทรานซิสเตอร์สวิตซ์ 4 ตัวต่อ 1 คอยล์



รูปที่ 2.4 แสดงแรงดึงดูด ทำให้เกิดทอร์กที่หมุนโรเตอร์ให้ไปอยู่ในตำแหน่งที่สมดุล

จากรูปที่ 2.4 แสดงรูปแท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่บนเพลลา และสามารถหมุนได้อย่างอิสระในขณะที่ไม่มีขั้วไฟฟ้าที่สเตเตอร์ ถ้าก่อนมีขั้วไฟฟ้า ตำแหน่งของโรเตอร์แม่เหล็กอยู่ตามแกน a-a' ซึ่งทำมุม  $\theta$  องศา กับแกนของขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า

ดังนั้น จะได้แรงแม่เหล็กที่เกิดจากการดึงดูดของขั้วแม่เหล็กที่ต่างกันทำให้เกิดส่วนของแรงบิดปกติ

$$F_n = F \cos \alpha \quad (\text{แรงนี้ตั้งฉากกับแกน a-a'})$$

จะได้ทอร์กผลรวม

$$T = F_n R$$

(ทำให้โรเตอร์หมุนไปในทิศทาง CW จนกว่าแกนของโรเตอร์ a-a' จะอยู่ในแนวเดียวกับแกนของสเตเตอร์)

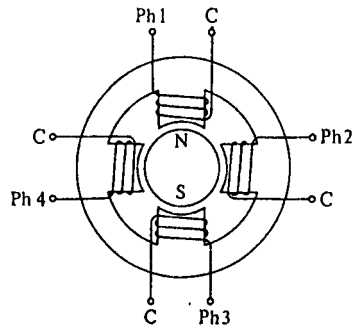
ถ้าหากมีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าหลาย ๆ ขั้ว รอบ ๆ สเตเตอร์และถ้าหากขั้วเหล่านั้นถูกกระตุ้นด้วยกระแสพัลส์ ในรูปแบบที่เรียงลำดับกันไป โรเตอร์ก็จะหมุนในรูปลักษณะของสเต็ปที่เป็นไปตามการหมุนของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการสวิตซ์ที่เรียงลำดับของขดลวดขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของ สเตเตอร์

### 2.1.3 สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดต่าง ๆ

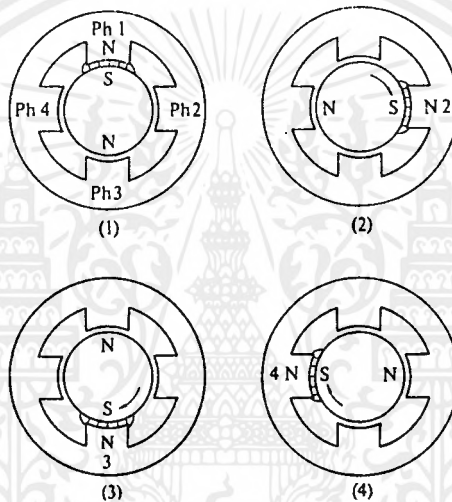
#### 1) สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดนี้ใช้แม่เหล็กถาวรเป็นโรเตอร์ และมีซี่ฟันของสเตเตอร์ล้อมรอบ ซี่ฟันของสเตเตอร์ถูกพันด้วยขดลวดสำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก เมื่อต้องการให้สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมีขนาดมุมสเต็ปเล็กลงจะต้องเพิ่มจำนวนขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ และจำนวนซี่ฟันของ สเตเตอร์ แต่ก็มีขีดจำกัดในการเพิ่มจำนวนขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ เนื่องจากการสร้างแม่เหล็กถาวรสร้างให้มีโครงสร้างแบบมีขั้วแม่เหล็กหลายขั้วทำได้ยาก

สมมติว่าสเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาดสี่เฟสมีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรทรงกระบอก และสเตเตอร์มีซี่ฟันรอบ ๆ พันด้วยขดลวด มีรูปแบบพื้นฐานการทำงาน คือ เมื่อสร้างสัญญาณกระตุ้นตามลำดับเฟส โรเตอร์จะหมุนไปตามทิศทางของการกระตุ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานในสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาดสี่เฟส

ข้อเสียของสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร คือ มีขนาดมุมสเต็ปิ่งใหญ่ ทำให้มีความละเอียดของสเต็ปิ่งต่ำ เนื่องจากโครงสร้างของโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร-การสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีสายขั้วทำได้ยาก ทำให้ไม่สามารถสร้างสเต็ปิ่งขนาดเล็กได้ สเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างขนาดเล็ก ทำให้ค่าทอร์กที่ได้ต่อหน่วยปริมาตรมีค่าต่ำ ถ้าต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในเรื่องของทอร์กแม่เหล็กถาวรที่ใช้ต้องทำจากสารแม่เหล็กที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กสูง สารแม่เหล็กราคาสูง เช่น เฟอร์ไรต์ มีสภาพความเป็นแม่เหล็กน้อยจึงให้ค่าทอร์กต่ำ

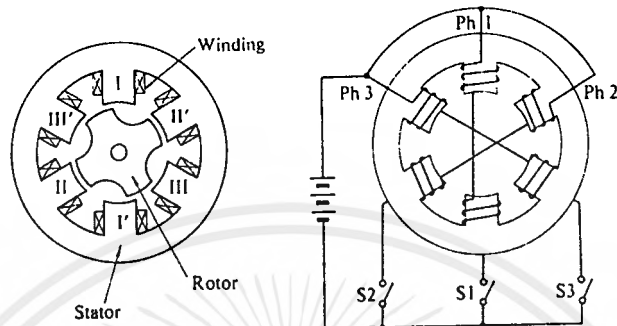
## 2) สเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้

โครงสร้างของสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ มีโรเตอร์และสเตเตอร์ทำจากโลหะซิลิกอน ซึ่งเป็นสารแม่เหล็กที่มีสภาพซึมซับได้ทางแม่เหล็กสูงและยอมให้สนามแม่เหล็กจำนวนมากไหลผ่านได้

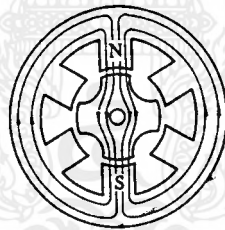
ในรูปที่ 2.7 เป็นสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ขนาดสามเฟส โดยโครงสร้างของโรเตอร์มี 4 ซี่ฟัน และสเตเตอร์มี 6 ซี่ฟัน และแต่ละเฟสของสเตเตอร์มี 2 ซี่ฟันที่อยู่ตรงกันข้ามกันและอยู่ห่างกัน 180 องศาต่ออนุกรมกันอยู่ ทั้งสองซี่ฟันของเฟสหนึ่งของสเตเตอร์จะมีขั้วตรงกันข้ามกัน ดังนั้น จากซี่ฟัน I, II, III จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นขั้วเหลือ และ  $I'$ ,  $II'$ ,  $III'$  จะเป็นขั้วได้ เมื่อมอเตอร์ได้รับการกระตุ้น เมื่อเฟสหนึ่งถูกกระตุ้นสนามแม่เหล็ก จะเกิดขึ้นดังรูปที่ 2.7 ดังนั้น ถ้า โรเตอร์  $I$  และ  $I'$  จะวางตัวอยู่ในแนวเดียวกันซึ่งมีค่ารีลักแตนซ์น้อยที่สุด สถานะนี้เป็นสถานะที่จุดสมดุลเป็นจุดซื้อเส้นแรงแม่เหล็กสั้นที่สุด แสดงดังในรูปที่ 2.8

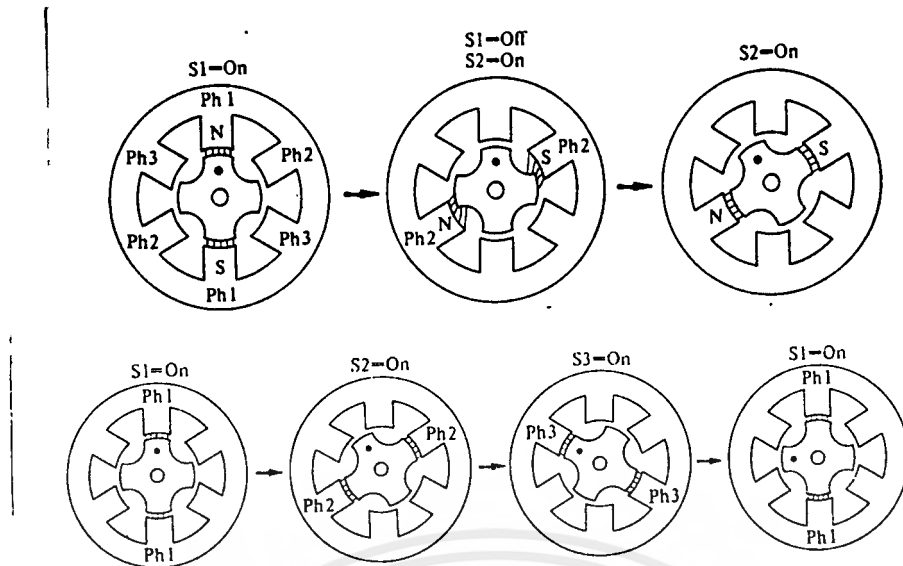


รูปที่ 2.7 สเต็ปป์มอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้



รูปที่ 2.8 แสดงตำแหน่งสมดุลเมื่อเฟสใดเฟสหนึ่งของสเต็ปป์มอเตอร์ถูกกระตุ้น

จากรูปที่ 2.8 สมมติว่าโรเตอร์และสเตเตอร์ไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน เส้นแรงของเฟสที่ถูกกระตุ้นมีค่ารีลักแตนซ์มาก สเต็ปป์มอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้จะทำตัวให้มีค่ารีลักแตนซ์ต่ำที่สุด โดยวางตัวอยู่ในแนวเดียวกันกับแนวของเส้นแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 2.9 แสดงการเปลี่ยนลำดับสตีปในการเคลื่อนที่ของสตีปปีงมอเตอร์ได้  
คุณสมบัติพื้นฐานสำหรับโครงสร้างของสตีปปีงมอเตอร์แปรค่ารีลักแตนซ์ได้

(1) ช่องว่างอากาศระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ต้องเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้ค่าของทอร์กมากขึ้น และมีความถูกต้องแม่นยำทางตำแหน่งดีขึ้น เนื่องจากที่ระดับแมกนีโตโมทิฟฟอร์ระดับเดียวกัน ช่องอากาศขนาดเล็กจะให้ค่าฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่า ซึ่งมีผลทำให้มีค่าทอร์กสูงกว่า และทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการเคลื่อนที่จากจุดสมดุลมีน้อยกว่าช่องอากาศขนาดใหญ่

(2) สำหรับโครงสร้างที่ต้องการมุมสตีปขนาดเล็กความสัมพันธ์ระหว่างมุมสตีป ( $\theta_s$ ) มุมเฟส (m) จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์ ( $N_r$ ) และจำนวนสตีป (S) หาได้จากสมการ

$$S = 360/\theta_s - mN_r$$

(2.1)

เพื่อจะลดขนาดมุมสตีปลง จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์จะต้องเพิ่มขึ้น ซี่ฟันของสเตเตอร์จะต้องเพิ่มขึ้นด้วย โดยโครงสร้างแต่ละตัวของเฟสใด ๆ จะมีหลายซี่ฟัน แต่จะนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ไม่ใช่ของค้ประกอบโดยตรงที่จะกำหนดมุมสตีปของสตีปปีงมอเตอร์

(3) การสร้างสตีปปีงมอเตอร์ให้มีโครงสร้างแบบหลายสเตค เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในเรื่องของทอร์ก การสร้างสตีปปีงมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้ให้มีโครงสร้างแบบหลายสเตคนี้แต่ละสเตคจะถูกกำหนดเป็นหนึ่งเฟส โดยโรเตอร์และสเตเตอร์จะมีซี่ฟันเหมือนกัน ระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์เพื่อช่วยเพิ่มทอร์กต่อหน่วยปริมาตรของโรเตอร์ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของแมชชีน (machine)

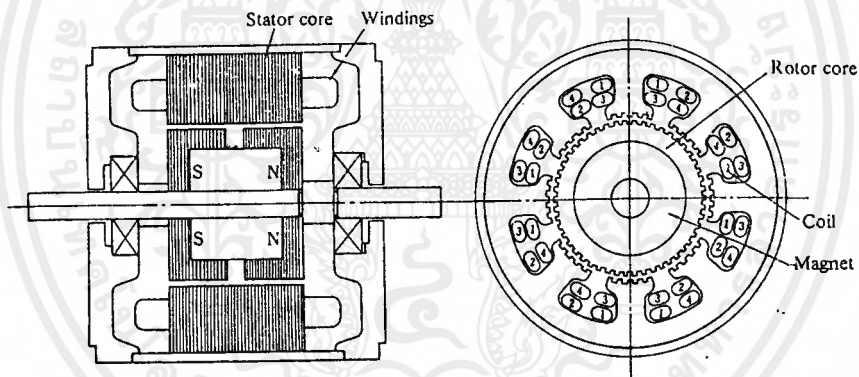
### 3) สตีปปีงมอเตอร์แบบไฮบริด

เป็นรูปแบบหนึ่งของสตีปปีงมอเตอร์ซึ่งมีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร ไฮบริดหมายถึงการทำงานร่วมกันของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร และมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้ สตีปปีงมอเตอร์แบบไฮบริดมีโครงสร้างของสเตเตอร์คล้ายกับโครงสร้างของสตีปปีงมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้ แต่การต่อขลวดต่างกันโดย

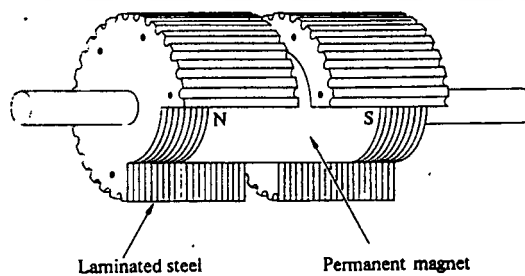
หนึ่งในเฟสของสเต็ปป์มอเตอร์แบบแปรค่ารีล็กแดนซ์ได้จะมีสองขดลวดของสองเฟสถูกพันอยู่ที่ขั้วเดียวกัน โดยที่ขั้วหนึ่งจะไม่ใช่ของเฟสใดเฟสหนึ่ง

คุณสมบัติที่สำคัญของสเต็ปป์มอเตอร์แบบไฮบริด คือ โครงสร้างของมอเตอร์มีแม่เหล็กถาวรอยู่ที่กึ่งกลางระหว่างเฟสทั้งสอง การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กทำได้โดยใช้สนามแม่เหล็กซึ่งสร้างจากสเตเตอร์ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กแบบเฮเทอโพลาร์ (heteropolar field) ดังนั้น ทอร์กเกิดจากการทำงานร่วมกันของสนามแม่เหล็กสองชนิดคือ สนามจากแม่เหล็กถาวร และสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดจากการกระตุ้นของขดลวดแต่ละขด โครงสร้างของซี่ฟันของสเตเตอร์จะใหญ่กว่าซี่ฟันของโรเตอร์เล็กน้อย เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำทางตำแหน่งของการเคลื่อนที่

หลักการการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์แบบไฮบริดที่แตกต่างจากสเต็ปป์มอเตอร์แบบแปรค่ารีล็กแดนซ์ได้ คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กจะไม่ขึ้นอยู่กับกระแสที่ผ่านขดลวดอย่างเฉยแต่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของซี่ฟันด้วย ซึ่งซี่ฟันถูกออกแบบเพื่อให้ได้โครงสร้างขนาดเล็ก และใช้แม่เหล็กถาวรเป็นแกนกลางเพื่อลดผลของการออสซิลเลตทางแมคคานิกส์



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างสเต็ปป์มอเตอร์แบบไฮบริด



รูปที่ 2.11 แสดงหลักการการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์แบบไฮบริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของสเต็ปป์มอเตอร์แบบไฮบริด คือ มีขนาดสเต็ปขนาดเล็กมีความละเอียดของสเต็ปต่อรอบสูง มีค่าทอร์คสูงกว่าสเต็ปป์มอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้ แต่สเต็ปป์มอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้มีแรงเฉื่อยแบบแมคคานิกส์น้อยกว่าสเต็ปป์มอเตอร์แบบไฮบริด

นอกจากสเต็ปป์มอเตอร์ทั้งสามชนิดที่กล่าวมาแล้ว ยังมีสเต็ปป์มอเตอร์ชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงอีก เช่น ลิเนียร์สเต็ปป์มอเตอร์ ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ได้รับการออกแบบให้มีการเคลื่อนที่แบบเป็นเชิงเส้น อิเล็กทรอนิกส์โรติกสเต็ปป์มอเตอร์กำลังสูง สำหรับใช้ในอุตสาหกรรม เป็นต้น

#### 2.1.4 สัญลักษณ์ต่าง ๆ ของสเต็ปป์มอเตอร์

$N_r$	=	จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์
$N_s$	=	จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์
$N_p$	=	จำนวนเฟส
$P_r$	=	ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันโรเตอร์ (องศา)
$P_s$	=	ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของสเตเตอร์ (องศา)
$\theta_n$	=	มุมสเต็ป (องศา)
$R_s$	=	อัตราการสเต็ปหรือความเร็วในการสเต็ป (สเต็ป/รอบ)
$X$	=	$N_s/N_p$ = จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ต่อเฟส

#### 2.1.5 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสเต็ปป์มอเตอร์

(1) ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันโรเตอร์และสเตเตอร์

$$P_r = 360/N_r \quad P_s = 360/N_s \quad (2.2)$$

(2) มุมสเต็ป (step angle)

เมื่อโรเตอร์เคลื่อนไหวนขนาดมุม  $P_r$  ได้เท่ากับ  $N_p$  สเต็ป ดังนั้นเราจะหามุมสเต็ปได้

$$\theta_n = P_r/N_p = 360/N_r N_p \text{ องศา/สเต็ป} \quad (2.3)$$

มุมสเต็ปจะเท่ากับความแตกต่างระหว่าง  $P_r$  และ  $P_s$  ดังนั้น เราจะหามุมสเต็ปได้เป็น

$$\theta_n = |P_r - P_s| \text{ องศา/สเต็ป} \quad (2.4)$$

(3) อัตราการสเต็ป (stepping rate)

ความเร็วในการสเต็ปต่อรอบ (360 องศา) หาได้เป็น

$$R_s = 360/\theta_n = N_r N_p \text{ สเต็ป/รอบ} \quad (2.5)$$

(4) ความเร็วของสเต็ปป์มอเตอร์ (speed of step motor)

เมื่อเราป้อนอินพุตพัลส์ที่มีความถี่ ( $f$ ) สเต็ปต่อพัลส์ให้กับสเต็ปป์มอเตอร์ มอเตอร์จะสเต็ปได้ด้วยความเร็ว (สเต็ป/พัลส์)  $\times f$  (พัลส์/วินาที)

$$1/R_s \text{ (รอบ/สเต็ป)} \times f \text{ (พัลส์/วินาที)} \text{ (สเต็ป/พัลส์)} \times 60 \text{ (วินาที/นาที)} \quad (2.6)$$

$$\text{ความเร็วของมอเตอร์ (w)} = f/R_s = 60 f/N_r N_p \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ  $X = R_p/N_p (N_p + 1) = N_p/(N_p + 1)$  (2.8)

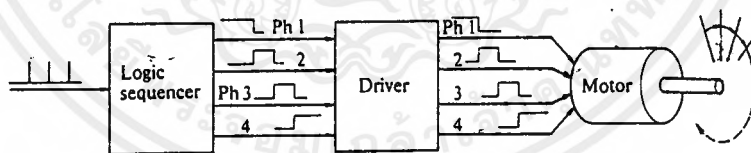
จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (X) สัมพันธ์กับอัตราสเตเตอร์หรือจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์

2.1.6 การควบคุมการทำงานของสเตเตอร์มอเตอร์

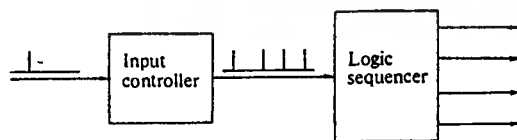
วงจรที่ใช้ควบคุมสเตเตอร์ส่วนใหญ่เป็นวงจรลอจิก และวงจรภาคกำลัง ซึ่งใช้สำหรับสเตเตอร์มอเตอร์แบบแปรค่ารีล็กแทนซีได้ สเตเตอร์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรและสเตเตอร์มอเตอร์แบบไฮบริดประสิทธิภาพของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับขั้วที่ใช้เช่น โคนามิกส์ทอร์ค ความเร็ว การตอบสนองต่อความถี่ และการแดมป์ (damping) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมี พารามิเตอร์บางอย่าง เช่น ประสิทธิภาพ และการสูญเสียกำลัง ก็ขึ้นอยู่กับวงจรขั้วเช่นกัน

รูปแบบการควบคุมสเตเตอร์โดยทั่วไป เป็นการควบคุมภาคกำลัง และลำดับการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเฟสต่าง ๆ ของสเตเตอร์ วงจรกำลังจะทำงานในทิศทางเดียวหรือ 2 ทิศทาง ขึ้นอยู่กับวงจรจัดลำดับลอจิก ซึ่งใช้เป็นสัญญาณขั้วเบสของทรานซิสเตอร์กำลัง ซึ่งจะเพิ่มขนาดสัญญาณเพื่อจ่ายกระแสให้ขดลวดของมอเตอร์และต้องใช้วงจรจำกัดกระแส เมื่อใช้การดันแบบใช้แรงดันเกินเพื่อรักษาเสถียรภาพการทำงานของสเตเตอร์และใช้วงจรจำกัดแรงดันเกินเพื่อจำกัดสไปค์โวลท์เตจ (spike voltage) ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยของการใช้งานทรานซิสเตอร์กำลัง

วงจรจัดลำดับลอจิก (sequencer logic circuit) จะมีการทำงานเป็นลักษณะของวงจรมับแบบวงแหวนซึ่งมีขนาดเท่ากับจำนวนเฟสของสเตเตอร์ การใช้วงจรจัดลำดับลอจิกจะกระตุ้นวงจรขั้วได้ครั้งละครั้งเฟสเรียงตามลำดับกันไป



(a) From logic sequencer to motor



(b) Input controller

รูปที่ 2.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมการขับสเตเตอร์มอเตอร์

สัญญาณจากวงจรจัดลำดับลอจิกจะต้องถูกขยายให้เพียงพอที่จะจ่ายให้กับสเต็ปป์มอเตอร์ ดังนั้น จึงต้องป้องกันสัญญาณนี้ให้กับวงจรทรานซิสเตอร์กำลังอีกทีหนึ่งเพื่อจะเพิ่มค่ากระแสให้เพียงพอที่จะจ่ายให้ขดลวดของสเต็ปป์มอเตอร์

### 2.1.7 การสั่งให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์หมุน

เราสามารถสั่งให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์หมุนได้ 3 อย่าง คือ

2.1.7.1 แบบจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เฟสเดียววนเวียนกันไปเรียก One-Excitation หรือ Half Drive คือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 การ Excitation แบบนี้แรงบิดจะน้อย

2.1.7.2 แบบจ่ายกระแสไฟฟ้าให้พร้อมกันทีละ 2 เฟส เรียก Two-Excitation หรือ Full Step คือ 0102, 0203, 0304, 0401 หมุนเวียนกันไป

2.1.7.3 แบบจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ทีละ 1 เฟส สลับกับ 2 เฟสเรียก One-Two Excitation หรือ Half Step เหมือนรูปแสดงมุมของโรเตอร์ในตารางที่ 2 แต่แบบนี้จำนวน Step จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของสองแบบแรก แต่แรงบิดเฉลี่ยจะน้อย

จากการจ่ายกระแสไฟเฟสทั้ง 3 อย่าง เราก็สามารถสั่งให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ หมุนทวนเข็มนาฬิกาได้โดยมองการจ่ายกระแสให้เฟสย้อนกลับ เช่น ตามเข็มนาฬิกาแบบ Full Step

### ตารางที่ 2.1 การจ่ายกระแสไฟให้กับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Full Step

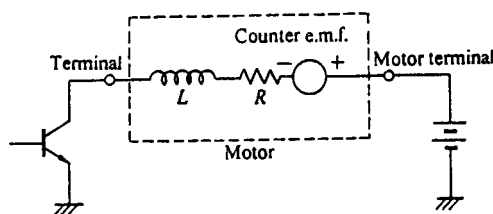
04	03	02	01
1	0	0	1
0	0	1	1
0	1	1	0
1	1	0	0

หมุนตามเข็มนาฬิกา จะเป็น 0104, 0102, 0203, 0304

หมุนทวนเข็มนาฬิกา จะเป็น 0403, 0302, 0201, 0104

### 2.1.8 หลักการออกแบบวงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์

การพิจารณาหลักการออกแบบวงจรขับกำลัง ได้คำนึงถึงหลายแฟกเตอร์ด้วยกัน เนื่องจากการหมุนของสเต็ปป์มอเตอร์จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับซึ่งจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง ซึ่งจะเขียนวงจรสมมูลย์ 1 เฟส ของสเต็ปป์มอเตอร์ได้ ดังรูป



รูปที่ 2.13 แสดงวงจรสมมูลของสแต็ปปีงมอเตอร์

สแต็ปปีงมอเตอร์ถูกออกแบบให้ทนความร้อนได้สูงถึง 100 องศาเซลเซียสแต่ในการใช้งานจริงจะถูกใช้งานที่เงื่อนไขต่ำกว่าจุดอิมิตัวที่กำหนดมา แต่ในการขับสแต็ปปีงมอเตอร์ต้องเลือกใช้อุปกรณ์ที่กินกระแสสูงเนื่องจากแต่ละเฟสต้อง on และ off อยู่ตลอดเวลา ดังนั้น จึงต้องออกแบบป้องกันทรานซิสเตอร์กำลังสไปค์โวลต์เตจที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของกระแสในขดลวด และโวลต์เตจเบรคดาวน์ เพื่อป้องกันการเสียหายของทรานซิสเตอร์กำลัง

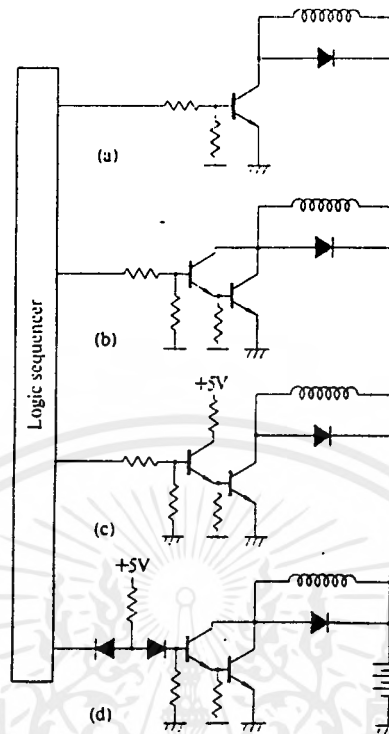
### 2.1.9 ปัญหาของวงจรขับสแต็ปปีงมอเตอร์และการแก้ปัญหา

วงจรจำกัดแรงดันเกิน (suppression circuit)

ปัญหาหลักสองอย่างของการควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์ การยกกระดัดกระแส และการยกกระดัดของกระแสเมื่อมีการ on และ off ของวงจรขับในแต่ละเฟสและเมื่อใช้งานสแต็ปปีงมอเตอร์ที่ความถี่สูงขึ้นเวลาในการ on ของแต่ละเฟสจะไม่เพียงพอที่จะทำให้การยกกระดัดกระแสมาถึงระดับที่ต้องได้ทัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหนี่ยวนำของขดลวดเฟส และเมื่อหยุดจ่ายพลังงานให้กับเฟสที่ถูกกระตุ้น กระแสไม่ได้ลดลงทันทีแต่จะมีการลดระดับของกระแสลงช้า ๆ เป็นผลทำให้การตอบสนองของเฟสถัดมาช้าลงหรือตอบสนองไม่ทันซึ่งมีผลทำให้สแต็ปปีงมอเตอร์ทำงานได้

พิจารณาวงจรสมมูลของการจ่ายพลังงานให้แต่ละเฟส เมื่อไม่สนใจโวลต์เตจคร่อมทรานซิสเตอร์ Q1 กระแสคงตัวในขดลวดมีค่าเท่ากับ  $V/R_m$  เมื่อทรานซิสเตอร์ Q1 หยุดนำกระแสพลังที่เหนื่ออยู่ในขดลวด จะพยายามไหลในทิศทางเดิม การหยุดนำกระแสของทรานซิสเตอร์ Q1 โวลต์เตจคร่อมทรานซิสเตอร์ Q1 จะมีค่าเท่ากับ  $L \cdot di/dt$  จะเกิดโวลต์เตจสไปค์ซึ่งมีค่ามากกว่า  $V_{ce}$  จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิด การเบรคดาวน์ของทรานซิสเตอร์ เนื่องจากลักษณะการพันขดลวดของสแต็ปปีงมอเตอร์ เป็นสาเหตุให้เกิดสไปค์โวลต์เตจได้ง่าย ดังนั้น จึงต้องป้องกันสไปค์โวลต์เตจให้อยู่ในระดับที่ทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัย ดังนั้น วงจรขับควรจะมีวงจรจำกัดแรงดันเกิน สำหรับป้องกันการเกิดสไปค์โวลต์เตจให้กับทรานซิสเตอร์กำลัง รูปแบบของวงจรจำกัดแรงดันเกินแสดงดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 วงจรจำกัดแรงดันเกินโดยใช้ไดโอด

### 2.1.10 สไปค์โวลต์เดจซ์เพรสเซอร์

เมื่อทรานซิสเตอร์ในรูป 2.13 มีสถานะออฟอย่างทันทีทันใด จะมีแรงดัน (spike voltage) ที่มีค่ามากเกิดขึ้นตามสมการ

$$V = L ( di/dt ) \quad (2.9)$$

และแรงดันที่เกิดขึ้นนี้เองจะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหาย ซึ่งมีวิธีอยู่หลายวิธีที่สามารถที่จะลดแรงดันนี้ไม่ให้ทำลายทรานซิสเตอร์ได้

#### (1) ใช้ ไดโอดซัพเพรสเซอร์

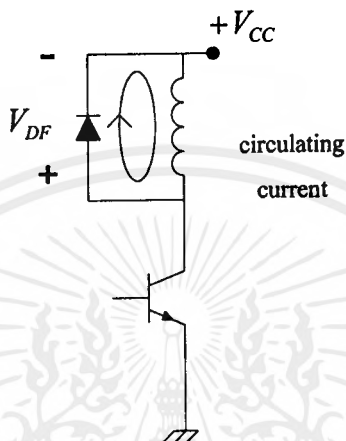
เมื่อเกิดกระแสไหลวน (Circulating Current) หลังจากที่ทรานซิสเตอร์ turn off ทำให้กระแสสลายไปเมื่อเวลาผ่านไป จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสอย่างมากมาย ถ้ามีไดโอดต่ออยู่ในวงจรดังรูป 2.15 เพราะศักดาที่คอลเลกเตอร์จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{CB} = E + V_{DF} \tag{2.10}$$

เมื่อ  $V_{DF}$  ก็คือ Forward Voltage ของไดโอด

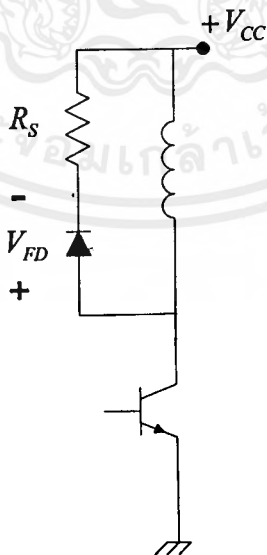
แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ กระแสไหลวนที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงเวลาที่นาน และจะผลิตแรงบิดหยุดมอเตอร์ (Braking Torque)



รูปที่ 2.15 ไดโอดชัฟเฟรสเซอร์

(2) ไดโอดและรีซิสเตอร์ชัฟเฟรสเซอร์

วงจรมีลักษณะคล้ายกันกับไดโอดชัฟเฟรสเซอร์ โดยจะมีตัวต้านทานต่ออนุกรมเข้าไปกับไดโอดคั้งรูป



รูปที่ 2.16 ไดโอด - รีซิสเตอร์ชัฟเฟรสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานที่ใส่เข้าไปเพื่อจะทำให้เวลา ในการเกิดกระแสไหลวนลดน้อยลงไปและจะได้

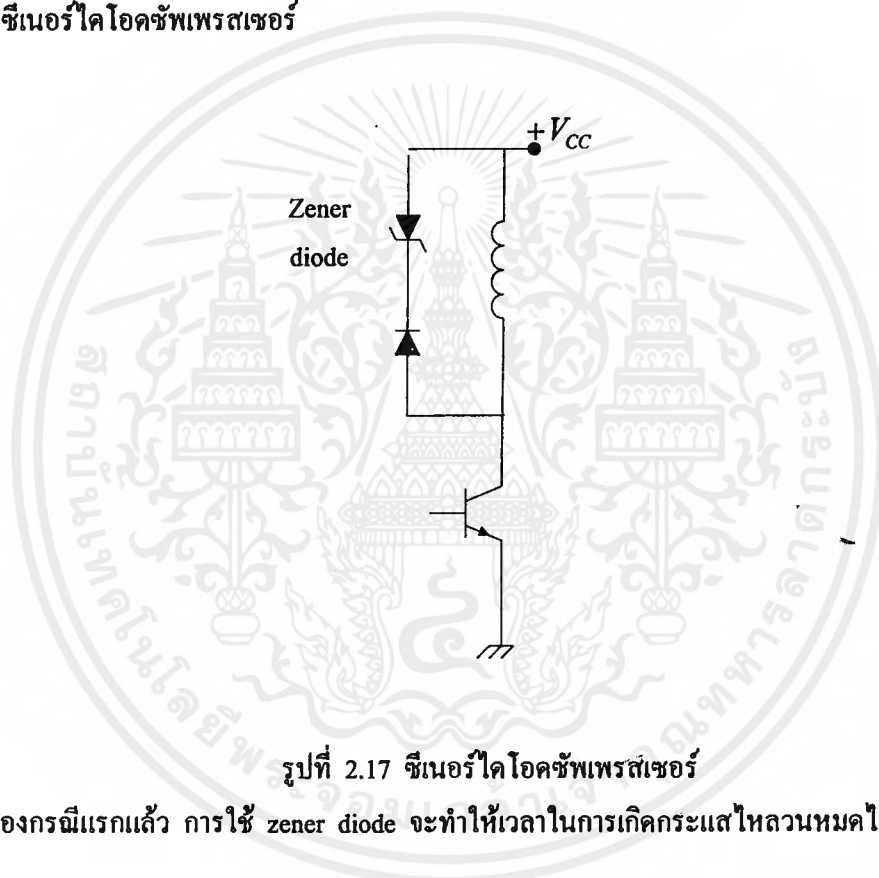
$$V_{CE} = E + IR_s + V_{DF} \quad (2.11)$$

เมื่อ  $E$  = ศักไฟฟ้าของแหล่งจ่าย

$I$  = กระแสในขณะก่อนการ turn off

$R_s$  = ค่าความต้านทานของ ชัฟเฟรสเซอร์รีซิสเตอร์

### (3) ซีเนอร์ไดโอดชัฟเฟรสเซอร์

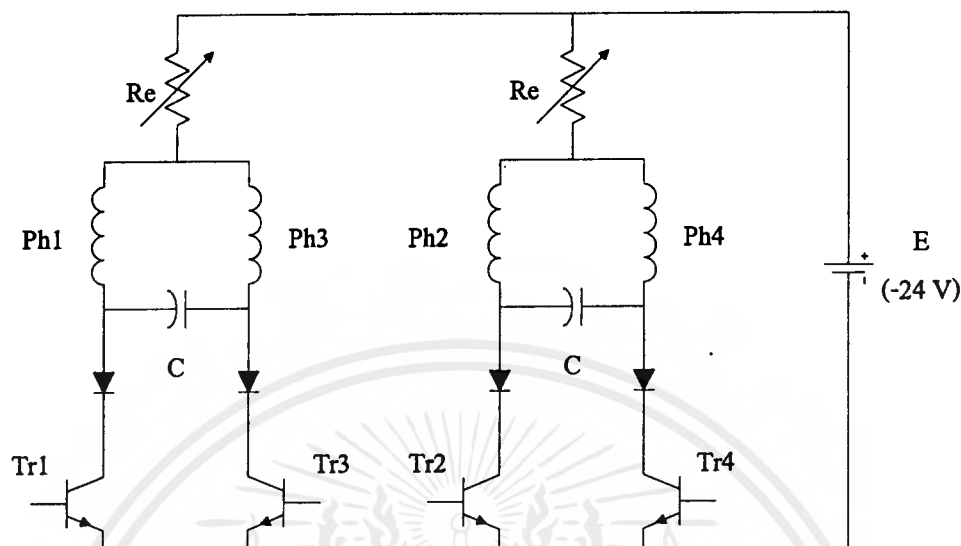


รูปที่ 2.17 ซีเนอร์ไดโอดชัฟเฟรสเซอร์

เมื่อเทียบกับสองกรณีแรกแล้ว การใช้ zener diode จะทำให้เวลาในการเกิดกระแสไหลวนหมดไปเร็วยิ่งขึ้น

### (4) คอนเดนเซอร์ชัฟเฟรสเซอร์

วงจรชัฟเฟรสเซอร์ในรูปแบบ คอนเดนเซอร์ชัฟเฟรสเซอร์ นี้มักจะถูกใช้กับ Bipolar – Wound Motor ซึ่งวงจรแสดงได้ในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 สเต็ปมอเตอร์แบบสี่เฟสประกอบด้วยคอนเดนเซอร์ซัพเพรสเซอร์

จากรูปตัวเก็บประจุ (Condensor) จะถูกใส่ระหว่างเฟส 1 กับเฟส 3 และเฟส 2 กับเฟส 4 และตัวเก็บประจุนี้จะถูกใช้เมื่อทรานซิสเตอร์ turn off ตัวเก็บประจุที่เชื่อมต่อระหว่างไดโอดจะถูกดูดซับกระแสที่เกิดจากขดลวด เพื่อที่จะป้องกันทรานซิสเตอร์ พิจารณาตัวอย่างต่อไปนี้คือ เมื่อ Tr1 turn off เพราะฉะนั้น Tr2 และ Tr4 ก็ turn on แต่ Tr3 ยังคง turn off อยู่ ดังนั้นขดลวดเฟสที่ 1 และเฟสที่ 3 ซึ่งเป็นกระแสออสซิลเลทที่มีทิศทางตรงข้ามกัน (Oscillating Component Current) ทำให้เกิดกระแสดรอป (Transient Current) จะไหลวนในลูปตามเส้นประในรูป ถ้า Tr3 turn on เมื่อกระแสทรานเซียนกลายเป็น 0 นั่นคือ ตัวเก็บประจุจะเก็บประจุจนมีประจุมากที่สุด ดังนั้นกระแส  $f$  ด้านบวกจากประจุ  $c$  ก็จะ Discharge ไหลผ่านขดลวดเฟส 1 ได้ อย่างง่ายดาย โดยขบวนการกำร (Resonance) ดังนั้นกระแสจะถูกใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการใช้ตัวเก็บประจุนี้เหมาะสมที่จะไปใช้กับ Stepping Motor ที่พิกัดที่จำกัดในขอบเขตที่แคบๆ ซึ่งเราจะใช้คอนเดนเซอร์ซัพเพรสเซอร์ เป็นตัวหน่วงทางไฟฟ้า (Electrical Damper) ช่วยหน่วงโรเตอร์ไม่ให้เกิดการออสซิลเลท

## 2.2 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์

ทรานซิสเตอร์มีลักษณะสมบัติการทำงานได้สามสถานะ คือ แอคทีฟ คัทออฟ และอิ่มตัว การใช้งานทรานซิสเตอร์ ในสถานะแอคทีฟที่เราได้ผ่านมามากแล้ว ในที่นี้เราจะให้ทรานซิสเตอร์ทำงานอยู่ในสถานะ คัท เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

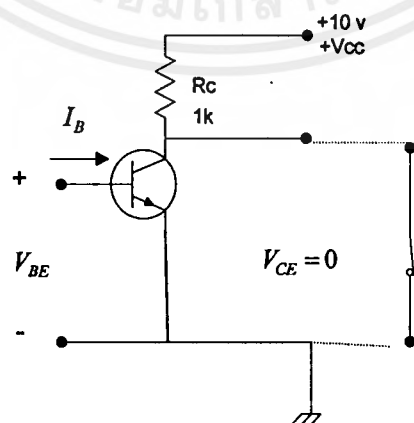
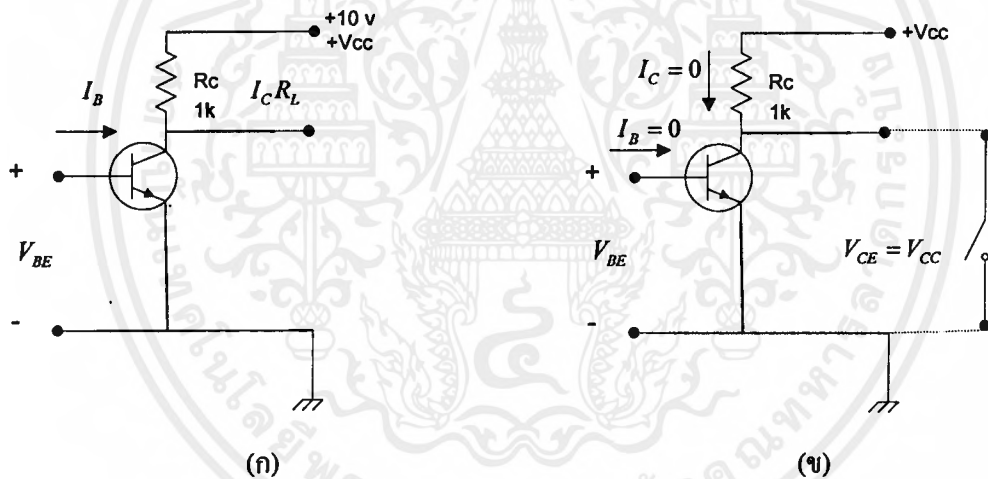
ออฟและอิมิตัว นั่นก็คือต้องการให้ทรานซิสเตอร์มีคุณสมบัติเป็นสวิตช์ ในขณะที่ทรานซิสเตอร์คัทออฟนั้นมีกระแสรั่วไหลได้เพียงเล็กน้อยจนเสมือนไม่มีกระแสไหลหรือเป็นสวิตช์ในสภาวะเปิดวงจร (off) และเมื่อทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะอิมิตัว จะมีกระแสไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์ได้มากเสมือนกับว่าทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะออนปิดวงจร (on)

การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ในอุดมคติ

รูปที่ 2.19 (ก) เป็นวงจรทรานซิสเตอร์ชนิดอิมิตเตอร์ร่วมที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ โดยตัวทรานซิสเตอร์เสมือนเป็นสวิตช์ให้กับโหลด  $R_L$  ที่ต่อระหว่าง  $V_{CC}$  กับขาคอลเลกเตอร์ของตัวทรานซิสเตอร์ส่วนขาอิมิตเตอร์ต่อลงกราวด์ ทรานซิสเตอร์จะกระทำตัวคล้ายกับเป็นสวิตช์ ซึ่งจะสวิตช์ปิดเปิดระหว่างขาคอลเลกเตอร์กับอิมิตเตอร์ ส่วนของแรงดันอินพุตที่ป้อนเข้าที่เบสทำตัวเป็นส่วนควบคุมการทำงานของสวิตช์ ถ้าจะพิจารณาตามกฎของเคิชโฮฟเราจะพบว่าส่วนของแรงดัน  $V_{CE}$  สามารถหาได้จาก

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_L \quad (2.12)$$

เมื่อแรงดันที่เบส-อิมิตเตอร์มีค่าเป็นศูนย์ หรือป้อนกลับที่ขั้วเบสอิมิตเตอร์ ส่วนของกระแส  $I_B$  จะมีค่าเป็นศูนย์ด้วย กระแสคอลเลกเตอร์จะพลอยมีค่าประมาณเท่ากับศูนย์ด้วย ในภาวะเช่นนี้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะคัทออฟ นั่นคือแรงดันที่ตกคร่อมโหลดจะมีค่าเป็นศูนย์ (เพราะกระแส  $I_C = 0$ )



รูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันตกคร่อม  $V_{CE}$  หาได้จาก

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - (0 \times R_L) \\ &= V_{CC} \end{aligned}$$

นั่นคือเมื่อทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะคัทออฟ แรงดันที่คอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะมีค่าประมาณเท่ากับแรงดัน  $V_{CC}$

ถ้านำมาทำให้แรงดันที่เบสมีค่าเป็นบวก หรือป้อนกระแส  $I_b$  จนทำให้ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว จะทำให้มีกระแสคอลเลกเตอร์  $I_C$  ไหลได้เป็นจำนวนมากมาย ดังนั้นแรงดันตกคร่อมโหลดจะมีค่าเป็น  $I_C R_L$  ซึ่งมีค่าประมาณได้เท่ากับ  $V_{CC}$  และจากสมการเดิมเราสามารถหา  $V_{CE}$  ได้เป็น

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - V_{CC} \\ &= 0 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

หรือกล่าวได้ว่าทรานซิสเตอร์อิ่มตัวหรืออนเป็นผลให้  $V_{CE}$  มีค่าประมาณเท่ากับศูนย์ จากลักษณะคุณสมบัติทางอุดมคตินี้เองทำให้เราเห็นว่ากำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นกับทรานซิสเตอร์พลอยมีค่าเป็นศูนย์ด้วยทั้งนี้เพราะ

$$P_D = I_C \times V_{CE} \tag{2.13}$$

เมื่อคิดว่าทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะคัทออฟ  $I_C = 0$

$$P_D = 0 \times V_{CE} = 0$$

เมื่อคิดว่าทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะอิ่มตัว  $V_{CE} = 0$

$$P_D = I_C \times 0 = 0$$

การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ตามความเป็นจริง

เพื่อให้เข้าใจลักษณะการใช้งานจริงๆ ของทรานซิสเตอร์ เราจะต้องมาพิจารณาดูกันว่าการทำงานของมันแตกต่างจากคุณสมบัติในทางอุดมคติอย่างไร และสิ่งที่จะทำให้เห็นได้ชัดคือกราฟลักษณะคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ จากสมการเดิม เมื่อ  $I_C = 0$ ,  $V_{CE} = V_{CC} - 0$  ซึ่งค่า  $V_{CE}$  จะมีค่าเท่ากับ  $V_{CC} = 10$  โวลต์ เราหาค่า  $I_C$  ได้ดังนี้

$$0 = V_{CC} - I_C R_L$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

$$R_L$$

$$= \frac{10 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 10 \text{ mA}$$

$$1 \text{ k}\Omega$$

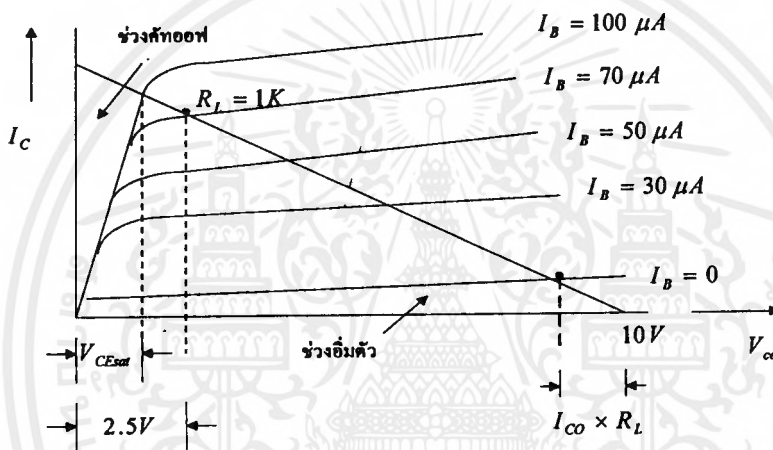
ร่างจุด B ลงบนกราฟลักษณะสมบัติที่  $V_{CE} = 0$  และ  $I_C = 10 \text{ mA}$  ลากเส้นสมการโหลดซึ่งเป็นเส้นที่เชื่อมต่อกับ A B (รูปที่ 2.20)



เส้นสมการโหลดนี้จะเป็นตัวบอกค่าแรงดันที่จุดค่ากระแส  $I_C$  มีค่าต่างๆ แรงดัน  $V_{CE}$  ก็พลอยมีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ส่วนของกราฟในส่วนบริเวณแรงจะเป็นส่วนที่เรียกว่า อิมิตัว และคัทออฟ

เมื่อทำให้ทรานซิสเตอร์คัทออฟหรือให้ค่ากระแส  $I_B = 0$  ถ้าเราดูจากกราฟเราจะเห็นว่าค่าแรงดัน  $V_{CE}$  ที่ได้จะมีค่าน้อยกว่า  $V_{CC}$  นั่นคือจะต้องมีกระแสบางส่วนไหลผ่านทรานซิสเตอร์ได้บ้าง กระแสส่วนนี้เรียกว่า กระแสรั่วไหล ( $I_{CEO}$ ) ดังนั้นค่าแรงดัน  $V_{CE}$  จริงๆ สามารถคำนวณได้จาก

$$V_{CE} = V_{CC} - I_{CEO} R_L \quad (2.14)$$



รูปที่ 2.20 กราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์

เมื่อ  $V_{CC} = 10$  โวลต์  $R_L = 1k\Omega$  และ  $I_{CEO} = 1\mu A$

$$V_{CE} = 10V - (1\mu A \times 1k\Omega)$$

$$= 9.999 \text{ โวลต์}$$

$$\approx V_{CC}$$

ครั้งเมื่อเราพิจารณาทางด้านอิมิตัวบ้าง เราจะเห็นว่าเมื่อทรานซิสเตอร์เข้าสู่ภาวะอิมิตัวแรงดัน  $V_{CE}$  ที่เกิดขึ้นจะยังไม่มามีค่าเป็นศูนย์จะมีค่าประมาณเท่ากับ  $V_{CE SAT}$  (ประมาณ 0.2 โวลต์)

เงื่อนไขของการทำให้ทรานซิสเตอร์ออนหรืออิมิตัว เราอาจจะทำให้ทรานซิสเตอร์อิมิตัวด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. ถ้าเราทำการออกแบหรือคำนวณค่า  $I_B$  และ  $I_C$  ได้จากวงจร ค่าที่ปรากฏเมื่อ  $I_B > I_C/h_{FE}$  จะทำให้ทรานซิสเตอร์อิมิตัว
2. ทรานซิสเตอร์จะอิมิตัวเมื่อทำการไบแอสแรงดันระหว่างเบสอิมิตเตอร์ชนิดไบอัสตรง

เงื่อนไขของการทำให้ทรานซิสเตอร์ออฟหรือคัทออฟ ทรานซิสเตอร์จะอยู่ในสภาวะคัทออฟเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
039108  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. รอยต่อระหว่างเบสและอิมิตเตอร์จะอยู่ในลักษณะไบอัสกลับหรือแรงดัน  $V_{BE}$  มีค่าเป็นศูนย์
2. กระแสเบสมีค่าเท่ากับศูนย์

สิ่งหนึ่งที่ช่วยเราในการออกแบบการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์คือการกำหนดค่า  $h_{FE \min}$  หรือค่า  $h_{FE}$  ที่มีค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ ทรานซิสเตอร์จะอิ่มตัวเมื่อกำหนดอัตราส่วนของกระแส  $I_C/I_B = h_{FE \min}$  คึงตัวอย่างเช่นเมื่อต้องการออกแบบวงจรทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็นสวิตช์ โดยที่  $I_B = 0.2 \text{ mA}$  จงคำนวณหาค่า  $h_{FE \min}$  โดยสมมุติวงจรที่ใช้เป็นวงจรรูปที่ 31.1 กรณีอิ่มตัวค่า  $I_C$  หาได้จาก

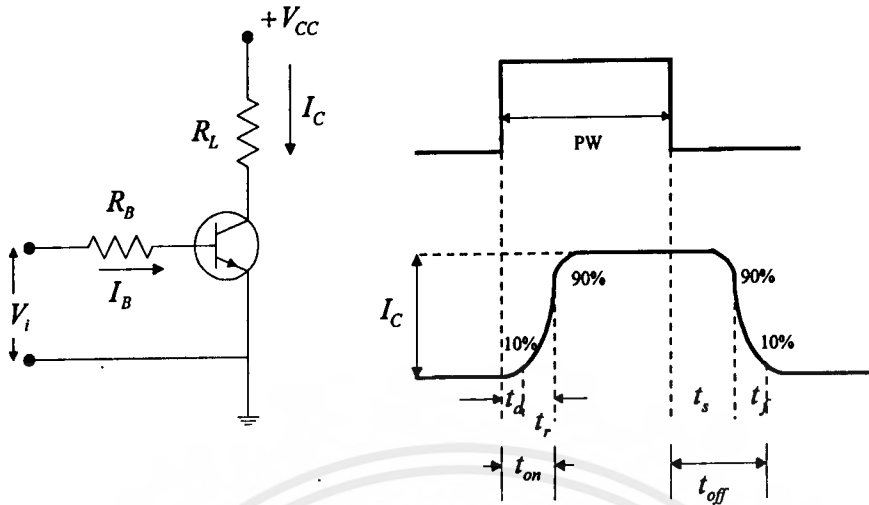
$$I_C \approx \frac{V_{CC}}{R_L} \\ = 10 \text{ mA}$$

ดังนั้นค่า  $h_{FE \min}$  ของทรานซิสเตอร์คือ

$$h_{FE \min} = \frac{10 \text{ mA}}{0.2 \text{ mA}} = 50$$

นั่นหมายความว่าเราใช้ทรานซิสเตอร์อะไรก็ได้ที่มีอัตราขยาย  $h_{FE} > 50$  จะทำให้มันอยู่ในสภาวะอิ่มตัวได้

ช่วงเวลาการสวิตช์เป็นสิ่งที่สำคัญมากประการหนึ่งในการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความถี่สูง ถ้าพิจารณาการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์ตามรูปที่ 2.19 ซึ่งให้ความสัมพันธ์ของกระแสเบสกับกระแสคอลเลกเตอร์เมื่อป้อนกระแสเบสในทันทีทันใด ทรานซิสเตอร์ไม่สามารถมาอยู่ในสภาวะอิ่มตัวได้ทันที ช่วงเวลาความแตกต่างระหว่างกระแสคอลเลกเตอร์กับกระแสเบสในขณะเริ่มสวิตช์นี้เรียกว่า ช่วงเวลาหน่วง (delay time)  $t_d$  ช่วงเวลานี้เรานิยามได้โดยเป็นระยะเวลาห่างจากจุดเริ่มต้นของการสวิตช์ จนถึงกระแสคอลเลกเตอร์เพิ่มขึ้นเป็น 10% ของกระแสคอลเลกเตอร์อิ่มตัว นอกจากนี้ ช่วงเวลาขาขึ้น ยังปรากฏที่กระแสเอาต์พุตด้วย ช่วงเวลาขาขึ้นและช่วงเวลาหน่วงรวมเรียกว่า ช่วงเวลาออน (on time)



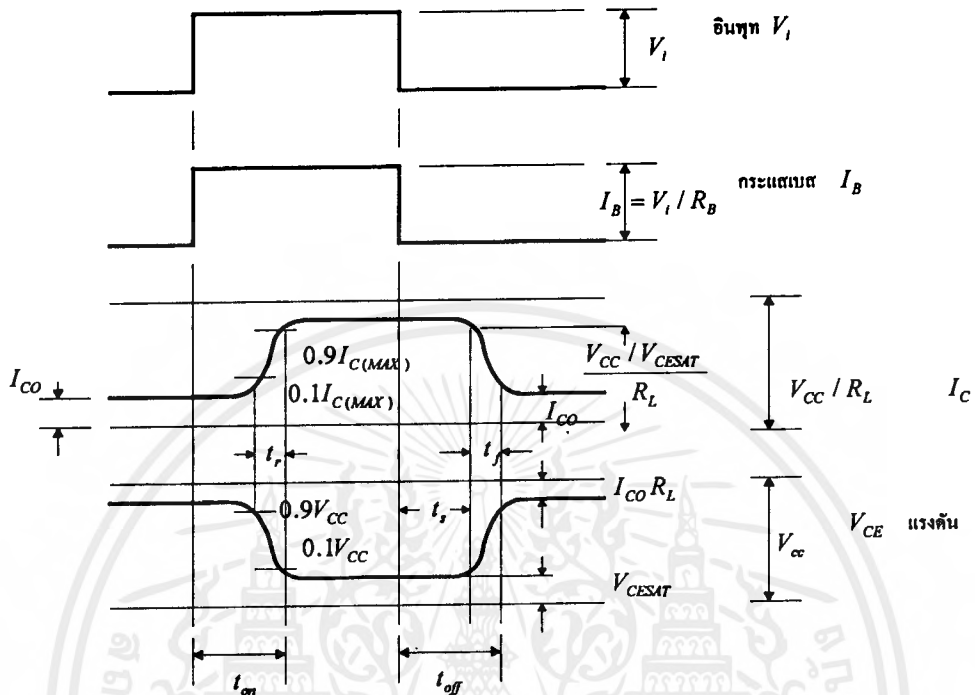
รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตในวงจรทรานซิสเตอร์สวิตชิง

ในทำนองเดียวกันทรานซิสเตอร์ก็ไม่สามารถที่จะกัพอฟได้ในทันทีทันใด ช่วงเวลาการกัพอฟประกอบด้วย ช่วงเวลาสะสม (storage time)  $t_s$  และช่วงเวลาขาด (fall time)  $t_f$  ช่วงเวลาสะสมเป็นผลมาจากการสะสมประจุเมื่อทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะอิ่มตัวส่วนของประจุสะสมที่บริเวณรอยต่อ ครั้นเมื่อทำให้ทรานซิสเตอร์กัพอฟประจุส่วนนี้ยังหลงเหลืออยู่เล็กน้อย ช่วงเวลาสะสมนี้เป็นช่วงเวลาที่นับตั้งแต่การเริ่มทำให้ทรานซิสเตอร์กัพอฟจนถึงเวลาที่กระแสคอลเลกเตอร์ลดลงเหลือ 90% ของค่ากระแสอิ่มตัว ส่วนช่วงเวลาขาดนั้นจะนับต่อมาจากกระทั่งกระแสคอลเลกเตอร์ลดลงมาเหลือเพียง 10% ของค่ากระแสอิ่มตัว โดยปกติตามคู่มือผู้ผลิตจะบอกมาเป็นช่วงเวลาออนและช่วงเวลาออฟ แต่ทรานซิสเตอร์บางตัวผู้ผลิตจะให้ข้อมูลมาทั้งหมดคือ  $t_d$ ,  $t_r$ ,  $t_s$ ,  $t_f$  ซึ่งสรุปช่วงเวลาออนและออฟได้ดังนี้

$$\text{ช่วงเวลาออน} = t_d + t_r$$

$$\text{ช่วงเวลาออฟ} = t_s + t_f$$

รูปที่ 2.22 เป็นรูปที่แสดงความสัมพันธ์ของแรงดัน  $V_C$  กระแสเบส  $I_B$  กระแสคอลเลกเตอร์และแรงดันคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์ ค่าทั้งหมดนี้เป็นการแสดงภาพตามความเป็นจริง คือในขณะที่ทรานซิสเตอร์อิ่มตัวเราจะนำเอาค่า  $V_{CESAT}$  มาใช้ด้วย นั่นคือกระแสคอลเลกเตอร์ขณะอิ่มตัวจะมีค่าเป็น  $(V_{CC} - V_{CESAT}) / R_L$  และในทำนองเดียวกันเมื่อทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะกัพอฟ ก็จะมีกระแสรั่วไหล  $I_{CEO}$  เกิดขึ้น ค่ากระแสส่วนนี้จะยังทำให้แรงดันคอลเลกเตอร์อิมิตเตอร์ไม่เท่ากับ  $V_{CC}$  แต่จะมีค่าเป็น  $V_{CC} - I_{CEO} R_L$  โดยปกติค่า  $I_{CEO}$  มีค่าน้อยมากจนในบางครั้งการออกแบบวงจรเราละเลยส่วนของกระแสนี้ได้



รูปที่ 2.22 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต

### การเพิ่มความเร็วในการสวิตช์

การสวิตช์จะยิ่งช้าลงถ้าหากว่าแรงดันที่เบสอิมิตเตอร์อยู่ในสภาวะไบอัสกลับก่อนการสวิตช์ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าตัวเก็บประจุที่บริเวณรอยต่อได้รับการไบอัสกลับมีประจุเก็บไว้ก่อน ครั้นเมื่อต้องการสวิตช์ ประจุเหล่านี้จะต้องคายออกเพื่อให้แรงดัน  $V_{BE}$  เป็นบวก ดังนั้นถ้าเราต้องการให้ช่วงเวลาการสวิตช์เร็วขึ้น แรงดัน  $V_{BE}$  ควรจะมีค่าเป็นศูนย์หรือไบอัสกลับให้น้อยที่สุด และในการลดช่วงเวลาขาขึ้น กระแส  $I_B$  ควรจะป้อนให้มีค่ามากกว่าปกติที่พอเพียงทำให้ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว การกระทำได้กล่าวจะเป็นการลดช่วงเวลาออนได้

การที่เราป้อนกระแสเบสด้วยค่ามากๆ ก็มีข้อเสียคือจะไปเพิ่มช่วงเวลาสะสม ทั้งนี้เพราะการสะสมประจุของรอยต่อทรานซิสเตอร์ในขณะที่อิมิตเตอร์ก็เป็นไปได้มาก วิธีทางหนึ่งที่จะทำให้ช่วงเวลาออฟสลับลงก็คือการให้แรงดันไบแอสที่เป็นการไบแอสกลับด้วยค่ามากกว่าปกติเพื่อเร่งการออฟให้เร็วขึ้น ซึ่งก็จะเป็นผลกับช่วงเวลาขณะออนด้วย จะเห็นได้ว่าถ้าเพิ่มความเร็วขณะอนก็มีผลขณะค่อขณะออฟ ถ้าเพิ่มความเร็วขณะออฟก็มีผลต่อขณะอน

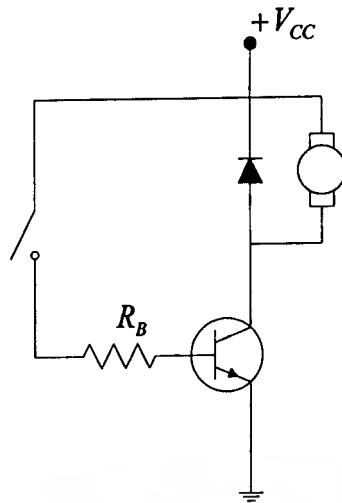
ในทางอุดมคติสำหรับการสวิทช์ให้เร็วขึ้นทั้งขณะอนและขณะออฟ เราทำได้ด้วยการให้แรงดัน  $V_{BE}$  เริ่มต้นที่ศูนย์โวลต์ และค่ากระแส  $I_B$  ในขณะที่ให้เริ่มสวิทช์อนมีค่ามากกว่าปกติแล้วกลับมาด้วยค่ากระแสเบสพอเพียงที่ทำให้ทรานซิสเตอร์อิมิตเตอร์ได้เท่านั้น และในทำนองเดียวกันเมื่อต้องการให้ทรานซิสเตอร์ออฟเราก็ทำการไบแอสกลับ  $V_{BE}$  ด้วยช่วงแรงดันมากกว่าปกติแล้วลดแรงดันมาที่ศูนย์ การกระทำเช่นนี้สามารถทำได้โดยไม่มีขากัน ด้วยการเพิ่มค่าตัวเก็บประจุขนานกับตัวต้านทาน  $R_B$  ตัวเก็บประจุนี้เรียกว่า ตัวเก็บประจุเพิ่มความเร็ว (speed up capacitor) ลักษณะของวงจรแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.23

การใส่ตัวเก็บประจุ  $C_1$  จะมีประโยชน์คือ เมื่อแรงดัน  $V_i$  เปลี่ยนระดับจาก 0 ไปเป็นบวกพอที่จะสวิทช์ทรานซิสเตอร์ได้ กระแสเบสของทรานซิสเตอร์คือกระแสผลรวมของกระแสผ่าน  $R_1$  กับกระแสที่ประจุให้  $C_1$  กระแสที่ไหลผ่าน  $C_1$  จะเริ่มมีค่ามากเพื่อประจุให้กับ  $C$  จนแรงดันคร่อม  $C$  ค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น ค่ากระแสผ่าน  $C$  ก็จะลดลง จนแรงดันคร่อม  $C$  มีค่าเท่ากับแรงดันคร่อม  $R$  แล้วกระแสผ่าน  $C$  ก็จะเป็นศูนย์ ค่าของตัวเก็บประจุ  $C$  ต้องเลือกค่าให้พอเหมาะ โดยปกติจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 10 – 30 pF ทั้งนี้เพราะเราต้องการกระแสเป็นพัลส์ในช่วงเวลาสั้นๆ ในทำนองเดียวกันเมื่อทำให้ทรานซิสเตอร์คัทออฟ หรือเปลี่ยนค่าระดับแรงดันจากค่า  $+V_i$  มาเป็น 0 โวลต์ ตัวเก็บประจุ  $C$  จะต้องคายประจุ ทิศทางการคายประจุจะช่วยดึงกระแสเบสทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะไบแอสกลับได้เร็วขึ้น และหลังจากการคายสิ้นสุดลงแล้วแรงดันเบส-อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ก็จะมีค่าเป็นศูนย์โวลต์

การประยุกต์ใช้งานทรานซิสเตอร์เป็นสวิทช์

วงจรขับมอเตอร์ ในวงจรควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ เราอาจสามารถใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไปควบคุมอุปกรณ์ประเภทไฟฟ้ากำลังได้ ขอให้พิจารณาวงจรทรานซิสเตอร์ที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่

2.24



รูปที่ 2.24 วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ซึ่งที่มีโหลดเป็นมอเตอร์

สมมุติว่าในขณะที่ให้สวิตช์ขออนเราจะมีแรงดัน  $V_i$  ด้วยระดับแรงดัน 12 โวลต์ โดยใช้มอเตอร์ 12 โวลต์ 200 โอห์ม และ  $V_{cc} = 12$  โวลต์ด้วย เราสามารถคำนวณค่า  $R_B$  ได้ดังนี้  
ค่ากระแสไหลผ่านมอเตอร์ขณะทรานซิสเตอร์อิ่มตัว โดยคิดว่าทรานซิสเตอร์เป็นทรานซิสเตอร์อุดม

คติ

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

$$= \frac{12}{200}$$

$$= 60 \text{ mA}$$

สมมุติว่าทรานซิสเตอร์มีค่า  $h_{FE} = 50$  กระแสเบสที่ทำให้ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว จะต้องมีความเท่ากับ

$$I_B > \frac{I_C}{h_{FE}}$$

$$> \frac{60}{50}$$

$$> 1.2 \text{ mA}$$

ดังนั้นค่าตัวต้านทานเบสสูงสุดที่เป็นไปได้คือ

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$

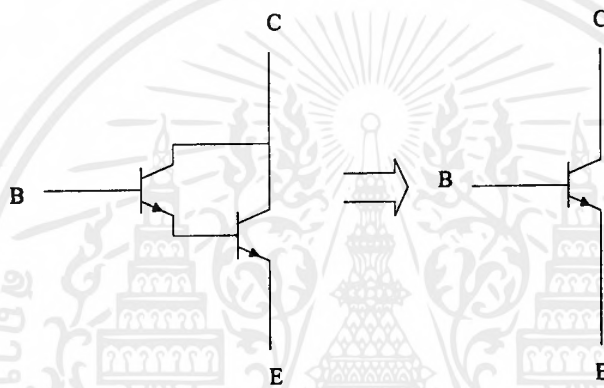
$$= \frac{12 - 0.7}{1.2}$$

$$= 9.4 \text{ k}\Omega$$

การต่อไดโอดกร่อมโหลคมอเตอร์ก็เพื่อป้องกันการพังของทรานซิสเตอร์ ในกรณีที่ทรานซิสเตอร์จะเข้าสู่ภาวะคัทออฟ พลังงานที่อยู่ในขดลวดรีเลย์อาจจะถ่ายมาทางทรานซิสเตอร์ทำให้พังได้ การต่อไดโอดเพื่อลดวงจรการคายพลังงานจึงช่วยได้

### 2.3 การต่อทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตัน (Darlington Connection)

การต่อแบบคาร์ลิงตัน คือ การนำทรานซิสเตอร์แบบ npn 2 ตัวมาต่อกันดังรูป 2.25 a (แสดงสัญลักษณ์ดังรูป 2.25 b) เพื่อให้ได้ค่าชูเปอร์เบตา (Super Beta) หรือทำให้ได้ค่า  $\beta$  เป็นทวีคูณ



รูปที่ 2.25

จุดเด่นของการต่อวงจรแบบคาร์ลิงตัน คือ ทรานซิสเตอร์ที่ต่อรวมกันนั้น ทำงานเป็นหน่วยเดียวกันโดยมีอัตราขยายกระแส ( $\beta_D$ ) เท่ากับผลคูณของ  $\beta$  แต่ละตัว

$$\beta_D = \beta_1 \beta_2 \quad (2.15)$$

ถ้าทรานซิสเตอร์ทั้งสองเหมาะสมกัน (Matched) อัตราขยายกระแสของการต่อแบบคาร์ลิงตันจะเปลี่ยนเป็น ดังนี้

$$\beta_D = \beta^2 \quad (2.16)$$

การต่อแบบคาร์ลิงตัน ทำให้ทรานซิสเตอร์เหล่านั้นมีอัตราขยายกระแสสูงขึ้นมาเมื่อเทียบกับ  $\beta$  ของทรานซิสเตอร์เพียงตัวเดียว

2.3.1 ทรานซิสเตอร์คาร์ลิงตันสำเร็จรูป (Packaged Darlington Transistor) โดยทั่วไป การต่อแบบคาร์ลิงตันเป็นการต่อสำเร็จรูปภายในตัวถึง ซึ่งเรียกว่า ทรานซิสเตอร์คาร์ลิงตันสำเร็จรูป สำหรับรูป 2.26 แสดงสเปคของทรานซิสเตอร์ตัวอย่างชนิด 2N999

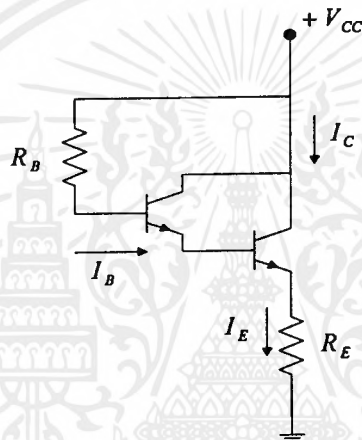
Type 2N999  
N-P-N Darlington-Connected  
Silicon Transistor Package

Parameter	Test Conditions	Min.	Max.
$V_{BE}$	$I_C = 100 \text{ mA}$		1.8 V
$h_{FE}$ ( $\beta_D$ )	$I_C = 10 \text{ mA}$	4000	
	$I_C = 100 \text{ mA}$	7000	70,000

รูปที่ 2.26

2.3.2 การไบอัสไฟฟ้ากระแสตรง (DC Bias)

การไบอัส dc ของทรานซิสเตอร์คาร์ลิงตันเป็นดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27

ทรานซิสเตอร์คาร์ลิงตันมีข้อดี คือ  $\beta$  สูงหาค่า  $I_B$  ได้ดังนี้

$$I_b = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{R_B + \beta_D R_E} \tag{2.17}$$

สมการนี้ เหมือนกับทรานซิสเตอร์ทั่วไปเว้นแต่ค่าของ  $\beta_D$  สูงกว่า  $\beta$  เท่านั้น หาค่า  $I_E$  ได้ดังนี้

$$I_E = (\beta_D + 1)I_B \cong \beta_D I_B \tag{2.18}$$

หาค่าแรงดัน dc ได้ดังนี้

$$V_E = I_E R_E \tag{2.19}$$

$$V_R = V_E + V_{BE} \tag{2.20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 อินเทอร์เฟซ และอุปกรณ์แสดงผล

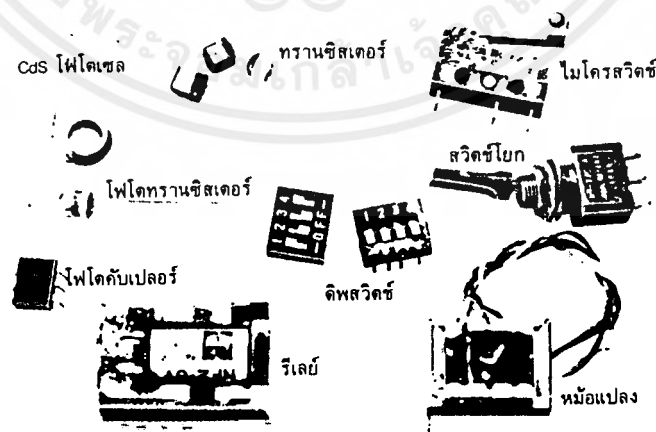
คำว่า อินเทอร์เฟซ (interface) หมายถึง การต่อเชื่อมระหว่างสองสิ่งที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เราใช้คำนี้ในวงจรดิจิทัลเมื่อเราหมายถึงวงจรหรือวิธีการในการต่อเชื่อมวงจรสองชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันเข้าด้วยกัน

ยกตัวอย่างเช่น การต่อไอซี TTL เข้ากับ ไอซี CMOS การต่อเอาต์พุตของไอซีไปควบคุมมอเตอร์ การอ่านสัญญาณอะนาลอก เช่น สัญญาณขนาดความดังของเครื่องขยายเสียงเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อป้อนเข้าวงจรดิจิทัล เป็นต้น

การอินเทอร์เฟซยังมีความหมายครอบคลุมไปถึงการอินเทอร์เฟซระหว่างคนกับเครื่อง (man machine interface) เช่น การติดต่อระหว่างคนกับเครื่องคิดเลขต้องใช้ปุ่มกดกับหลอดแสดงผล การติดต่อระหว่างคนกับเครื่องคอมพิวเตอร์ต้องใช้แป้นพิมพ์และจอภาพ เป็นต้น การอินเทอร์เฟซระหว่างคนกับเครื่องจักรนี้ จำเป็นเป็นต้องมีวิธีการและอุปกรณ์ที่เหมาะสม เพื่อให้ทั้งคนและเครื่องจักรสามารถส่งข้อมูลถึงกันและทำงานประสานงานกันได้

### 2.4.1 การอินเทอร์เฟซในวงจรไอซี

สนวงจรดิจิทัล มีอุปกรณ์หลายชนิดที่ใช้ในการอินเทอร์เฟซระหว่างวงจรและอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ทรานซิสเตอร์ โฟโตทรานซิสเตอร์ โฟโตคัปเปิลเลอร์ (photo coupler) และรีเลย์ เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีหม้อแปลงพัลส์ (pulse transformer) ซึ่งก็นิยมใช้กันในบางกรณีด้วย รูปถ่ายของอุปกรณ์อินเทอร์เฟซแบบต่าง ๆ นี้แสดงในรูปที่ 2.28 นอกจากนี้ยังมีไอซีบางตระกูลที่สร้างขึ้นมาโดยเฉพาะการอินเทอร์เฟซก็มี ดังนั้นการอินเทอร์เฟซจึงเกิดจากการนำอุปกรณ์เหล่านี้มาต่อผสมผสานกันให้ทำงานตามที่เราต้องการ



รูปที่ 2.28 ตัวอย่างอุปกรณ์การอินเทอร์เฟซ

ก่อนที่จะศึกษาถึงวิธีการในการอินเทอร์เฟสระหว่างไอซีตระกูลต่าง ๆ นั้น เราลองทวนกลับมาดูคุณสมบัติทั้งทางอินพุตและเอาต์พุต ของไอซีกันใหม่ คูตารางที่ 1 เป็นตารางสรุปคุณสมบัติทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของไอซี TTL และ CMOS สถานะที่เราเรียกว่า “1” กับ “0” นั้น แท้จริงแล้วไอซีแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในสถานะนั้นแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น เงื่อนไขแรงดันอินพุตที่ทำให้ไอซีรับรู้ว่าเป็นสัญญาณ “1” หรือ “0” นั้นแตกต่างกัน ถ้าแรงดันเข้าไม่ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ไอซีอาจทำงานจ่ายกระแสออกหรือการรับกระแสเข้าที่เอาต์พุตของไอซีจะเป็นเงื่อนไขที่สำคัญที่จะทำให้ไอซีทำงานถูกต้อง การจ่ายกระแสหรือรับกระแสเข้ามากเกินไปจะทำให้แรงดันทางด้านเอาต์พุตเปลี่ยนไป ทำให้ระดับสัญญาณไม่อยู่ในช่วงพิกัดของ “1” หรือ “0”

		สัญญาณ	ระดับแรงดัน	เงื่อนไขกระแส
อินพุต	TTL	1	ต่ำสุด 2 V	กระแสไหลเข้า สูงสุด 40 $\mu$ A
		0	สูงสุด 0.8	กระแสไหลออก สูงสุด 1.6 mA
	CMOS	1	$2/3 V_{DD} \sim V_{DD}$	
		0	$0 \sim 1/3 V_{DD}$	
เอาต์พุต	TTL	1	ต่ำสุด 2.4 V	กระแสจ่ายออก สูงสุด 0.4 mA
		0	สูงสุด 0.4 V	กระแสรับเข้า สูงสุด 16 mA
	CMOS	1	$2/3 V_{DD} \sim V_{DD}$	กระแสจ่ายออก สูงสุด 0.16-1.2mA*
		0	$0 \sim 1/3 V_{DD}$	กระแสรับเข้า สูงสุด 0.44-3.0mA*

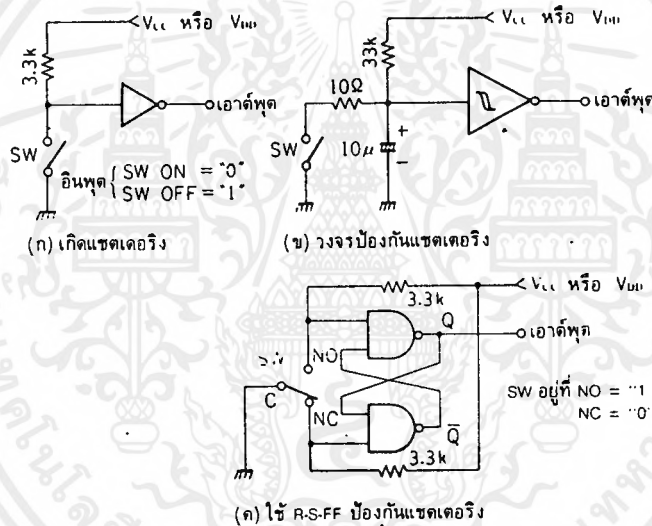
\* กระแสจ่ายออกและรับเข้าสูงสุดของ CMOS จะขึ้นกับแหล่งจ่ายไฟ ค่าในตาราง แสดงค่าประกันต่ำสุดเมื่อแหล่งจ่ายไฟมีค่า 5 ถึง 15 โวลต์ (จากคู่มือไอซีของบริษัทโมโตโรลา)

## ตารางที่ 2.2 เงื่อนไขของแรงดันและกระแสที่อินพุตและเอาต์พุตของไอซี

#### 2.4.2 การอินเตอร์เฟซสวิทช์กับไอซีดิจิตอล

ในการทดลองที่ผ่าน ๆ มาเราได้ใช้สวิทช์ต่อเข้ากับไอซีหลายครั้ง ไม่ว่าจะเป็นสวิทช์ปิดธรรมดา สวิทช์ปุ่มกด หรือสวิทช์โยกก็ต่อเข้ากับไอซีโดยตรง ผู้อ่านสังเกตหรือไม่ว่าจะต้องมีการอินเตอร์เฟซระหว่างสวิทช์กับไอซีเหมือนกัน การต่อสวิทช์เข้าไอซีบางครั้งก็สามารถต่อเข้าโดยตรง บางครั้ง เช่นการทดลองเรื่องจรรยาบัตรก็ต้องต่อผ่าน RS-FF เป็นต้น

เราต่อสวิทช์เข้ากับวงจรดิจิตอลเพื่ออาศัยการเปิดปิดสวิทช์เป็นสัญญาณให้กับวงจร เราจะต่อหน้าสัมผัสกับอินพุทของเกต โดยมีตัวต้านทานดึงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.29 (ก) เมื่อสวิทช์เปิดจะได้สัญญาณ "1" เป็นอินพุทของเกต ถ้าสวิทช์ปิดจะเกิดลัทธิวงจรรงกราวด์ได้เป็นสัญญาณ "0" ป้อนเข้าเกต เป็นการเปลี่ยนการ "เปิด" และ "ปิด" เป็นสัญญาณ "1" กับ "0" ได้ง่าย ๆ



รูปที่ 2.29 การอินเตอร์เฟซสวิทช์กับไอซี

แต่ในบางครั้งการต่อสวิทช์เข้ากับไอซีแบบวิธีง่าย ๆ แบบนี้จะไม่ได้ผลและจะเกิดปัญหาหขึ้นมากมาย เพราะในระหว่างที่เรากดหรือ โยกสวิทช์นั้น หน้าสัมผัสของสวิทช์จะไม่แตะหรือแยกจากกันอย่างเด็ดขาด จะมีการดึงและดันของหน้าสัมผัสก่อนการแตะหรือการแยกจากกันเสมอ เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า แชตเตอร์ริง (Chattering) การดันของหน้าสัมผัสนี้ไอซีดิจิตอลสามารถรับรู้ได้เพราะไอซีทำงานเร็วกว่าตาของคนเรามาก ดังนั้น บางครั้งเรากดปุ่มเพียงครั้งเดียวแต่เหมือนมีสัญญาณพัลส์เข้าไปในวงจรมากมาย

การแก้ปัญหาแชตเตอร์ริงของหน้าสัมผัสนั้นใช้วิธีการตามในรูปที่ 2.29 (ข) และในรูปที่ 2.29 (ค) ได้ ในรูปที่ 2.29 (ข) เป็นการต่อตัวเก็บประจุรอมหน้าสัมผัส (อาจมีตัวต้านทานเล็ก ๆ อนุกรมกับหน้าสัมผัสได้ก็ได้) เพื่อให้แรงดันคร่อมหน้าสัมผัสเปลี่ยนแปลงทันทีไม่ได้ เมื่อเปิดสวิทช์ตัวเก็บประจุชารต์ผ่าน 33 กิโลโอห์ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

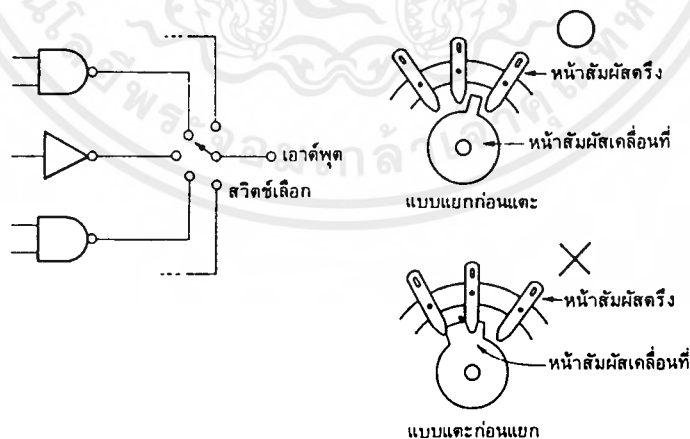
ทำให้แรงดันที่อินพุทของเกตค่อย ๆ เพิ่มขึ้น แม้จะมีการสั้นของหน้าสัมผัสก็ไม่มีผลต่อแรงดันมากนัก เมื่อเปิดสวิตช์ตัวเก็บประจุจะคายประจุผ่าน 10 โอห์มไปที่สวิตช์ทันที แม้จะมีการสั้นของหน้าสัมผัสก็ไม่มีผลทำให้แรงดันเปลี่ยนแปลงอีกเช่นเดียวกัน เราสามารถเลือกค่า R (ตัว 33 กิโลโอห์ม) และ C ให้เหมาะสมกับระยะเวลาการสั้นของหน้าสัมผัสได้ R หรือ C จะทำให้ระยะเวลาการแก๊แซตเตอร์ริงทำได้นานขึ้น

อย่างไรก็ตาม แรงดันที่อินพุทของเกตจะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้าเพราะผลของตัวเก็บประจุ เราจึงนิยมใช้ไอซีที่เป็นชนิดทรานซิสเตอร์ที่รับสัญญาณเข้าจากสวิตช์ ชนิดทรานซิสเตอร์จะให้เอาต์พุทที่เปลี่ยนจาก “1” เป็น “0” หรือ “0” เป็น “1” ที่ไวขึ้นมาก เมื่อส่งต่อให้ตัวอื่นจะได้ไม่มีปัญหา

การอินเตอร์เฟซสวิตช์ในรูปแบบที่ 2.29 (ค) เป็นวงจรที่นิยมใช้กับสวิตช์ 3 ขั้ว คือ มีขั้วร่วมขั้ว NO และขั้ว NC รูปวงจรรูปร่างซับซ้อนและใช้เกตมากหน่วยแต่เป็นวิธีการอินเตอร์เฟซที่ได้ผลดีที่สุด เกต NAND 2 ตัวในวงจรต่อเป็น RS-FF ขั้ว NO ต่อเข้ากับขั้วเซตและขั้ว NC ต่อเข้ากับขั้วรีเซตของ ฟลิปฟลอป

หลักการทำงานที่วงจรสามารถแก้ปัญหาแฮตเตอร์ริงได้ง่าย ๆ คือ ไม่ว่า RS-FF จะถูกเซตกี่ครั้ง เอาต์พุทจะได้ “1” เหมือนกัน และไม่ว่าจะถูกรีเซตกี่ครั้ง เอาต์พุทก็เป็น “0” เหมือนเดิมเช่นกัน ดังนั้น เมื่อเรากดสวิตช์หน้าสัมผัสแยกจากขั้ว NC มาขั้ว NO ตรงขั้ว NO จะมีการสั้นของหน้าสัมผัสก็ครั้ง เอาต์พุท Q จะเป็น “1” คงที่เสมอเมื่อเราปล่อยมือจากการกดสวิตช์หน้าสัมผัสจะดึงกลับมาแตะขั้ว NC เช่นเดิม ก่อนแตะแม้จะมีการสั้นของหน้าสัมผัสบ้าง แต่เอาต์พุท Q จะเป็น “0” ทันทีและคงค่าไว้เช่นนั้น

การต่อเอาต์พุทของไอซีไปที่สวิตช์ก็มีปัญหาอยู่บ้างเหมือนกัน เช่น การต่อเอาต์พุทของไอซีหลาย ๆ ตัวไปที่สวิตช์ดังในรูปที่ 2.30 ข้อควรระวัง คือ สวิตช์เลือกที่ใช้กันอยู่มี 2 แบบ คือแบบแยกก่อนแตะ (break before make) และแบบแตะก่อนแยก (make before break)



รูปที่ 2.30 สวิตช์เลือกที่ใช้กับเอาต์พุทของไอซี

สวิทช์เลือกที่เป็นแบบแยกก่อนและจะมีใช้กันมาก เมื่อปิดสวิทช์หน้าสัมผัสเคลื่อนที่จะเคลื่อนจากหน้าสัมผัสตรงที่แตะอยู่ไปสู่หน้าสัมผัสตรงข้างถัดไป ในระหว่างเคลื่อนหน้าสัมผัสจะแยกออกก่อนแล้วค่อยไปแตะหน้าสัมผัสข้างใหม่

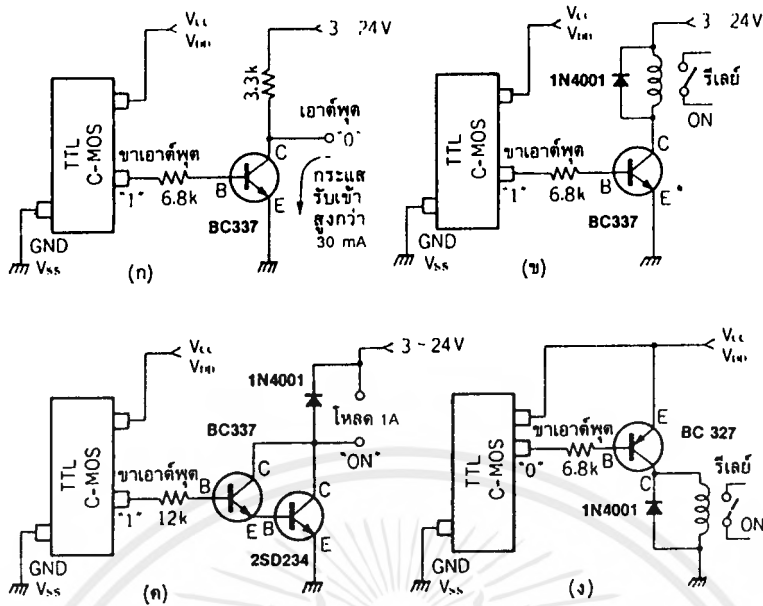
สวิทช์เลือกแบบก็มีใช้กันเหมือนกัน แบบนี้ในระหว่างการเคลื่อนจากหน้าสัมผัสตรงข้างหนึ่งไปอีกข้างหนึ่งนั้น หน้าสัมผัสเคลื่อนที่ก็ยังแตะกับขั้วใดขั้วหนึ่งอยู่ตลอดเวลา ในบางขณะจะแตะกับหน้าสัมผัสตรงทั้งสองข้างก็มีจึงเรียกว่าแตะก่อนแยก แบบนี้ไม่ควรใช้กับเอาต์พุตของไอซีดิจิตอล เพราะในขณะที่ปิดสวิทช์เลือกจะมีช่วงเวลาหนึ่งที่เอาต์พุตของไอซีลัดวงจรกันเอง แม้จะเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ แต่ถ้าปิดสวิทช์บ่อย ๆ จะทำให้ไอซีเสียหายได้

#### 2.4.3 การอินเตอร์เฟซโดยใช้ทรานซิสเตอร์

การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวอินเตอร์เฟซในวงจรดิจิตอลนั้นใช้กันอย่างแพร่หลายมากเพราะทรานซิสเตอร์มีข้อดีหลายประการ เช่น

1. ใช้ในการอินเตอร์เฟซวงจรที่มีระดับแรงดันของสัญญาณแตกต่างกันได้ง่าย
2. ทรานซิสเตอร์สามารถขยายกระแสได้ ทำให้เพิ่มความสามารถในการขับให้แก่ไอซีได้
3. การอินเตอร์เฟซกับวงจรอะนาลอกทำได้ง่ายที่สุด

ตัวอย่างการใช้ทรานซิสเตอร์ในการอินเตอร์เฟซในวงจรไอซีแสดงในรูปที่ 2.31 รูปที่ 2.31 (ก) เป็นการใช้อินเตอร์เฟซเป็นอินเวอร์เตอร์ ใช้อินเตอร์เฟซระหว่างวงจรที่มีระดับแรงดันของสัญญาณที่แตกต่างกัน เมื่อเอาต์พุตของไอซีเป็น "1" จะจ่ายกระแสมาที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ กระแสนี้จะต้องมีขนาดมากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว จะมีกระแสที่คอลเลกเตอร์ไหลและแรงดันที่คอลเลกเตอร์มีค่าเกือบเท่า 0 โวลต์ ดังนั้น ถ้าเราต่อสัญญาณจากขั้วคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ไปเข้าวงจรไอซีตัวอื่นก็จะได้สัญญาณ "0" ถ้าเอาต์พุตของไอซีเป็น "0" ก็ไม่มีกระแสไหลเข้าทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์จะอยู่ในภาวะกัตัดออก จะหยุดทำงานและไม่มีกระแสไหลที่คอลเลกเตอร์ แรงดันที่คอลเลกเตอร์จะสูงเท่าแรงดันแหล่งจ่ายไฟที่ต่อไว้จึงเป็นสัญญาณ "1" นั่นเอง



รูปที่ 2.31 วงจรอินเวอร์ตเฟซโดยใช้ทรานซิสเตอร์

เมื่อทรานซิสเตอร์อิมิตัว สามารถรับกระแสรับเข้าไม่มากกว่า 30 มิลลิแอมป์ จึงสามารถต่อกับคอกซี TTL ได้หลายตัว เมื่อทรานซิสเตอร์คัตออฟจะมีกระแสจ่ายจากแหล่งจ่ายไฟผ่านตัวต้านทานไปเข้าขาอินพุทของไอซี เป็นกระแสจ่ายจากแหล่งจ่ายไฟผ่านตัวต้านทานไปเข้าขาอินพุทของไอซีเป็นกระแสจ่ายออกได้ ถ้าเปลี่ยนตัวต้านทานเป็น 1 กิโลโอห์มจะสามารถจ่ายให้ TTL ได้ถึง 2.5 มิลลิแอมป์ และจ่ายให้ CMOS ได้ถึง 1.5 มิลลิแอมป์ โดยระดับแรงดันของสัญญาณยังอยู่ในช่วงที่กำหนดตามสเป็ค

รูปที่ 2.31(ข) เป็นการใช้ทรานซิสเตอร์ขับรีเลย์ไฟตรงขนาดเล็ก เมื่อเอาท์พุทของไอซีเป็น “1” ทรานซิสเตอร์จะทำให้รีเลย์ทำงาน ถ้าเอาท์พุทเป็น “0” รีเลย์จะหยุดทำงาน ไดโอด 1N4001 ที่ต่อคร่อมคอกซ์ของรีเลย์มีไว้เพื่อลดวงจรแรงดันไฟกระชาก (spike voltage) ที่เกิดขึ้นที่คอกซ์ของรีเลย์ในขณะที่รีเลย์ทำงานหรือหยุดทำงาน ควรต่อไดโอดนี้ไว้ มิฉะนั้นทรานซิสเตอร์จะเสียได้

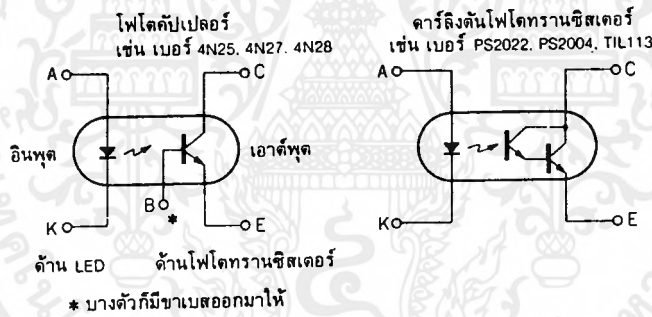
รูปที่ 2.31 (ค) เป็นการใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อกันแบบคาร์ลิงตันเพื่อให้ขับโหลดที่ใช้กระแสมาก จะใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียวที่ภายในเป็นคาร์ลิงตันก็ได้ โหลดที่ขับได้แก่ ฮีตเตอร์ไฟตรง, หลอดไฟ, LED, มอเตอร์ไฟตรง, รีเลย์ไฟตรงขนาดใหญ่ ค่าอุปกรณ์ที่ให้ไว้ในวงจรทำให้สามารถขับโหลดได้สูงสุดถึง 1 แอมแปร์

รูปที่ 2.31 (ง) เป็นการใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ขับรีเลย์ การขับแบบนี้รีเลย์จะทำงาน เมื่อเอาท์พุทของไอซีเป็น “0” จะมีกระแสไหลจากแหล่งจ่ายไฟผ่านอินมิเตอร์เบสตัวต้านทาน เข้าไปในไอซี กระแสนี้จะถูกขยายเป็นกระแสที่ขับรีเลย์ที่คอกซ์ของทรานซิสเตอร์ การต่อแบบนี้ก็นิยมใช้กันเพราะคอกซ์ข้างหนึ่งต่อ

กับกราวด์ เมื่อนำหน้าสัมผัสของรีเลย์ไปเปิดปิดโหลดแรงดันไฟสูงก็ค่อนข้างจะปลอดภัย แต่มีข้อเสียหน่วยหนึ่งคือ แหล่งจ่ายไฟของรีเลย์จะต้องใช้ร่วมกับวงจรไอซีทำให้เลือกชนิดรีเลย์ได้น้อยลง

### 2.4.4 การอินเตอร์เฟซโดยใช้โฟโตคัปเปิลเลอร์

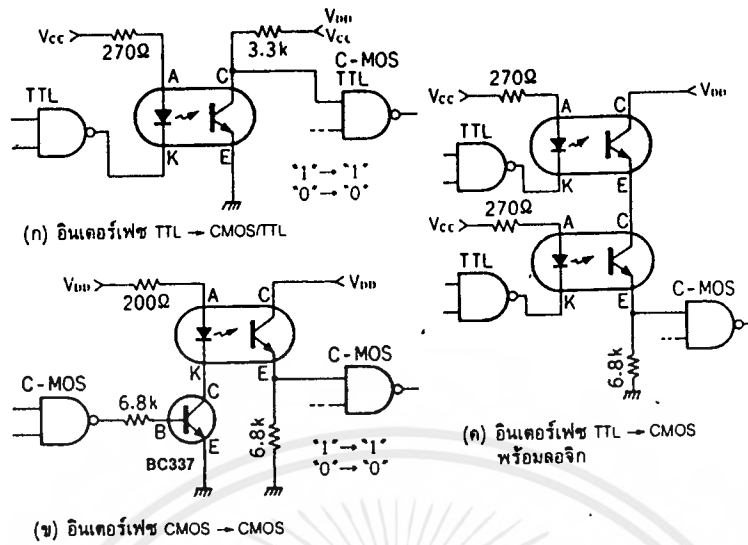
โฟโตคัปเปิลเลอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการอินเตอร์เฟซกันมาก ภายในโฟโตคัปเปิลเลอร์จะมี LED กับโฟโตทรานซิสเตอร์วางคู่กันอยู่ LED จะอยู่ทางด้านอินพุต ส่วนโฟโตทรานซิสเตอร์จะอยู่ทางด้านเอาต์พุต เมื่อเราจ่ายกระแสเข้าไปที่ LED LED จะเปล่งแสงออกมา แสงนี้เรามองไม่เห็นเพราะอยู่ในโฟโตทรานซิสเตอร์ เมื่อได้รับแสงนี้จะอยู่ในสถานะอิ่มตัวหรือ ON โฟโตคัปเปิลเลอร์ที่มีขายกันในปัจจุบันมีรูปร่างเหมือนไอซีทั่วไป อยู่ในตัวถังแบบดิฟ มีทั้งแบบพลาสติกและเซรามิก โฟโตทรานซิสเตอร์ภายในบางครั้งเป็นแบบคาร์ลิงตัน มีอัตราขยายสูงมากอัตราขยายกระแสของโฟโตคัปเปิลเลอร์คิดจากอัตราส่วนของกระแสอินพุตที่ป้อนให้ LED กับกระแสขาออกที่ทรานซิสเตอร์ขับได้ บางครั้งเรานำโฟโตคัปเปิลเลอร์มาใช้เป็นวงจรขยายในวงจรอะนาล็อกก็ได้



รูปที่ 2.32 โครงสร้างของโฟโตคัปเปิลเลอร์

คุณสมบัติที่เด่นที่สุดของโฟโตคัปเปิลเลอร์ คือ การที่อินพุตและเอาต์พุตแยกกันทางไฟฟ้าอย่างเด็ดขาดนั่นเอง คุณสมบัติอื่นนี้ทำให้วงจรที่ต่อเชื่อมกันด้วยโฟโตคัปเปิลเลอร์ไม่ต่อถึงกันทางไฟฟ้า ใช้แหล่งจ่ายไฟแยกกันและมีกราวด์แยกกันได้ ในวงจรที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยและวงจรที่ต้องการกำจัดสัญญาณรบกวนมักจะใช้โฟโตคัปเปิลเลอร์นี้

รูปที่ 2.33 แสดงวิธีการใช้โฟโตคัปเปิลเลอร์เป็นวงจรอินเตอร์เฟซระหว่างสองวงจร อาจใช้เชื่อมต่อระหว่าง TTL กับ CMOS ก็ได้ หรือระหว่าง CMOS หรือ TTL กันเองก็ได้ สังเกตว่าการต่อวงจรทั้งแบบ (ก) และ (ข) ในรูปที่ 2.32 นั้น โฟโตคัปเปิลเลอร์ทำหน้าที่คล้ายบัฟเฟอร์ คือสัญญาณ "1" และ "0" จะถูกส่งถ่ายกันโดยไม่มีการกลับสัญญาณ



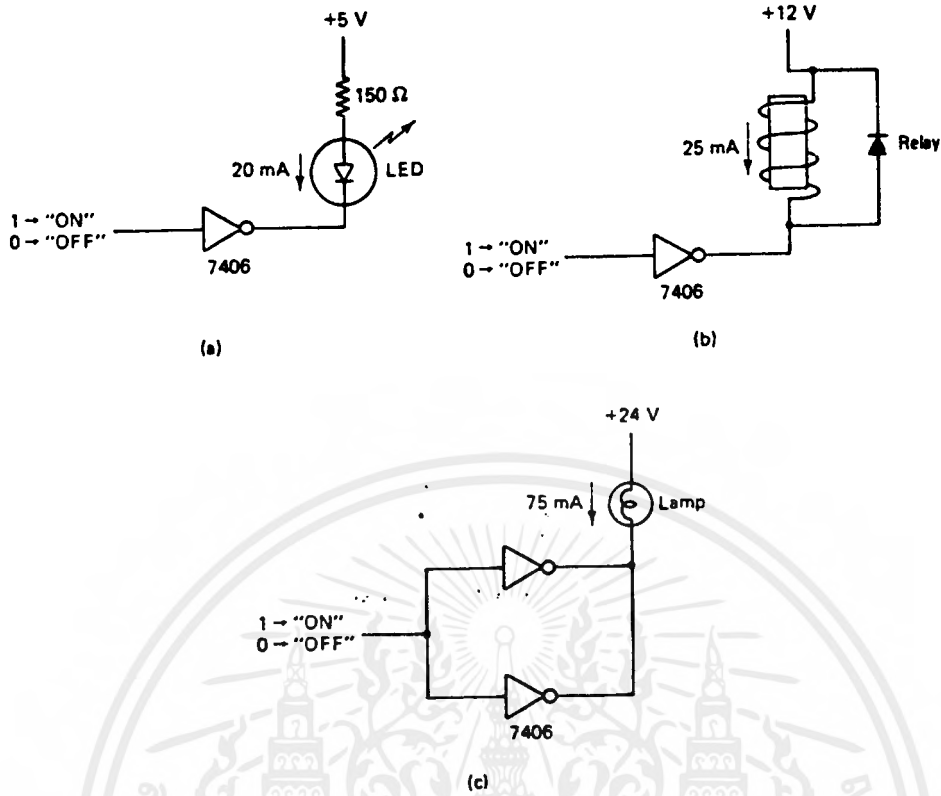
รูปที่ 2.33 ตัวอย่างการอินเตอร์เฟซโดยใช้โฟโตคัปเปิลเลอร์

รูปที่ 2.33 (ค) เป็นการใช้งานที่พลิกแพลงมาก ใช้โฟโตคัปเปิลเลอร์สองตัวมาต่อเป็นเงื่อนไข AND กันจะเห็นว่าถ้า LED ทั้งสองสว่างจึงจะทำให้มีกระแสไหลผ่านโฟโตทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวไปที่ตัวต้านทาน 6.8 กิโลโอห์ม ทำให้สัญญาณ "1" เป็นเอาต์พุต ถ้ากรณีอื่นจะได้สัญญาณ "0" เป็นเอาต์พุต เราอาจใช้โฟโตคัปเปิลเลอร์มาประกอบเป็นวงจร AND, OR, NAND, NOR ได้โดยใช้วิธีการเช่นนี้ ทำให้หุ่นเกิดเหล่านี้ลงได้ในการใช้งานบางอย่าง

2.5 การควบคุมอุปกรณ์ D.C. โดยใช้ open collector buffer

open collector buffer เมื่อโวลต์ที่ใช้ควบคุมและความต้องการกระแสมีค่าสูงไม่มากจนเกินไป สามารถใช้ไอซี TTL ในตระกูล 740 TTL open collector bufferw ได้ ซึ่งมีมันมีความสามารถในการแสดงคุณสมบัติ "wired-OR" ฟังก์ชันซึ่งเป็นข้อดีของมัน ในที่นี้เราจะศึกษาถึงความสามารถของบัฟเฟอร์ในการดึงระดับของเอาต์พุตไม่เพียงแต่เฉพาะ +5v

ในรูปแสดงการประยุกต์ใช้ open collector buffer เพื่อใช้ควบคุมอุปกรณ์ ในทางปฏิบัติจะเห็นได้ว่าการต่อในทุกกรณีบัฟเฟอร์จะต่อในลักษณะที่ซิงค์กระแส ON ซึ่งมาจากอุปกรณ์ควบคุมและรักษาระดับโวลเตจของเพาเวอร์ซัพพลายในสภาวะ OFF ในวงจรขั้วรีเลย์จะต้องมี clamp ไดโอดเพื่อป้องกันเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ของบัฟเฟอร์เมื่อรีเลย์ไม่ได้ทำงาน (off) การเหนี่ยวนำอย่างทันทีทันใดจากระดับของกระแสที่เป็นศูนย์ในขดลวดรีเลย์จะเป็นสาเหตุของ back emf ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นในขดลวดรีเลย์ เกิดระดับ voltage  $V = Ldi/dt$  clamp ไดโอดจะต้องต่อให้ขาเอาต์พุตเข้ากับเพาเวอร์ซัพพลาย และในสภาวะที่เราต้องการกระแส มาก ๆ ในการขับอุปกรณ์บัฟเฟอร์จะต้องต่อในลักษณะขนานดังแสดงในรูปที่ 2.34 ซึ่งแสดงการขับ lamp



รูปที่ 2.34 แสดงการต่อวงจรประยุกต์ใช้งานบัฟเฟอร์ในทางปฏิบัติ

(a) LED driver (b) relay driver (c) lamp driver

2.6 โครงสร้างของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิปเดี่ยวตระกูล MCS-51 นี้ผลิตโดยบริษัทอินเทลมีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิปเดี่ยวในตระกูล 51

Device	ROMless Version	EPROM Version	ROM Bytes	RAM Bytes	8-Bit I/O Ports	16-Bit Timer/Counters	Programmable Counter Array (PCA)	UART	Serial Expansion Port (SEP)	Global Serial Channel (GSC)	DMA Channels	A/D Channels	Interrupt Sources/Vectors	Power Down and Idle Modes
8051	8031	—	4K	128	4	2		✓					6/5	
8051AH	8031AH	8751H 8751BH	4K	128	4	2		✓					6/5	
8052AH	8032AH	8752BH	8K	256	4	3		✓					8/6	
80C51BH	80C31BH	87C51	4K	128	4	2		✓					8/5	✓
80C52	80C32	—	8K	256	4	3		✓					8/6	✓
83C51FA	80C51FA	87C51FA	8K	256	4	3	✓	✓					14/7	✓
83C51FB	80C51FA	87C51FB	16K	256	4	3	✓	✓					14/7	✓
83C152JA	80C152JA	—	7K	256	5	2		✓		✓	2		19/11	✓
—	80C152JB	—	—	256	7	2		✓		✓	2		19/11	✓
83C152JC	80C152JC	—	8K	256	5	2		✓		✓	2		19/11	✓
—	80C152JD	—	—	256	7	2		✓		✓	2		19/11	✓
83C45C	80C45C	87C452P	8K	256	5	2		✓					9/8	✓

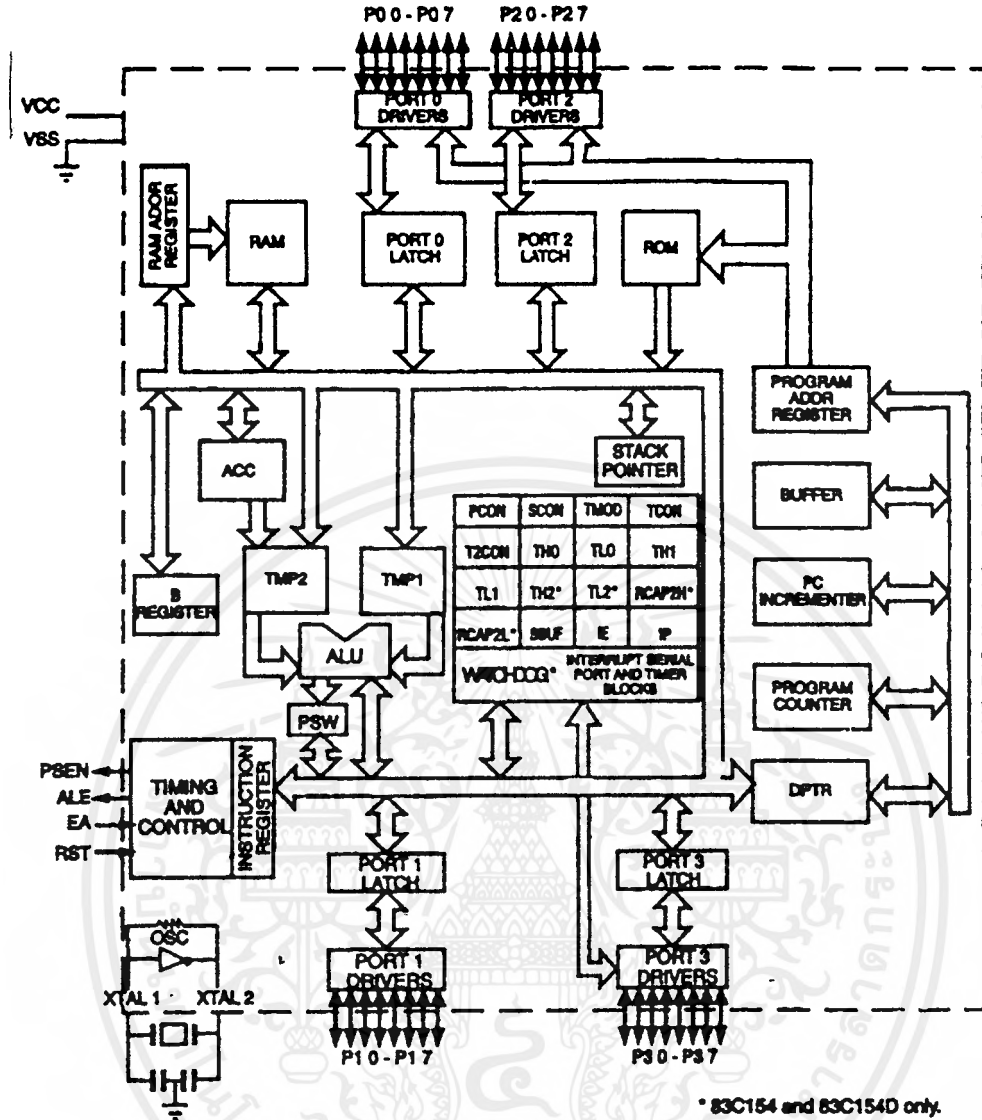
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

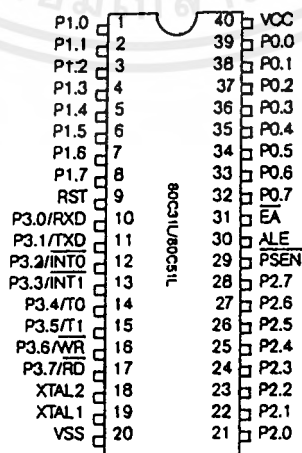
- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์ ชุดเดียว
- มีหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 5 กิโลไบต์สำหรับเบอร์ 8051 และสำหรับเบอร์ 8031 และ 8032 นั้นไม่มีหน่วยความจำชุดนี้ ส่วน 8052 มีหน่วยความจำถึง 8 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) ขนาด 128 ไบต์ สำหรับ 8052 มีถึง 256 ไบต์
- หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและค่า (Program Memory and Data Memory) แยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์
- คำสั่งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดประมาณ 1 ไมโครวินาที เมื่อทำงานที่ความถี่ 12 เมกะเฮิร์ต
- มีไทม์เมอร์/คาน์เตอร์ ขนาด 16 บิต 2 ชุด (สำหรับ 8052 มี 3 ชุด) ทำงานได้ 4 โหมด
- รับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวกเตอร์
- มีพอร์ตรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 2 พอร์ต ทั้งรับและส่งในเวลาเดียวกัน (Full Duplex) เลือก  
รูป แบบการส่งข้อมูลได้ 4 โหมด
- มาคำสั่งในการทำ AND, OR หรือ COMPLEMENT ได้ทั้งแบบ 8 บิต และ 1 บิต

#### 2.6.1 โครงสร้างภายในของ 8051

MCS-51 ใช้เทคโนโลยีการผลิตแบบ NMOS หรือ CMOS เบอร์ 8032 และ 8052 จะมี ROM BASIC อยู่ในจิงเสดวกสำหรับโปรแกรมเมอร์ที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิก โครงสร้างภายในสำหรับเบอร์ 8051 แสดงในรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 แสดง โครงสร้างภายในของ MCS - 51

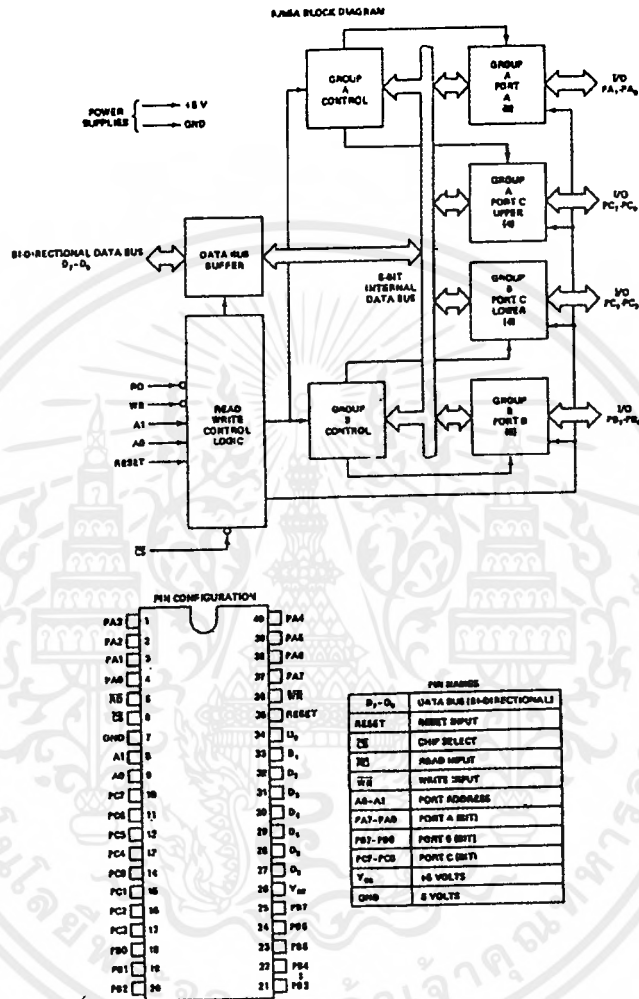


รูปที่ 2.36 แสดงการจัดวางขาของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การเชื่อมโยง 8255 กับ MCS-51

8255 เป็นชิพขนาด 40 ขา มีอยู่ 3 พอร์ตคือ A,B และ C เป็นพอร์ต 8 บิต ที่สามารถโปรแกรมให้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยที่พอร์ต C ยังแบ่งเป็น 4 บิตล่างและ 4 บิตบน โดยมีโครงสร้างตามรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 แสดงการจัดวางขาและโครงสร้างของ 8255

2.6.3 โหมดการทำงานของ 8255

การทำงานของ 8255 มีอยู่ด้วยกัน 3 โหมดดังนี้

โหมด 0 มีการทำงานแบบ BASIC I/O ไม่มี handshake

โหมด 1 โหมดนี้ใช้พอร์ต A และ B ในการรับส่งข้อมูล และใช้พอร์ต C ในการตรวจ

สัญญาณ(handshake)

โหมด 2 โหมดนี้ใช้พอร์ท A ในการรับส่งข้อมูล 2 ทิศทางและใช้พอร์ท B ในการรับส่งข้อมูล และใช้ พอร์ท C บิต 0,1 และ 2 ในการรับส่งข้อมูลบิตและบิต 4,5 และ 6 เป็นสัญญาณ handshake

ตารางที่ 2.4 สรุปโหมดการทำงานของ 8255

	MODE 0		MODE 1		MODE 2
	IN	OUT	IN	OUT	GROUP A ONLY
PA <sub>0</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA <sub>1</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA <sub>2</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA <sub>3</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA <sub>4</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA <sub>5</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA <sub>6</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA <sub>7</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PB <sub>0</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PB <sub>1</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PB <sub>2</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PB <sub>3</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PB <sub>4</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PB <sub>5</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PB <sub>6</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PB <sub>7</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PC <sub>0</sub>	IN	OUT	INTR <sub>B</sub>	INTR <sub>B</sub>	I/O
PC <sub>1</sub>	IN	OUT	IBF <sub>B</sub>	$\overline{\text{OBF}}_B$	I/O
PC <sub>2</sub>	IN	OUT	STB <sub>B</sub>	$\overline{\text{ACK}}_B$	I/O
PC <sub>3</sub>	IN	OUT	INTR <sub>A</sub>	INTR <sub>A</sub>	INTR <sub>A</sub>
PC <sub>4</sub>	IN	OUT	$\overline{\text{STB}}_A$	I/O	$\overline{\text{STB}}_A$
PC <sub>5</sub>	IN	OUT	IBF <sub>A</sub>	I/O	IBF <sub>A</sub>
PC <sub>6</sub>	IN	OUT	I/O	$\overline{\text{ACK}}_A$	$\overline{\text{ACK}}_A$
PC <sub>7</sub>	IN	OUT	I/O	$\overline{\text{OBF}}_A$	$\overline{\text{OBF}}_A$

} MODE 0 OR MODE 1 ONLY

สัญญาณต่างๆ ของ 8255

D0 - D7 บัสข้อมูลเชื่อมโยงกับ CPU

A0 - A7 ใช้เลือกพอร์ท A,B,C และพอร์ทควบคุม

RESET เมื่อขานี้ได้รับสัญญาณกระตุ้นลอจิก 1 จะทำให้ 8255 ถูกรีเซ็ตมีผลทำให้ทุกพอร์ทเป็นอินพุททันที

พอร์ททันที

PA0-PA7 เป็นพอร์ทขนาน 8 บิต

PB0-PB7 เป็นพอร์ทขนาน 8 บิต

PC0-PC7 เป็นพอร์ทขนาน 8 บิต

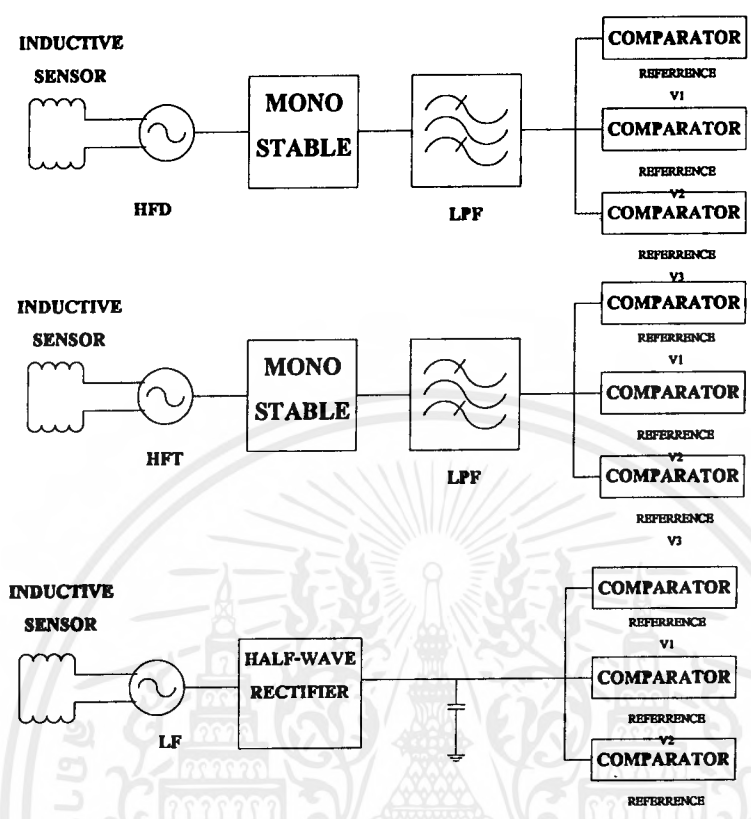
RD ในการอ่านข้อมูลที่พอร์ทขนานของ 8255 ต้องทำให้เป็นลอจิก 0 พร้อมกับ CS

WR ในการเขียนข้อมูลหรือ โปรแกรมลงบน 8255 ต้องทำให้ขานี้เป็นลอจิก 0 พร้อมกับ CS

CS เป็นขาเลือกชิพ 8255 ได้ ขานี้มักจะต่อกับ I/O DECODER



### 2.7 การตรวจสอบเหรียญ



รูปที่ 2.39 แสดงกรรมวิธีการตรวจสอบเหรียญ

#### 2.7.1 กรรมวิธีการตรวจสอบ (Validation Method)

ตัวตรวจสอบมีเซนเซอร์ 3 ตัวคือ HFT, LF และ HFD ซึ่งใช้ในการวัดความหนา, ความนำไฟฟ้า/ความซึมพลักร์ไฟฟ้า และเส้นผ่าศูนย์กลางตามลำดับ เมื่อ HFT, LF และ HFD ทำการตรวจจับเหรียญที่เข้ามายังพื้นที่ตรวจจับ ผลจากตัวตรวจจับแต่ละตัวจะนำไปเก็บไว้ใน coin output register ผลที่ได้จากตัวตรวจจับทั้ง 3 จะนำไปประเมินค่าของเหรียญที่ผ่านเข้ามาในพื้นที่ตรวจจับทำให้ coin output แสดงค่าของเหรียญที่ถูกต้องออกมาทางไฟแสดงผล

การจำกัดค่าของเหรียญที่มีผลต่อตัวตรวจจับแต่ละตัวนั้น แต่ละประเภทของเหรียญจะถูกกำหนดไว้โดยการทดลองและทำการ โปรแกรมแล้วไป burn ใน PROM

#### 2.7.2 การรับรู้เหรียญ (Coin Recognition)

เมื่อเหรียญผ่านพื้นที่ตรวจจับ ควรมีการพิจารณาความเร็วของเหรียญให้เหรียญเคลื่อนที่ไปตามทางเดินหรือทางลาดเอียง (Tracker หรือ Ramp) ด้วยความเร็วที่ไม่เร็วเกินไป ที่นี้เหรียญจะผ่านชุดตัวตรวจจับ โดยแต่ละตัวตรวจจับก็จะเปลี่ยนค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) ของตัวเหนี่ยวนำตามเหรียญที่ผ่าน แล้ววัดออกมาเป็นค่าทางไฟฟ้า แต่ละตัวตรวจจับจะตอบสนองต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเหรียญแต่ละเหรียญที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ออสซิลเลเตอร์จะมีค่าประมาณ 100 kHz ดังนั้นความถี่ผิวจะสามารถเจาะบริเวณภายนอกของตัวถังของเหรียญเข้าไปถึงภายในแกนเหรียญ และจะให้ค่าลวดทอนที่แตกต่างกันของเหรียญแต่ละเหรียญ

ออสซิลเลเตอร์อาจจะใช้ขดลวดในการตรวจจับ 1 หรือ 2 ขด ถ้าเหรียญกลิ้งผ่านพื้นเอียงที่มีขดลวดอยู่ 1 ขดระบบจะมีความเร็วในการรับรู้วัตถุเหรียญสูงสุด ถ้าขดลวดที่สองถูกวางอยู่ตรงกันข้ามและประกบกันกับอันแรก ระบบจะมีความไวต่ำกว่าครั้งแรกทั้ง 2 ขดสามารถต่อแบบอนุกรมหรือขนานก็ได้ ซึ่งจะให้ค่า Mutual Inductance ที่เสริมกันหรือหักล้างกันด้วย

	โลหะและอัตราเนื้อโลหะ	น้ำหนัก	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
เหรียญ 1 บาท (ทองแดงผสมนิกเกิล)	นิกเกิล 25% ทองแดง 75%	3.4 กรัม	20 มิลลิเมตร
เหรียญ 5 บาท โลหะสีขาว (ทองแดงผสมนิกเกิล)	โลหะส่วนที่เคลือบมี นิกเกิล 25% ทองแดง 75%	7.5 กรัม	24 มิลลิเมตร
เคลือบสีทองแดง	โลหะส่วนที่เป็นไส้มีส่วนผสม ทองแดง 99.5%		
เหรียญ 10 บาท โลหะทองสี (สีขาวและสีทอง)	โลหะสีขาววงนอก นิกเกิล 25% ทองแดง 75% โลหะสีทองวงใน ทองแดง 92% นิกเกิล 2% อลูมิเนียม 6%	8.5 กรัม	26 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติของเหรียญ 1 บาท 5 บาท และ 10 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในที่สุดของเหรียญจะถูกรวมให้แน่ใจว่าเป็นมิติของเหรียญที่ถูกต้องและวัสดุที่ใช้ต้องยอมรับได้เพียงอันเดียวเท่านั้น

เหรียญทุกเหรียญจะผ่านทางเดียวกันหมด ตัวตรวจจับตัวแรกที่เหรียญวิ่งผ่านประกอบด้วยขดลวด 2 ขดพันบนแกนเฟอร์ไรท์ปลายเปิด แล้ววางให้สมมูลย์ในแต่ละข้างของทางเดินด้านบนซึ่งเส้นผ่าศูนย์กลางของขดลวดที่พันจะต้องเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเหรียญ ขดลวดนี้จะต่อไว้ในวงจรออสซิลเลเตอร์ซึ่งผลิตความถี่สูงออกมาประมาณ 1 MHz (ในขณะที่เหรียญยังไม่เข้ามา) เมื่อเหรียญผ่านตัวตรวจจับ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดจะเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ความถี่ที่ได้จากออสซิลเลเตอร์เปลี่ยนแปลงด้วย ค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปสูงสุดจะถูกเก็บอยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าและจะนำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่เขียนขึ้น โดยได้มาจากการทดลองกับเหรียญหลายๆเหรียญ ความถี่ออสซิลเลเตอร์จะสูงพอสำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถบังคับให้เข้าไปภายในผิวเหรียญได้ ผลของตัวถังของเหรียญจะทำให้ความถี่เปลี่ยน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างพื้นผิวทั้ง 2 ข้างของเหรียญและขดลวดในแต่ละข้างของทางเดินเหรียญ ดังนั้นเราก็สามารถที่จะวัดความหนาที่แท้จริงของเหรียญได้ โดยมีความแตกต่างกันเล็กน้อยของเหรียญที่มีความนำไฟฟ้าต่างกัน

เมื่อเหรียญผ่านไปยังตัวตรวจจับตัวที่ 2 ซึ่งฝังอยู่ในผนังของทางเดินเหรียญที่เหรียญกลิ้งผ่าน ขดลวดจะถูกต่ออยู่ในวงจรออสซิลเลเตอร์ด้วยเหมือนกันกับที่ใช้ในตัวตรวจจับตัวแรกแต่จะทำให้เกิดความถี่ที่ต่ำกว่ามาก ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเจาะเข้าไปถึงวัสดุที่เป็นแกนของเหรียญ ตัวแกนซึ่งทำจากโลหะของมันจะเป็นตัวลดทอนสัญญาณที่จะออกมาของออสซิลเลเตอร์โดยจะขึ้นอยู่กับค่าความนำไฟฟ้าของเหรียญและ hysteresis loss และจะเปลี่ยนขนาดของสัญญาณที่จะทำการวัด ในลักษณะเดียวกันกับการเปลี่ยนความถี่ในตัวตรวจจับตัวแรก

เมื่อเหรียญกลิ้งผ่านมายังตัวตรวจจับตัวที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วยขดลวดตัวนำโดยเจาะจงทำเป็น open-ended ferrite pot core แกนหลักของขดลวดใหญ่กว่าเหรียญที่ใหญ่ที่สุดที่จะทำการตรวจจับ ดังนั้นส่วนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นอิทธิพลมาจากเส้นผ่าศูนย์กลางของเหรียญขดลวดนี้จะติดอยู่ในผนังของทางเดินเหรียญ เพื่อให้เหรียญกลิ้งผ่านและมันก็ต่ออยู่ในวงจรออสซิลเลเตอร์เหมือนกับตัวตรวจจับตัวแรกแต่ต่างกันที่ความถี่ขณะไม่มีเหรียญ มันจะผลิตความถี่เปลี่ยนไป โดยขึ้นอยู่กับเส้นผ่าศูนย์กลางของเหรียญที่ใกล้ตัวตรวจจับที่สุดอีกด้วย ซึ่งความถี่สูงจะมีผลต่อความลึกของการทะลุของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในวัสดุตัวนำ ซึ่งถูกจำกัดด้วยระยะเล็กที่ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ ซึ่งเป็นผลที่เราเรียกว่า "Skin Effect"

### 2.7.3 การวัดวัสดุที่มีความถี่ต่ำ (The LF Material Measurement)

LF Sensor ใช้ออสซิลเลเตอร์แบบ self-excited เหมือนกันกับ HF OSC ซึ่งปฏิบัติงานที่ความถี่สูง ถ้าความลึกของพื้นผิวเล็ก (วัดจากการเจาะลงไปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) และคลื่นอยู่เฉพาะบริเวณพื้นผิวของเหรียญ ความลึกของผิวที่เจาะลงไปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความถี่, ค่าความนำไฟฟ้า และค่าความซึมพัลส์แม่เหล็ก และอัตราการลดทอน (damping) ของออสซิลเลเตอร์ก็ขึ้นอยู่กับค่าความลึกของผิวอีกที ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ตกคร่อมวงจร tuned ก็ขึ้นอยู่กับผิวของวัสดุของเหรียญ

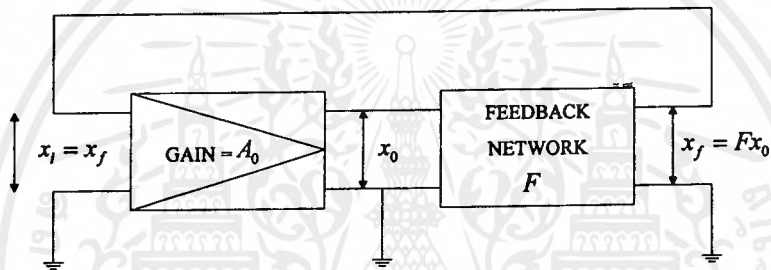
## 2.8 การป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback)

Positive Feedback มีอีกชื่อหนึ่งว่า Regenerative Feedback Gain ของระบบที่มี Positive Feedback จะ เป็นไปตามสมการ 6A

$$A_{F(PFB)} = \frac{A_o}{1 - A_o F} \quad (2.21)$$

เราอาจใช้ PFB เพื่อเพิ่ม Gain ของวงจรขยายได้ แต่ไม่นิยมกระทำกันเนื่องจากมีความเสี่ยงในการที่วง จรหรือระบบอาจเกิด oscillation

เงื่อนไขของการเกิด oscillation เมื่อใดที่ Loop gain ( $A_o F$ ) มีค่าเท่ากับ หรือมากกว่า 1.00 ในระบบที่มี PFB จะทำให้เกิดการ oscillation



รูปที่ 2.40 การป้อนกลับแบบบวก

### 2.8.1 หลักการวิเคราะห์การทำงานของออสซิลเลเตอร์

- 1) คำนวณค่าของอัตราขยายของวงจรขยาย

$$A_o = \frac{X_o}{X_i} \quad (2.22)$$

แต่ในการคำนวณค่าของ  $A_o$  Feedback Network เป็นส่วนหนึ่งของโหลดของวงจรขยาย

- 2) คำนวณหาค่าของ Feedback Factor : F

$$F = \frac{X_f}{X_o} \quad (2.23)$$

จากเงื่อนไขของการออสซิลเลท วงจรจะออสซิลเลทเมื่อการเลื่อนเฟสของลูปมีค่า 0 หรือ  $2n\pi$  เรเดียน หรือ เกิดการป้อนกลับแบบบวก การออสซิลเลทจะเกิดขึ้นเมื่อ

$$1 - A_o F = 0 \quad \text{หรือ} \quad (2.24)$$

$$A_o F = 1 = 1 + j0$$

นำค่า  $A_o$  และ F จากข้อ 1 และ 2 มาคูณกัน ซึ่งจะได้ค่าของ  $A_o F$  อยู่ในรูปของ จำนวนเชิงซ้อน ซึ่ง

$$A_o F = A_o F(j\omega) = \text{Re}\{A_o f\} + j \text{Im}\{A_o f\} = 1 + j0$$

นั่นคือ  $\text{Im}\{A_o F\} |_{\omega_0} = 0$

และ  $\text{Re}\{A_o F\} |_{\omega_0} = 1$

โดยการแก้สมการ

$$\text{Im}\{A_o F\} |_{\omega_0} = 0$$

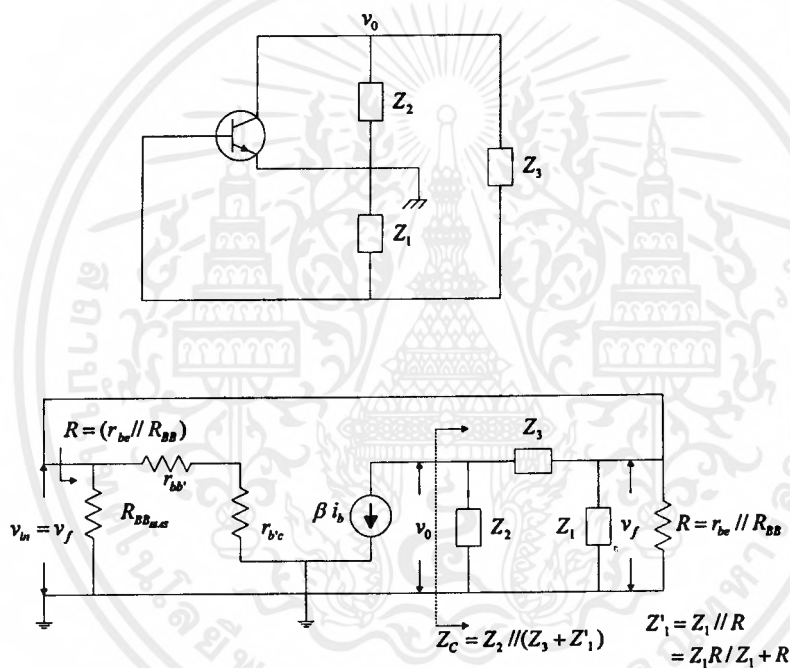
จะได้ค่า  $\omega_0$  เป็นความถี่ของการออสซิลเลต

และ  $\text{Re}\{A_o F\} |_{\omega_0} = 1$

จะได้ค่าอัตราขยายต่ำสุด  $A_o$  เพื่อให้เกิดการออสซิลเลต

## 2.8.2 การสร้าง transistor LC oscillator

$Z_1, Z_2, Z_3$  อาจเป็น L หรือ C หรือ LC ทางออกอาจอยู่ที่ใดก็ได้ และกราวด์อาจอยู่ที่ใดก็ได้



รูปที่ 2.41 วงจรสมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมพีแดนซ์รวมที่คอลเลคเตอร์ คือ

$$\begin{aligned} Z_c &= Z_2 // (Z_3 + Z_1') \\ &= \frac{Z_2(Z_3 + Z_1')}{Z_2 + Z_3 + Z_1'} \\ &= \frac{RZ_1}{Z_1 + R} \end{aligned}$$

ซึ่ง

$$Z_1' = Z_1 // R$$

$$A_o = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-\beta i_b Z_c}{i_b r_{be}} = \frac{-\beta}{r_{be}} \left[ \frac{Z_2(Z_3 + Z_1')}{Z_2 + Z_3 + Z_1'} \right]$$

$$V_f = \frac{V_o Z_1'}{Z_1' + Z_3}$$

จะได้

$$\frac{V_f}{V_o} = F = \frac{Z_1'}{Z_1' + Z_3}$$

$$\begin{aligned} A_o F &= \frac{-\beta}{r_{be}} \left[ \frac{Z_2(Z_3 + Z_1')}{Z_2 + Z_3 + Z_1'} \right] \left[ \frac{Z_1'}{Z_1' + Z_3} \right] \\ &= \frac{-\beta}{r_{be}} \left[ \frac{Z_1' Z_2}{Z_2 + Z_3 + Z_1'} \right] \end{aligned}$$

$$= \frac{-\beta}{r_{be}} \left[ \frac{Z_2 \frac{Z_1 R}{Z_1 + R}}{Z_2 + Z_3 + \frac{Z_1 R}{Z_1 + R}} \right]$$

$$A_o F = \frac{-\beta}{r_{be}} \left[ \frac{Z_1 Z_2 R}{Z_2(Z_1 + R) + Z_3(Z_1 + R) + Z_1 R} \right]$$

$$A_o F(j\omega) = \frac{-\beta R' Z_1 Z_2}{Z_1(Z_2 + Z_3) + R(Z_1 + Z_2 + Z_3)} \quad ; R' = R/r_{be} \quad (2.25)$$

$Z_1, Z_2, Z_3$  อาจอยู่ในรูปของ  $+j\omega L$  หรือ  $-j/\omega c$  ดังนั้นผลคูณของ  $Z$  จะเป็นเลขจำนวนจริง ส่วนจำนวนจินตภาพของ  $A_o F$  คือ

$$\text{Im}\{A_o F\} = R(Z_1 + Z_2 + Z_3)$$

ดังนั้น

$$(Z_1 + Z_2 + Z_3) |_{\omega = \omega_0} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้  $\omega_0 =$  ความถี่ของการออสซิลเลต

และ

$$\operatorname{Re}\{A_o F\} = \frac{-\beta R' Z_1 Z_2}{Z_1(Z_2 + Z_3)}$$

ดังนั้น

$$\left. \frac{-\beta R' Z_1 Z_2}{Z_1(Z_2 + Z_3)} \right|_{\omega=\omega_0} \geq 1 \quad (2.26)$$

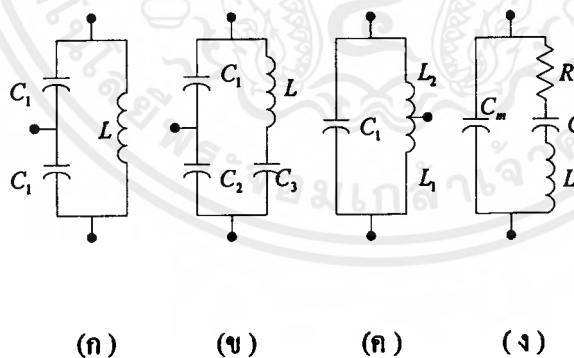
จะได้

$$\beta(\omega_0) \geq \frac{Z_1}{R' Z_2} \geq \frac{Z_1}{Z_2} \left[ 1 + \frac{r'_{bb} + r'_{be}}{R_{BB}} \right]$$

### 2.8.3 LC ออสซิลเลเตอร์ (LC OSCILLATOR)

ใน LC OSCILLATOR จะประกอบด้วย LC tank circuit ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ใน collector circuit และที่ความถี่เรโซแนนท์ มันจะปรากฏเป็นความต้านทาน ในขณะที่ความถี่อื่น tank circuit จะปรากฏเป็นค่า capacitive หรือ inductive reactance

จากรูปจะแสดง tank circuit ชนิดต่างๆที่ใช้

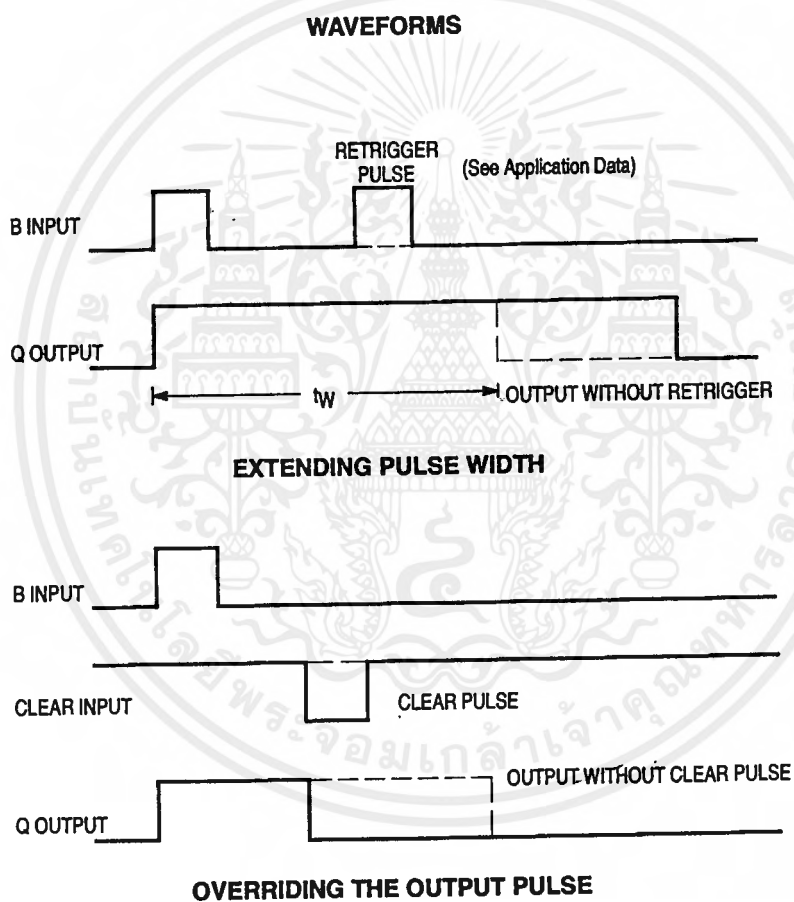


รูปที่ 2.42 ลักษณะทั่วไปของ tank circuit

ก) colpitts ข) clapp ค) Hartley และ ง) Pierce(crystal)

## 2.9 วงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์

วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ (monostable multivibrator) จะมีสถานะทางเอาต์พุตตรงกันข้ามกับสถานะปกติเมื่อมีสถานะทางด้านอินพุต ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.43 ซึ่งเป็นแผนผังของวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ และสัญญาณอินพุต เอาต์พุต



รูปที่ 2.43 การทำงานของวงจร โมโนสเตเบิล

### 2.9.1 การทำงานของวงจร

จากรูปถ้าไม่มีสัญญาณทริกที่อินพุตวงจรถูกจะคงอยู่ในสถานะคงที่ (stable state or reset state) โดยมี  $Q=1$  และ  $\bar{Q}=1$  แต่ถ้าหากขณะใดมีสัญญาณทริกที่อินพุตก็จะทำให้เอาต์พุตของวงจร เปลี่ยนเป็นสถานะตรงกันข้าม ( $Q=1$  และ  $\bar{Q}=0$ ) โดยจะคงอยู่ในสถานะนี้ชั่วคราว ซึ่งในที่นี้คือเวลา  $T$  (วงจรมีจะเริ่มเปลี่ยนสถานะที่คมลบบของพัลส์ทริกทางด้านอินพุต) หลังช่วงเวลา  $T$  แล้ววงจรถูกกลับสู่สถานะคงที่เช่นเดิม และถ้าไม่มีสัญญาณทริกทางด้านอินพุตอีก วงจรถูกจะคงสถานะนี้ตลอดไป

จากคุณสมบัติของวงจรมีสามารถนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ได้มากมายหลายอย่างเช่น

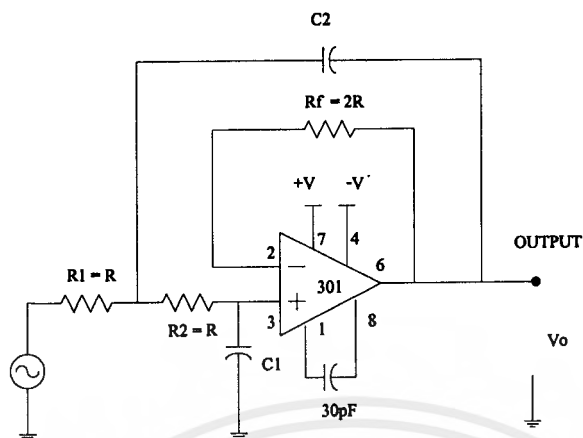
- ใช้เป็นวงจรถายความกว้างของช่วงพัลส์ ดังแสดงในรูปที่ 2.43 ซึ่งเป็นรูปคลื่นที่ได้จากการใช้วงจรมีเป็นตัวขยายพัลส์อินพุต ให้กว้างออกเป็นช่วงเวลา  $T$
- ใช้เป็นวงจรถลความกว้างของสัญญาณพัลส์ จะเห็นว่าใช้สัญญาณทริกที่อินพุตด้วยสัญญาณที่มีความกว้างของพัลส์มาก แต่วงจรมีให้เอาต์พุตที่มีความกว้างของพัลส์แคบมากกว่าเดิม และเอาต์พุตจะเปลี่ยนสถานะเป็นสถานะไม่คงที่ขณะสัญญาณอินพุตเปลี่ยนแปลงที่คมลบบของพัลส์
- ใช้เป็นวงจรมีกำจัดพัลส์ที่ไม่ต้องการเช่น พัลส์ซึ่งเกิดจากการปิดหรือเปิดสวิตช์ขณะสวิตช์เปลี่ยนตำแหน่ง จากสถานะลอจิก "1" เป็น "0" อาจจะทำให้คอนแทกเกิดการปิด-เปิด หลายครั้งก็เป็นได้ ซึ่งผลอันนี้อาจจะทำให้เกิดพัลส์หลายๆพัลส์ขึ้น ดังนั้นถ้าต่อสวิตช์โดยตรงกับวงจรมีความถี่ก็อาจจะทำให้เกิดสถานะของการเปลี่ยนแปลงจากลอจิก "1" เป็น "0" หลายครั้งทำให้วงจรมีความถี่ทำงานผิดพลาดได้ เราสามารถแก้ไขข้อบกพร่องอันนี้ได้โดยใช้วงจรมี โมโนสเตเบิลแบบทริกได้ครั้งเดียว (monostable single shot) เพื่อเป็นการป้องกันพัลส์ที่เกิดขึ้น หลังจากพัลส์แรกไม่ให้มีผลต่อวงจรมี ความถี่ วงจรมีจะรับสัญญาณทริกที่อินพุตได้ใหม่อีกครั้งหนึ่ง ต้องหลังจากช่วงเวลาไม่คงที่ (unstable state) ผ่านไปแล้ว ในที่นี้คือเวลา  $T$  ผ่านพ้นไปแล้ว

### 2.10 วงจรบัตเตอร์เวิร์ทท์ที่ให้ค่า -40 เดซิเบลต่อเดซิเดด

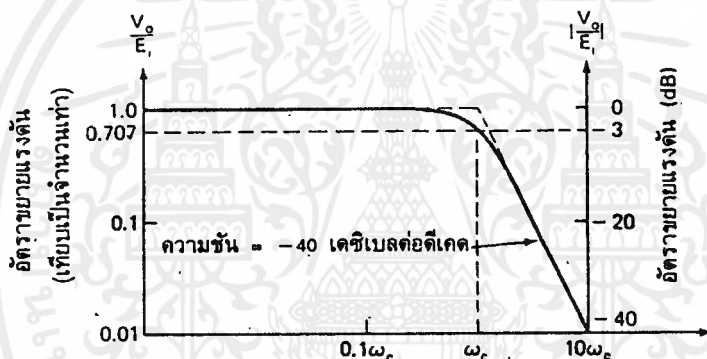
#### 2.10.1 การออกแบบวงจรมีอย่างง่าย

ในรูปเป็นวงจรมีบัตเตอร์เวิร์ทท์แบบที่มีค่าความชันในการลดลงของ  $|A_{CL}|$  เป็น -40 เดซิเบลต่อเดซิเดดที่มีจะมาใช้งานกันโดยทั่วไป ค่าของความชันในการลดลงเป็น -40 เดซิเบลต่อเดซิเดดนี้มีความหมายว่า ในช่วงที่ความถี่มีค่าตั้งแต่  $\omega_c$  ขึ้นไป ค่าของอัตราขยายจะมีค่าลดลง 40 เดซิเบล ในขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นเป็น 10 เท่า

ออปแอมป์ที่ต่อในวงจรมีนี้มีค่าอัตราขยายเป็น 1 สำหรับสัญญาณไฟ DC สำหรับ  $R_f$  ที่ต่อไว้ในที่นี้เพื่อลดผลของออฟเซตในทาง DC ของตัวออปแอมป์ (ทำให้อินพุตที่ขาทั้งสองมีความต้านทานที่เหมือนกัน



(ก) วงจรบัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ค่า  $-40$  เดซิเบลต่อดีเคด



(ก) การตอบสนองความถี่ของวงจรนี้

รูปที่ 2.44 วงจรบัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ค่า  $-40$  เดซิเบลต่อดีเคด และกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรนี้

พิจารณาการทำงานของวงจรจะเห็นว่า มีลักษณะเป็นวงจรตามแรงดันคือ แรงดันที่ขาอินพุตที่ขา 3 จะมีค่าเท่ากับแรงดันเอาต์พุต ดังนั้นแรงดันตกคร่อม  $C_1$  มีค่าเท่ากับ  $V_o$  เพื่อให้ง่ายแก่การคำนวณ ดังนั้นจะกำหนดให้  $R_1 = R_2 = R_3$  ต่อไปก็จะเป็นขั้นตอนในการออกแบบวงจรซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ

1. กำหนดค่าความถี่ตัดออฟที่ต้องการ  $\omega_0$  หรือ  $f_c$
2. เลือกค่า  $C_1$  ที่จะใช้ ปกติควรมีค่าอยู่ระหว่าง 100 พิโกฟาร์ด ถึง 0.1 ไมโครฟาร์ด
3. เลือกค่า  $C_2$  ให้มีค่าเท่ากับ  $2C_1$
4. คำนวณค่า  $R$  โดยได้จากสมการ

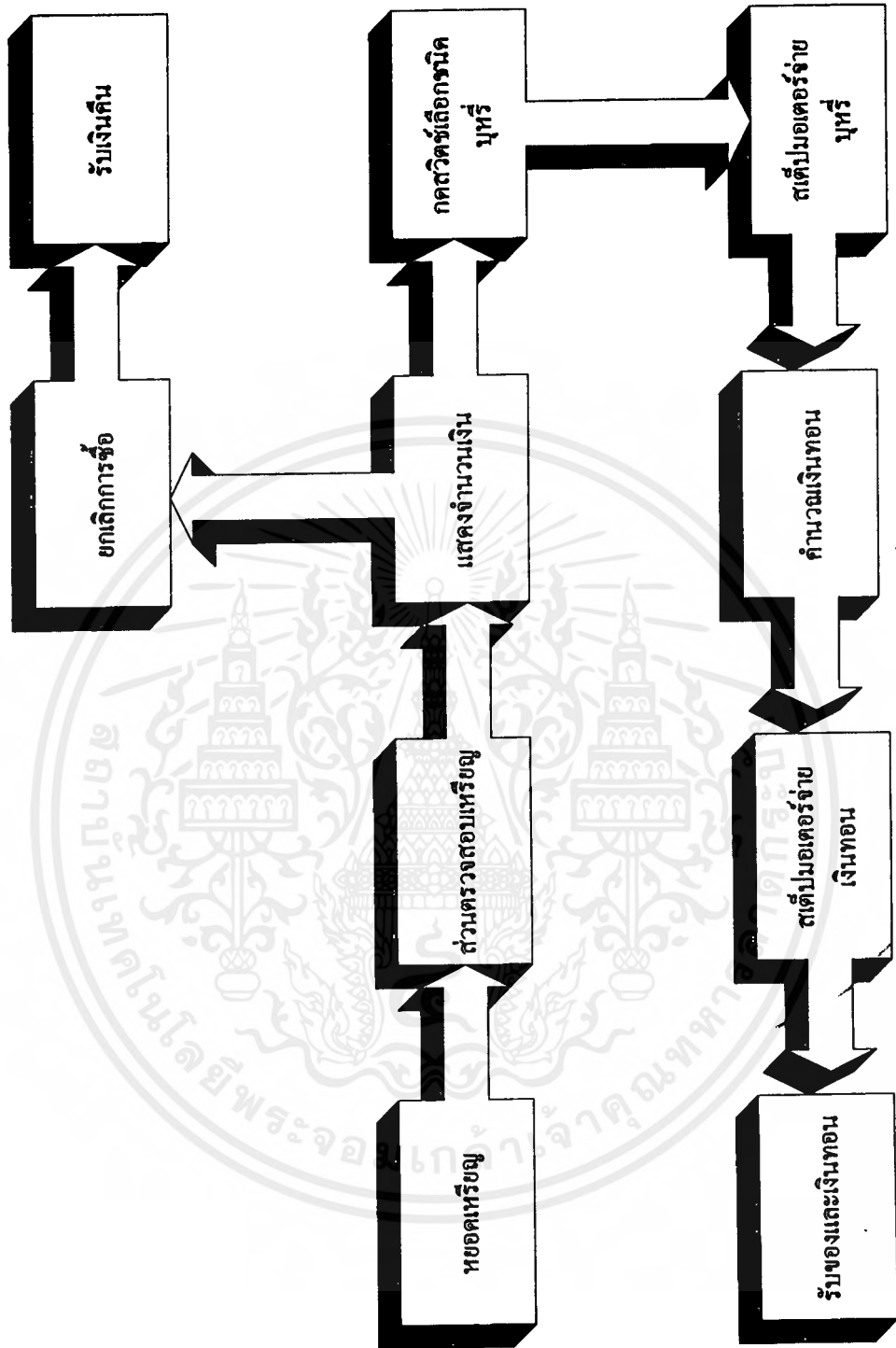
$$R = \frac{0.707}{\omega_c C}$$

5. เลือก  $R_f$  ให้มีค่าเท่ากับ  $2R$

### บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง

เริ่มการทำงานโดยการรีเซตระบบทั้งหมดและทำการตรวจสอบว่าเงินที่จะใช้ในการทอนทั้งหมดหรือไม่ ถ้าหมดก็จะมีไฟติดสว่างขึ้นให้ลูกค้าทราบ และหยอดเงินให้ตรงกับราคาสินค้าเพราะถ้าหยอดเกินเครื่องจะไม่มีเงินทอนให้ จากนั้นโปรแกรมย่อยในส่วนที่ทำหน้าที่เช็คจำนวนเงินที่ผู้ใช้บริการหยอดก็จะเริ่มทำการวนรอบตรวจสอบจนกว่า ผู้ใช้จะหยอดเงินจนมีมูลค่ามากกว่าหรือ เท่ากับ 22 บาท และ 29 บาท จากนั้นจะทำงานในส่วนของโปรแกรมย่อยตรวจเช็คว่ามีเหรียญหรือเหรียญที่มีราคาเท่านี้เหลืออยู่หรือไม่ และจะแสดงผลออกไปให้ผู้ใช้บริการทราบโดยจะมีไฟติดที่ปุ่มกดเมื่อผู้ใช้บริการกดปุ่มเลือกเหรียญหรือเหรียญที่ต้องการ โปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบว่าปุ่มที่ผู้ใช้บริการกดเป็นชนิดสินค้าที่ยังคงมีเหลืออยู่หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ก็จะรอให้ผู้ใช้บริการกดปุ่มเลือกใหม่อีกครั้ง แต่ถ้าใช่โปรแกรมจะทำการคำนวณจำนวนเงินที่จะต้องทอนให้แก่ผู้ใช้บริการ (ถ้ามี) และทำการควบคุมให้ส่วนทอนเงินทำงานจากนั้นก็ควบคุมส่วนปล่อยเหรียญเพื่อปล่อยเหรียญหรือเหรียญที่ผู้ใช้บริการต้องการ

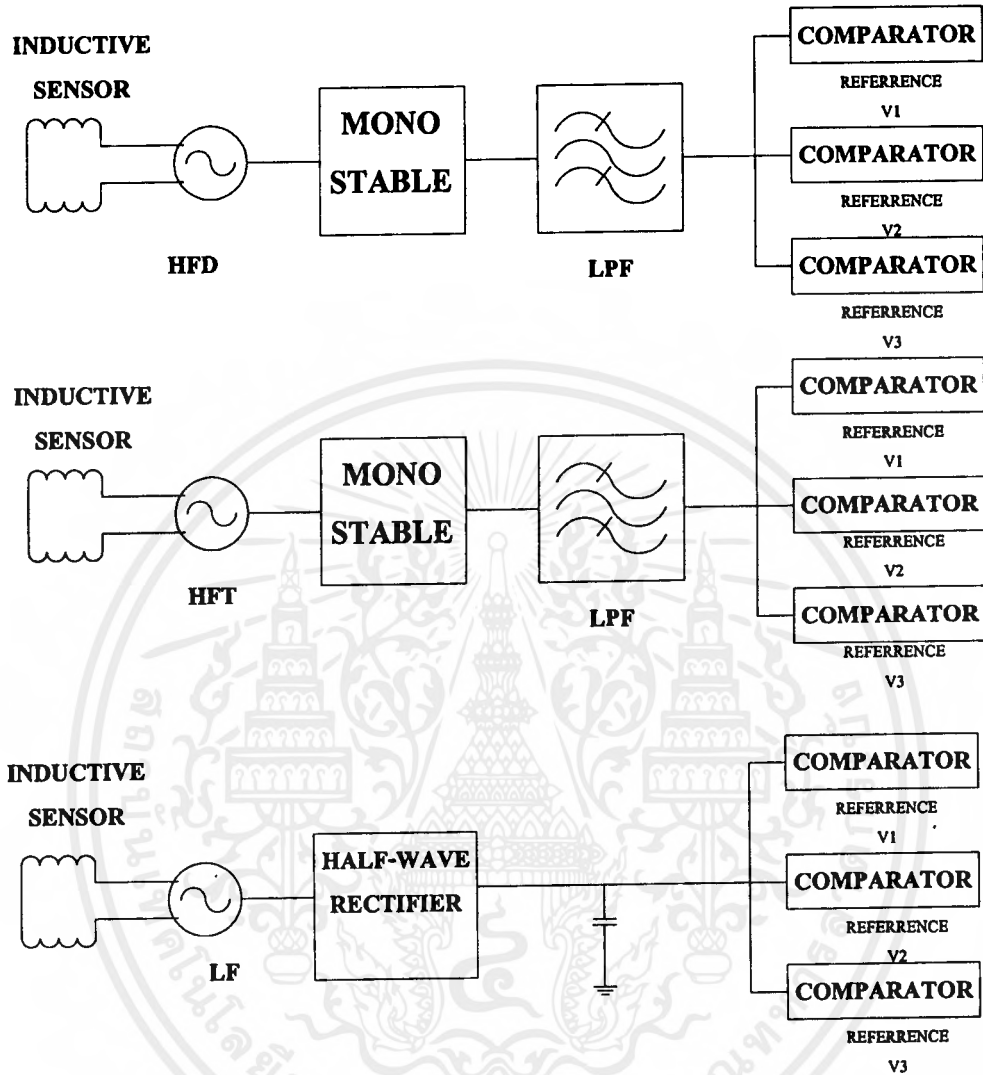
ในกรณีที่ผู้ใช้บริการต้องการยกเลิกการซื้อ สามารถทำได้โดยการกดปุ่มยกเลิก โปรแกรมจะทำการตรวจสอบค่าสวิตช์ที่ถูกกดโดยผู้ใช้บริการ และทำการรีเซตระบบให้สู่การเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง เพื่อรอรับการให้บริการในครั้งต่อไป ขั้นตอนการทำงานของเครื่องแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 ส่วนตรวจสอบเหรียญ



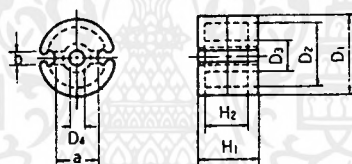
รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกโคอะแกรมของส่วนตรวจสอบเหรียญ

#### 3.1.1 ตัวตรวจจับแบบเหนี่ยวนำ ( Inductive Sensor )

ในการตรวจเหรียญ ได้มีการใช้ตัวตรวจจับแบบเหนี่ยวนำที่มีความถี่ต่างกันคือ 72 kHz, 650 kHz, 1MHz เนื่องจากความถี่ที่ใช้มีค่าค่อนข้างสูง และมีความต้องการให้ทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็กพุ่งไปในทิศทางที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยไม่มีกระจายของฟลักซ์แม่เหล็กไปในทิศทางอื่น จึงต้องเลือกการพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์แบบ Pot Core ขนาดของ Pot Core จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งานกล่าวคือ ในการตรวจจับความหนาของเหรียญ เราต้องบังคับให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าทะลุผ่านเหรียญเฉพาะพื้นผิวของเหรียญเพื่อตรวจจับความหนา ดังนั้นต้องใช้ Pot Core ที่มีขนาดเล็กกว่าเหรียญที่เล็กที่สุดที่ใช้ในการตรวจจับ ( เหรียญ 1 บาท ) และใช้ความถี่สูงประมาณ 1 MHz เนื่องจากผลของ Skin Effect ที่ว่า สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่สูงจะมีความสามารถในการทะลุผ่านได้แค่ระยะพื้นผิวของเหรียญเท่านั้น ต่อมาในตัวตรวจจับชนิดของโลหะ เราต้องบังคับให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าพุ่งเจาะเหรียญที่แกนกลางของเหรียญเพื่อตรวจจับคุณสมบัติของโลหะผสมที่ใช้ทำเหรียญแต่ละชนิด ดังนั้นจึงต้องใช้ Pot Core ที่มีขนาดเล็กกว่าเหรียญที่เล็กที่สุด ( เหรียญ 1 บาท ) เหมือนตัวตรวจจับความหนา และใช้ที่ความถี่ต่ำประมาณ 72 kHz ตัวตรวจจับชนิดสุดท้ายเป็นตัวตรวจจับเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ สนามแม่เหล็กจะต้องครอบคลุมเหรียญทั้งเหรียญ ดังนั้นขนาดของ Pot Core จะต้องมีความใหญ่กว่าเหรียญที่ใหญ่ที่สุด ( เหรียญ 10 บาท ) ส่วนความถี่ที่ใช้คือ 650 kHz เนื่องจากต้องการผลของการตัดสนามแม่เหล็กของเหรียญซึ่งมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เท่ากัน ทำให้ตัดผ่านสนามแม่เหล็กได้มากน้อยต่างกัน

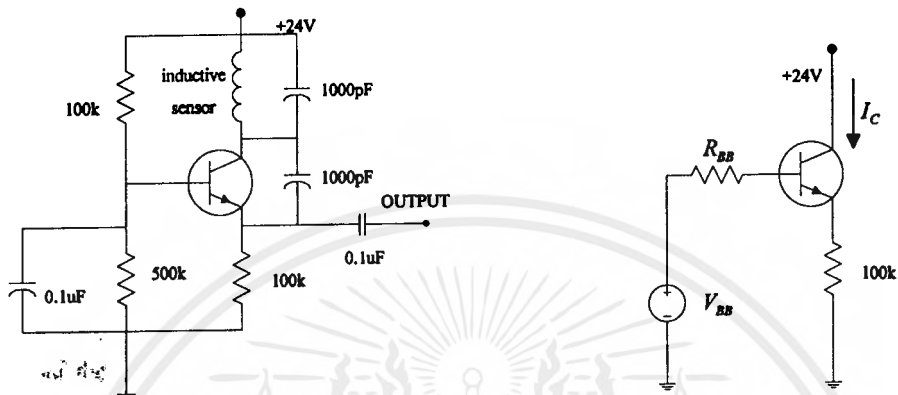


รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของแกนเฟอร์ไรต์แบบ Pot Core

### 3.1.2 วงจรออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ผลิตความถี่ทั้ง 3 วงจร นั้นจะมีลักษณะเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบ Colpits ในที่นี้จะทำการแสดงให้เห็นถึงการคำนวณหาค่า  $L$  ที่ใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่ทั้งสามความถี่

### 3.1.2.1 เซ็นเซอร์ตรวจสอบเนื้อสาร วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ 72 KHZ



รูปที่ 3.4 วงจรออสซิลเลเตอร์ 72 KHZ และ DC ANALYSIS

$$V_{BB} = (24) \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) = (24) \left( \frac{500K}{100K + 500K} \right) = 20V$$

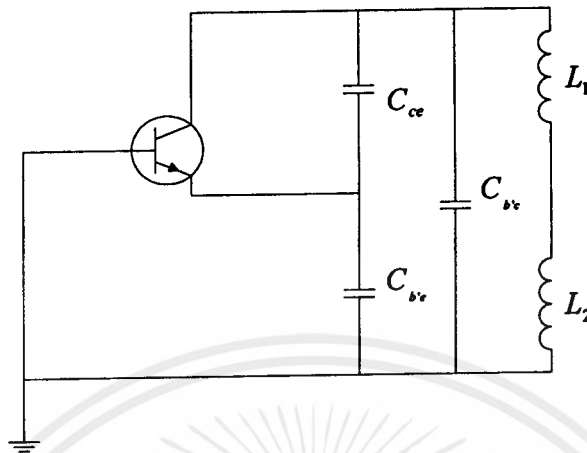
$$R_{BB} = R_1 // R_2 = \frac{(100K)(500K)}{100K + 500K} = 83.333K\Omega$$

$$I_C = \frac{\beta_0 (V_{BB} - V_{BE})}{R_{BB} + (\beta_0 + 1) R_L} = \frac{70(20 - 0.6)}{(83.333 \times 10^3) + (70 + 1)(100 \times 10^3)}$$

$$= 189.05 \times 10^{-6} A$$

ต่อไปจะแสดงให้เห็น วงจรสมมูลของ ทรานซิสเตอร์ ที่นำมาใช้สร้างออสซิลเลเตอร์ และการคำนวณหาค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลของออสซิลเลเตอร์

$$F_T = 80 \text{ MHz}$$

$$C_{ob} = 2 \text{ pF}$$

$$r_{bb'} = 70 \Omega$$

$$\beta_0 = 70$$

2SC1815

$$C_{b'e} = C_{ob} = 2 \text{ pF}$$

$$C_{ce} = 1000 \text{ pF}$$

$$C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_T} - C_{b'e}$$

$$= \frac{I_C}{V_T 2\pi F_T} - C_{b'e}$$

$$= 12.47 \text{ pF}$$

(3.1)

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC_{tot}}$$

(3.2)

$$C_{tot} = C_{b'e} + \frac{(C_{b'e})(C_{ce})}{C_{b'e} + C_{ce}} + C_1 = 1014.31 \text{ pF}$$

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C_{tot}} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C_{tot}}$$

$$= \frac{1}{(2\pi \times 72 \times 10^3)^2 (1014.31 \times 10^{-12})}$$

$$= 4.817 \text{ mH}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขการออกซิเลต ที่ 72 KHZ

$$\frac{\beta r R' Z_1 Z_2}{Z_1(Z_2 + Z_3)} \geq 1 \quad ; R' = \frac{r_{be} // R_{BB}}{r_{be}} \quad (3.3)$$

$$r_{b'e} = \frac{\beta_0 V_T}{I_C} \quad (3.4)$$

$$r_{be} = r_{b'e} + r_{bb'} \quad (3.5)$$

$$r_{b'e} = \frac{70 \times 26 \times 10^{-3}}{189.05 \times 10^{-3}} = 9.627 \text{ k}\Omega$$

$$r_{be} = 9627 + 70 = 9.697 \text{ k}\Omega$$

$$R' = \frac{9.697 \times 10^3 \times 83.333 \times 10^3}{9.697 \times 10^3 + 83.333 \times 10^3} \div 9.697 \times 10^3$$

$$R' = 0.895$$

$$Z_1 = \frac{1}{2\pi f_0 C_{b'e}} = \frac{1}{2\pi \times 72 \times 10^3 \times 12.47 \times 10^{-12}} = 177.264 \text{ k}\Omega$$

$$Z_2 = \frac{1}{2\pi f_0 C_{ce}} = \frac{1}{2\pi \times 72 \times 10^3 \times 1000 \times 10^{-12}} = 2.21 \text{ k}\Omega$$

$$Z_C = Z_{Cb'e} + Z_{C1} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_C = \frac{1}{2\pi \times 72 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-12}} + \frac{1}{2\pi \times 72 \times 10^3 \times 1000 \times 10^{-12}}$$

$$Z_C = 1107.452 K\Omega$$

$$Z_L = 2\pi \times 72 \times 10^3 \times 4.817 \times 10^{-3} = 2.18 K\Omega$$

$$Z_3 = \frac{1107.452 \times 10^3 \times 2.18 \times 10^3}{1107.452 \times 10^3 + 2.18 \times 10^3} = 2.176 K\Omega$$

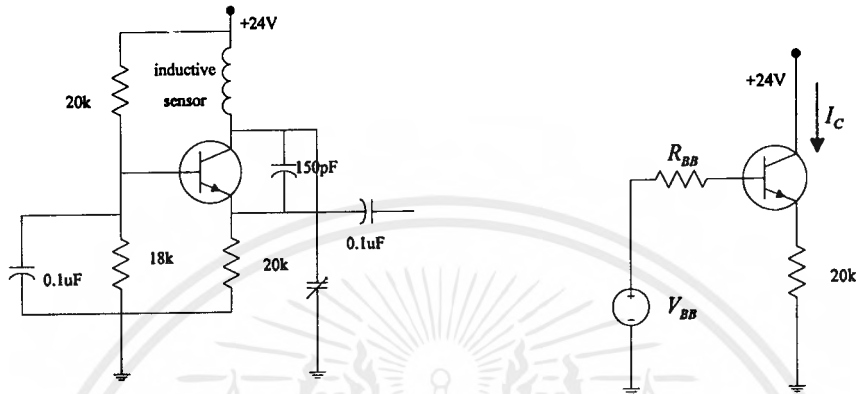
$$\frac{\beta R' Z_1 Z_2}{Z_1 (Z_2 + Z_3)} \geq 1 = \frac{70 \times (0.895) \times 177.264 \times 2.21 \times 10^6}{177.264 (2.21 + 2.175) \times 10^6}$$

$$= 31.57$$

แสดงให้เห็นว่า เงื่อนไขการออสซิลเลตเป็นจริง

### 3.1.2.2 เซ็นเซอร์ตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ

#### วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ 650 KHZ



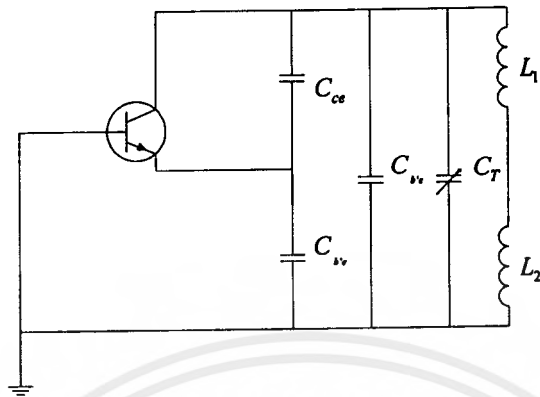
รูปที่ 3.6 วงจรออสซิลเลเตอร์ 650 KHZ และ DC ANALYSIS

$$V_{BB} = (24) \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) = (24) \left( \frac{20K}{18K + 20K} \right) = 12.63V$$

$$R_{BB} = R_1 // R_2 = \frac{(18K)(20K)}{18K + 20K} = 9.473K\Omega$$

$$I_C = \frac{\beta_0 (V_{BB} - V_{BE})}{R_{BB} + (\beta_0 + 1)R_E} = \frac{70(12.63 - 0.6)}{(9.473 \times 10^3) + (70 + 1)(20 \times 10^3)}$$

$$= 589.1 \times 10^{-6} A$$



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรสมมูลของออสซิลเลเตอร์

$$F_T = 80 \text{ MHz}$$

$$C_{ob} = 2 \text{ pF}$$

$$r_{bb'} = 70 \Omega$$

$$\beta_0 = 70$$

2SC1815

$$C_{b'e} = C_{ob} = 2 \text{ pF}$$

$$C_{ce} = 150 \text{ pF}$$

$$C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_T} - C_{b'e}$$

$$= \frac{I_C}{V_T 2\pi F_T} - C_{b'e}$$

$$= 43.08 \text{ pF}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC_{tot}}$$

$$C_{tot} = C_{b'e} + \frac{(C_{b'e})(C_{ce})}{C_{b'e} + C_{ce}} + C_T = 42.97 \text{ pF}$$

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C_{tot}} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C_{tot}}$$

$$= \frac{1}{(2\pi \times 650 \times 10^3)^2 (42.97 \times 10^{-12})} = 1.395 \text{ mH}$$

เงื่อนไขการออสซิลเลต ที่ 650 KHZ

$$\frac{\beta R' Z_1 Z_2}{Z_1(Z_2 + Z_3)} \geq 1 \quad ; R' = \frac{r_{be} // R_{BB}}{r_{be}}$$

$$r_{b'e} = \frac{\beta_0 V_T}{I_C} = 3089 \Omega$$

$$r_{be} = r_{b'e} + r_{bb'}$$

$$r_{be} = 3089 + 70 = 3159 k\Omega$$

$$R' = \frac{3159 \times 9473}{3159 + 9473} \div 3159$$

$$R' = 0.75$$

$$Z_1 = \frac{1}{2\pi f_0 C_{b'e}} = \frac{1}{2\pi \times 650 \times 10^3 \times 43.08 \times 10^{-12}} = 5683.7 k\Omega$$

$$Z_2 = \frac{1}{2\pi f_0 C_{ce}} = \frac{1}{2\pi \times 650 \times 10^3 \times 150 \times 10^{-12}} = 1632.4 k\Omega$$

$$Z_3 = Z_{cb'c} // Z_L$$

$$Z_{cb'c} = \frac{1}{2\pi \times 650 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-12}}$$

$$Z_{cb'c} = 122426.9 \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_L = 2\pi \times 650 \times 10^3 \times 1.395 \times 10^{-3} = 5697.3 K\Omega$$

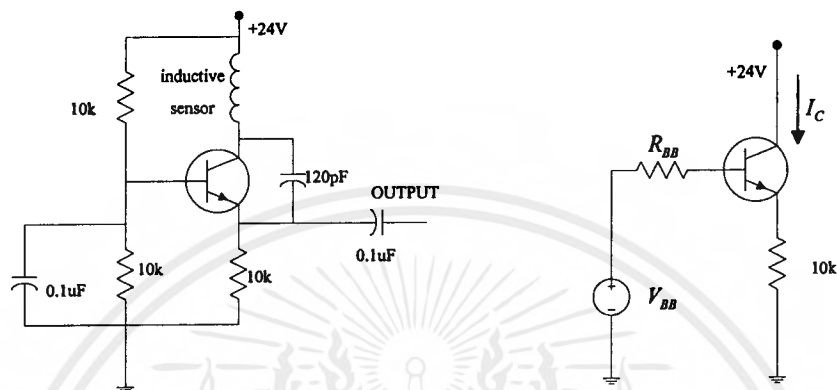
$$Z_3 = 5443.9\Omega$$

$$\frac{\beta r R' Z_1 Z_2}{Z_1 (Z_2 + Z_3)} = 12 \geq 1$$

แสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขการออสซิลเลตเป็นจริง



### 3.1.2.3 เซ็นเซอร์ตรวจสอบความหนา วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ 1MHz



รูปที่ 3.8 วงจรออสซิลเลเตอร์ 1MHz และ DC ANALYSIS

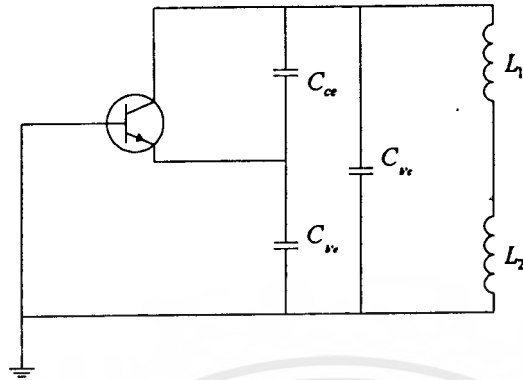
$$V_{BB} = (24) \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) = 12V$$

$$R_{BB} = R_1 // R_2 = 5K\Omega$$

$$I_C = \frac{\beta_0 (V_{BB} - V_{BE})}{R_{BB} + (\beta_0 + 1)R_E} = \frac{70(12 - 0.6)}{(5 \times 10^3) + (70 + 1)(10 \times 10^3)}$$

$$= 1.12 \times 10^{-3} A$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรสมมูลของออสซิลเลเตอร์

$$\begin{aligned}
 F_T &= 80 \text{ MHz} \\
 C_{ob} &= 2 \text{ pF} \\
 r_{bb'} &= 70 \Omega \\
 \beta_0 &= 70
 \end{aligned}$$

2SC1815

$$C_{b'c} = C_{ob} = 2 \text{ pF}$$

$$C_{ce} = 150 \text{ pF}$$

$$C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi F_T} - C_{b'c}$$

$$= \frac{I_C}{V_T 2\pi F_T} - C_{b'c}$$

$$= 83.70 \text{ pF}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC_{tot}}$$

$$C_{tot} = C_{b'e} + \frac{(C_{b'e})(C_{ce})}{C_{b'e} + C_{ce}} = 51.31 \text{ pF}$$

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C_{tot}} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C_{tot}}$$

$$= \frac{1}{(2\pi \times 10^6)^2 (51.21 \times 10^{-12})} = 493.67 \mu\text{H}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เงื่อนไขการตอบสนอง

$$\frac{\beta r R' Z_1 Z_2}{Z_1 (Z_2 + Z_3)} \geq 1 \quad ; R' = \frac{r_{be} // R_{BB}}{r_{be}}$$

$$r_{be} = \frac{\beta_0 V_T}{I_C} = 1.625 \text{ K}\Omega$$

$$r_{be} = r_{b'e} + r_{bb'}$$

$$r_{be} = 1625 + 70 = 1695 \text{ k}\Omega$$

$$R' = \frac{1.695 \times 10^3 \times 5 \times 10^3}{1.695 \times 10^3 + 5 \times 10^3} \div 1.695 \times 10^3$$

$$R' = 0.747$$

$$Z_2 = \frac{1}{2\pi f_0 C_{ce}} = \frac{1}{2\pi \times 10^6 \times 150 \times 10^{-12}} = 1.061 \text{ k}\Omega$$

$$Z_3 = Z_{cb'c} // Z_L$$

$$Z_{cb'c} = \frac{1}{2\pi \times 10^6 \times 2 \times 10^{-12}} \quad Z_{cb'c} = 79.577 \Omega$$

$$Z_L = 2\pi \times 10^6 \times 493.67 = 3.102 \text{ K}\Omega \quad Z_3 = 3 \text{ K}\Omega$$

$$\frac{\beta r R' Z_1 Z_2}{Z_1 (Z_2 + Z_3)} = \frac{70(0.747) \times 1.902 \times 1.062}{1.092(1.061 + 3)} = 13.66$$

แสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขการตอบสนองเป็นจริง

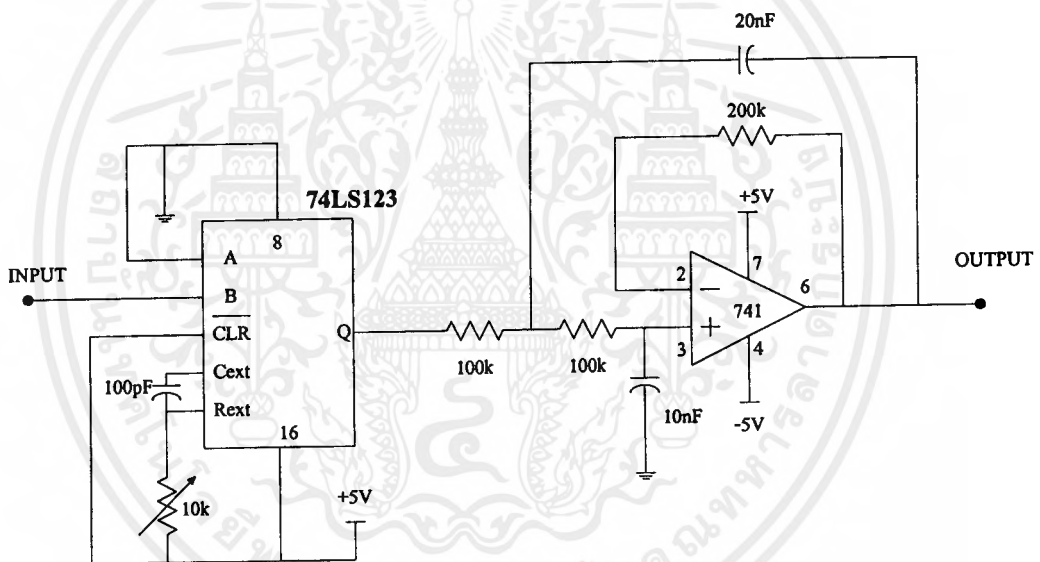
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 การแยกความแตกต่างของเหรียญ

เนื่องจากผลของการผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์ของเหรียญ สำหรับออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่ 650 kHz และ MHz ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางความถี่มากกว่าการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูด ดังนั้นการที่จะแยกแยะชนิดของเหรียญควรจะทำโดยการนำเอาท์พุทที่ได้ ไปผ่านวงจรเปลี่ยนความถี่เป็นแรงดันแล้วนำไปเปรียบเทียบกับโวลเตจคอมพาราเตอร์ ซึ่งกระทำได้ง่ายกว่าใช้วงจรเปรียบเทียบความถี่ของเอาท์พุทจากออสซิลเลเตอร์โดยตรง

สำหรับการผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์ของเหรียญ สำหรับออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่ 72 kHz ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดมากกว่าการเปลี่ยนแปลงทางความถี่ ดังนั้นการที่จะแยกแยะชนิดของเหรียญควรจะทำโดยการนำเอาท์พุทที่ได้ ไปผ่านวงจรเรคตีไฟร์และฟิลเตอร์ แล้วนำเอาท์พุทที่เป็นแรงดัน dc ไปเปรียบเทียบกับโวลเตจคอมพาราเตอร์

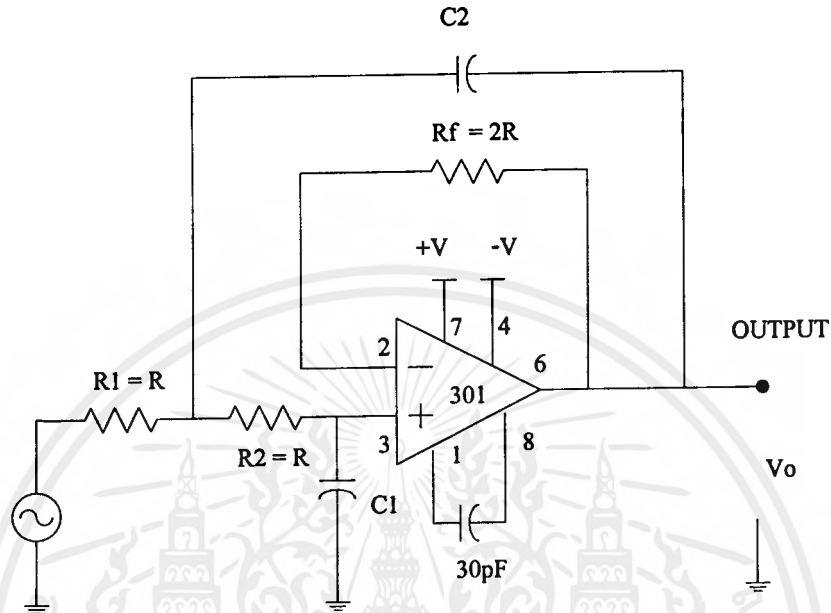
#### 3.1.3.1 วงจรเปลี่ยนความถี่เป็นแรงดัน



รูปที่ 3.10 วงจรเปลี่ยนความถี่เป็นแรงดัน

เอาท์พุทจากวงจรออสซิลเลเตอร์ถูกนำมาต่อเข้ากับวงจร โมโนสเตเบิล ได้เอาท์พุทเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีเพียงซีกบวก สัญญาณพัลส์ที่ได้จะเป็นอินพุทของวงจรรองความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ทซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการดีมอดคูเลทสัญญาณ FM เมื่อความถี่จากวงจรออสซิลเลเตอร์มีค่าสูงขึ้นเอาท์พุทที่ได้จากวงจรรองความถี่ต่ำก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่

สำหรับความถี่ทอพอของวงจรความถี่ต่ำนั้นต้องมีค่าเท่ากับ  $1/\text{เวลาที่หริยญัตต์ผ่านอินค้ทึฟ}$   
เซนเซอร์ ซึ่งมีค่าต่ำมากดังนั้นจึงออกแบบวงจรความถี่ต่ำให้มีความถี่ทอพอประมาณ 100 เฮิร้ท การคำนวณ  
แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 3.11 วงจรกรองความถี่ต่ำบัตเตอร์เวิร์ท

เลือกใช้ค่า  $C_1$  10 นาโนฟารด์ ดังนั้น  $C_2 = 2C_1 = 20$  นาโนฟารด์ สำหรับค่า  $R$  คำนวณได้ดังนี้

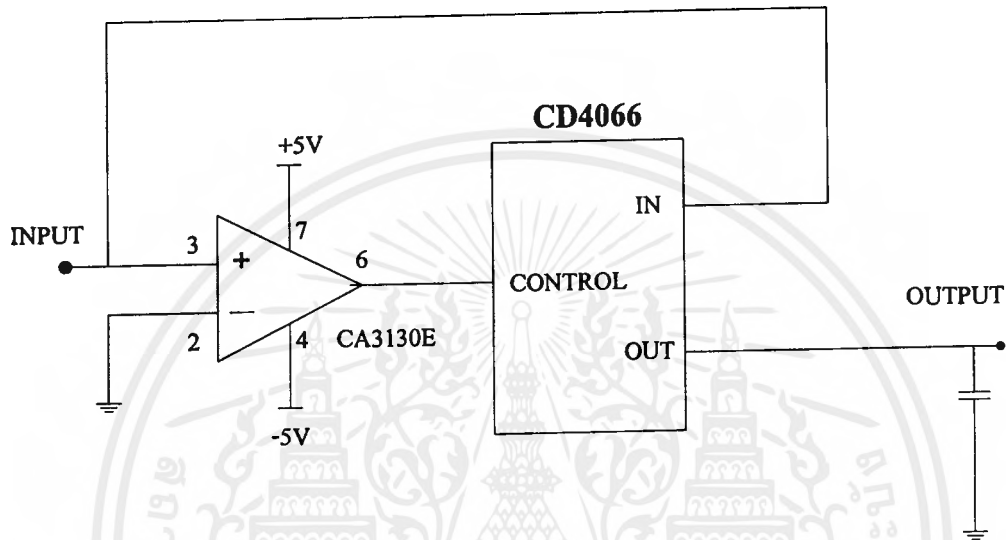
$$\begin{aligned} R &= 0.707 / 2\pi f_c C_1 & (3.7) \\ &= 0.707 / 2\pi (100)(10 \times 10^{-9}) \\ &= 112.5 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

เลือกใช้ค่า  $R$  ที่มีขายและมีค่าใกล้เคียงค่าที่คำนวณได้  $= 100 \text{ K}\Omega$  ซึ่งจะทอพอความถี่ทอพอมีค่าคลาดเคลื่อน  
ไปจากค่าที่ต้องการเพียงเล็กน้อย ดังนี้

$$\begin{aligned} f_c &= 0.707 / 2\pi RC & (3.8) \\ &= 0.707 / 2\pi (100 \times 10^3)(10 \times 10^{-9}) \\ &= 112.5 \text{ Hz} \end{aligned}$$

### 3.1.3.2 วงจร Rectifier และ Filter

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ 72 kHz เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดตัดผ่านอินดักทีฟเซมเซอร์มีค่าแตกต่างกันไม่มากพอที่จะใช้ไดโอดเรกติไฟร์ได้ เนื่องจากแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิค่อนข้างมาก ทำให้เอาต์พุตที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้กับคอมพิวเตอร์ได้ ดังนั้นจึงใช้วงจร Half-wave Rectifier และ Filter ดังรูป

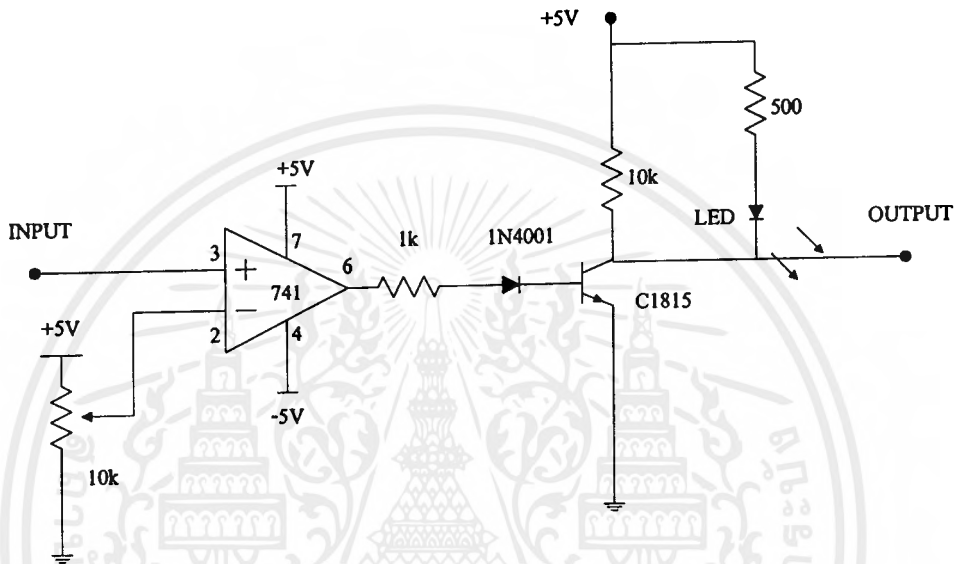


รูปที่ 3.12 วงจร Half-wave Rectifier และ Filter

อปแอมป์ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอินพุต Sine wave ที่ได้จากออสซิลเลเตอร์เป็นสัญญาณ Square wave ที่มีความถี่และเฟสเดียวกันเพื่อนำไปเป็นสัญญาณ control ของ analog switch ซึ่งจะยอมให้สัญญาณอินพุตผ่านไปยังเอาต์พุตก็ต่อเมื่อสัญญาณ control เป็นซิกบวค ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จาก analog switch จะเป็นสัญญาณ sine wave ที่ถูกตัดซิกลบออกไป และเมื่อผ่าน C filter ก็จะทำให้ได้เป็นแรงดัน DC ออกมาเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับ Voltage comparator ต่อไป

### 3.1.3.3 Voltage Comparator

สำหรับส่วนตรวจสอบเหรียญทั้ง 3 ความถี่จะมีแรงดัน DC เปลี่ยนแปลงค่า 3 ระดับตามชนิดของเหรียญทั้ง 3 ชนิดที่ตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์ ดังนั้นส่วนตรวจสอบเหรียญแต่ละชุดจะต้องมีวงจร Voltage Comparator 3 วงจร ซึ่งใช้วงจรแบบเดียวกันหมดดังนี้

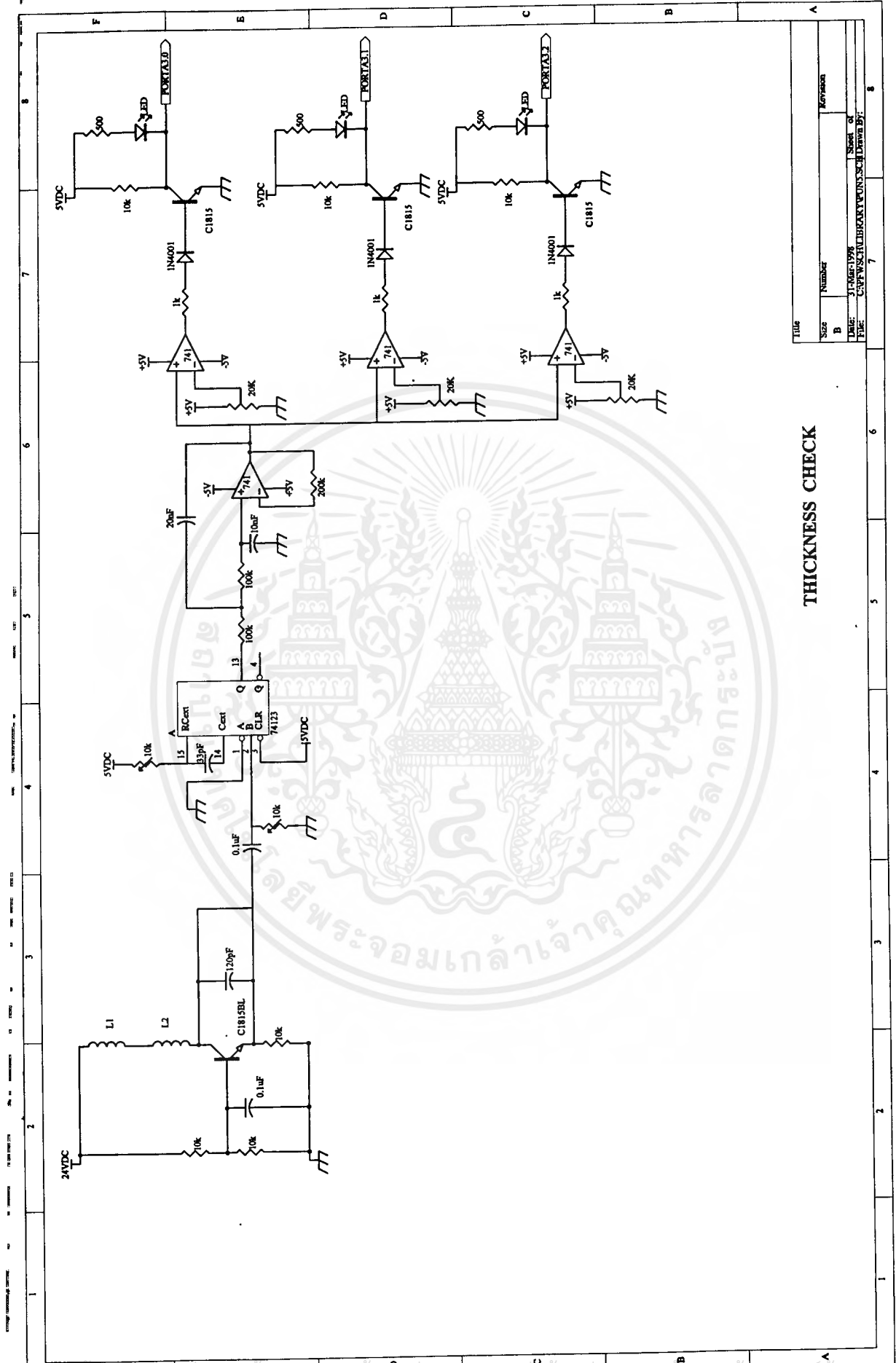


รูปที่ 3.13 วงจร Comparator

### 3.1.4 วงจรที่สมบูรณ์ของส่วนตรวจสอบเหรียญทั้ง 3 ความถี่

ส่วนตรวจสอบเหรียญที่ความถี่ 650 kHz และ 1 MHz ระดับแรงดัน DC อินพุตของ Comparator ที่สภาวะเมื่อมีเหรียญตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์จะมีค่าสูงขึ้นจากสภาวะปกติ ดังนั้นการปรับ Voltage reference ของวงจร Comparator จะมีค่าสูงกว่าระดับแรงดันที่สภาวะปกติ ซึ่ง Comparator ทั้ง 3 ตัวจะมีค่า Voltage reference ที่ระดับแตกต่างกัน เพื่อการตรวจสอบเหรียญที่แตกต่างกัน

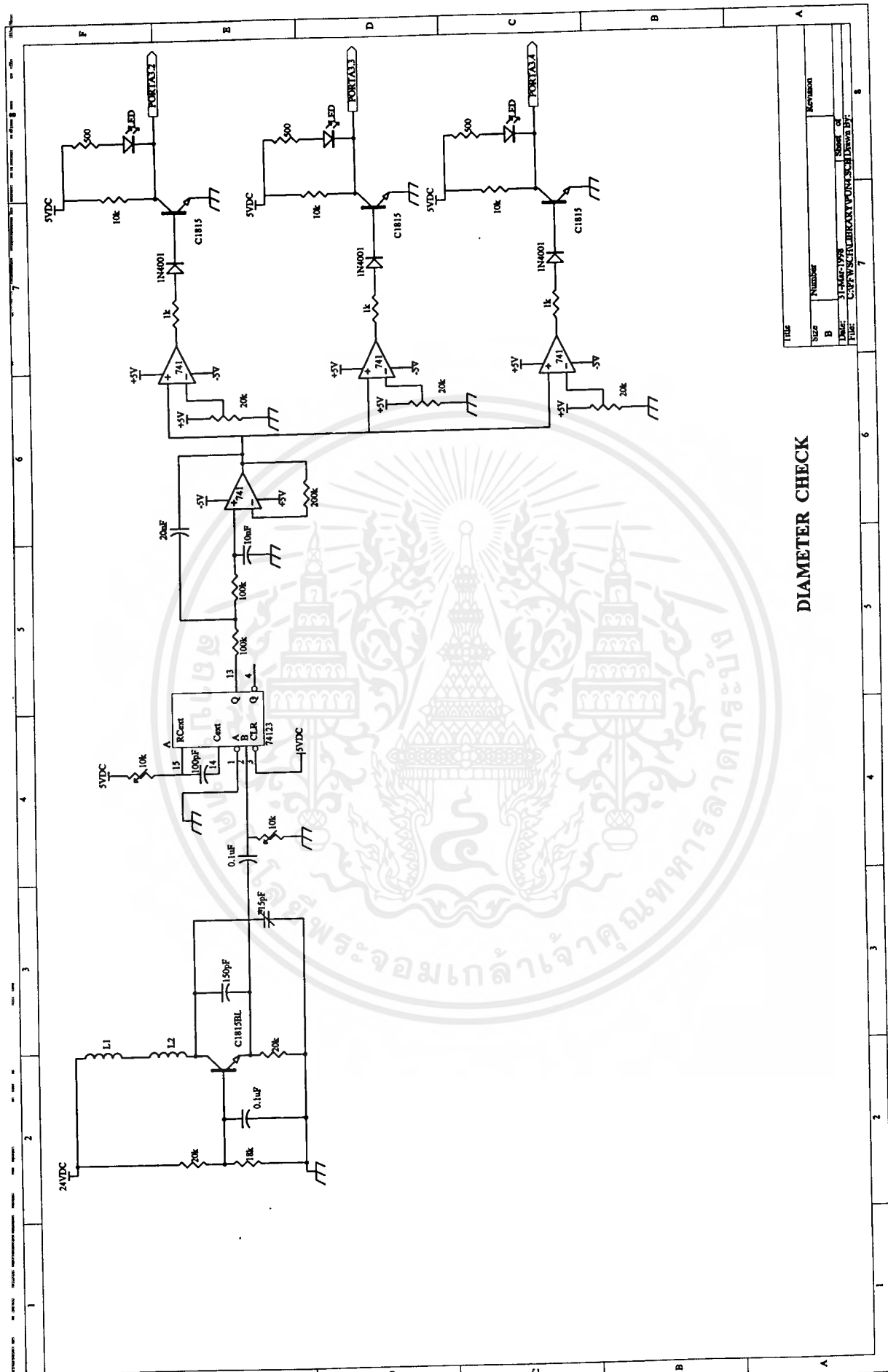
ส่วนตรวจสอบเหรียญที่ความถี่ 72 kHz ระดับแรงดัน DC อินพุตของ Comparator ที่สภาวะเมื่อมีเหรียญตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์จะมีค่าต่ำลงจากสภาวะปกติ ดังนั้นการปรับ Voltage reference ของวงจร Comparator จะมีค่าต่ำกว่าระดับแรงดันที่สภาวะปกติ ซึ่ง Comparator ทั้ง 3 ตัวจะมีค่า Voltage reference ที่ระดับแตกต่างกัน เพื่อการตรวจสอบเหรียญที่แตกต่างกัน



THICKNESS CHECK

Title	
Size	Number
B	
DATE:	DATE: 11/06/2008
FILE:	C:\PFW\KJ\UBK\KYPONS\SCH\DRIVER.B1
Scale	Scale
8	8

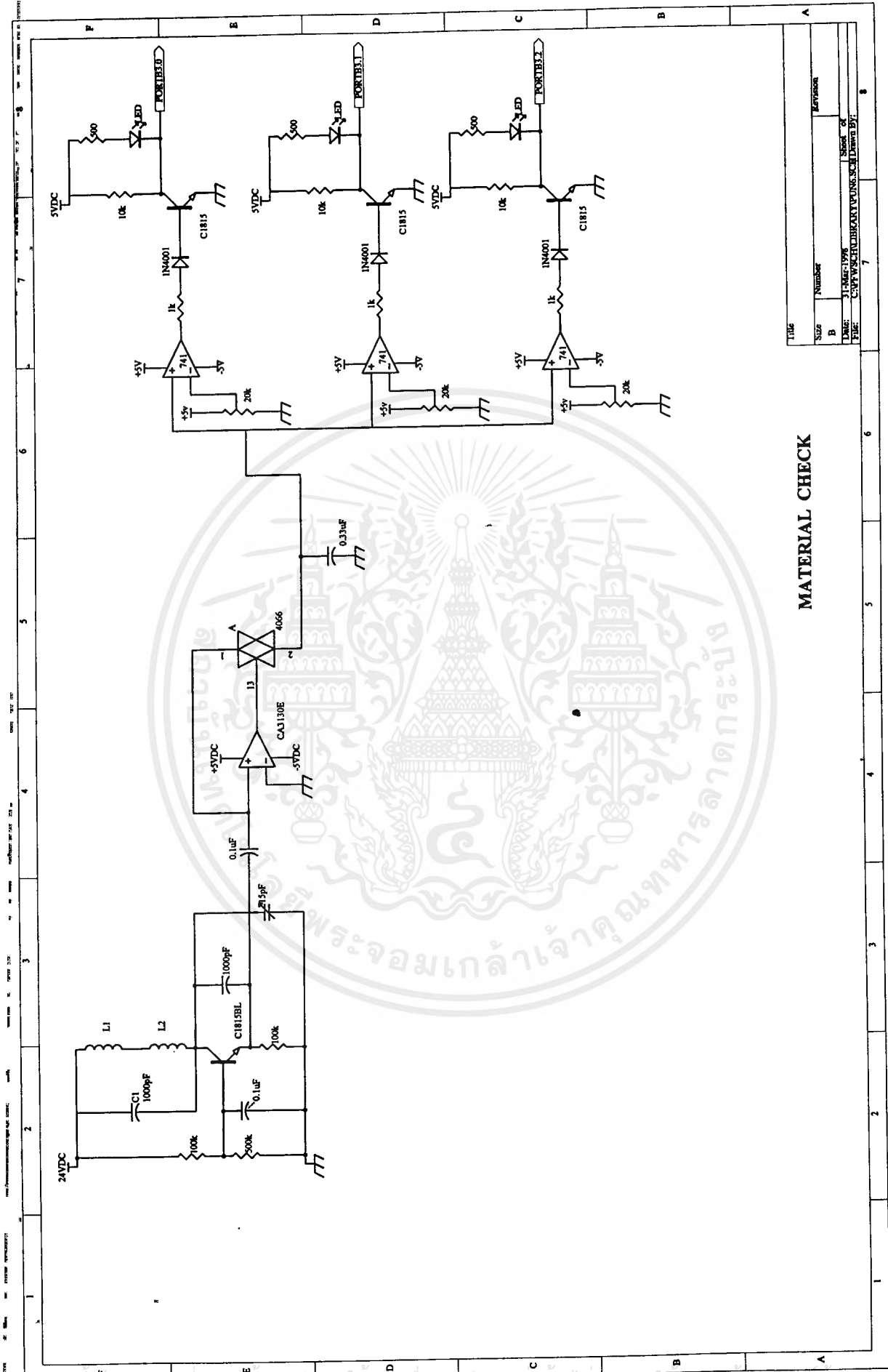
รูปที่ 3.14 วงจรสมบูร์บ่งของส่วนตรวจสอบความหนาของแผ่นหรือ



Title	
Size	Number
B	Revision
Date	Drawn by
File	Sheet of
C:\P\SW\LIBRARY\DWG\SCHEM.DWG	7
	8

DIAMETER CHECK

รูปที่ 3.15 วงจรสมมุติของส่วนตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ



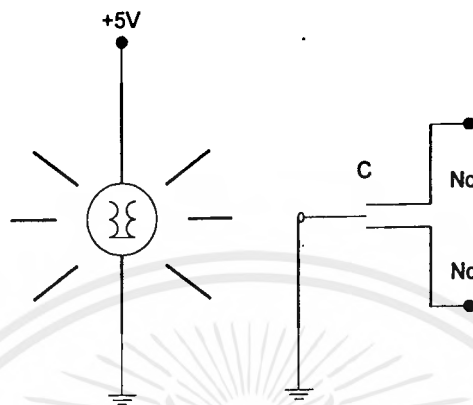
Title		Revision	
Size	Number	Date	By
B		31-Mar-1998	
Drawn: C.P.P.W.SCHIBAKATUNONG-SCHIBAKATUNONG		Checked: D.P.	

MATERIAL CHECK

รูปที่ 3.16 วงจรสมมุติของส่วนตรวจสอบเนื้อโลหะของเหรียญ

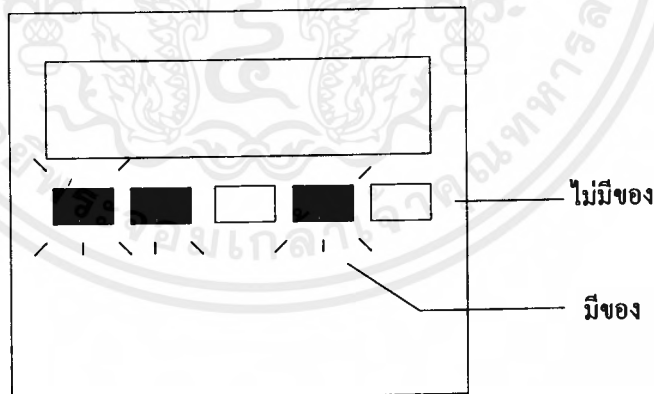
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 วงจรในส่วนของสวิตช์เลือกชนิดของนุหรี



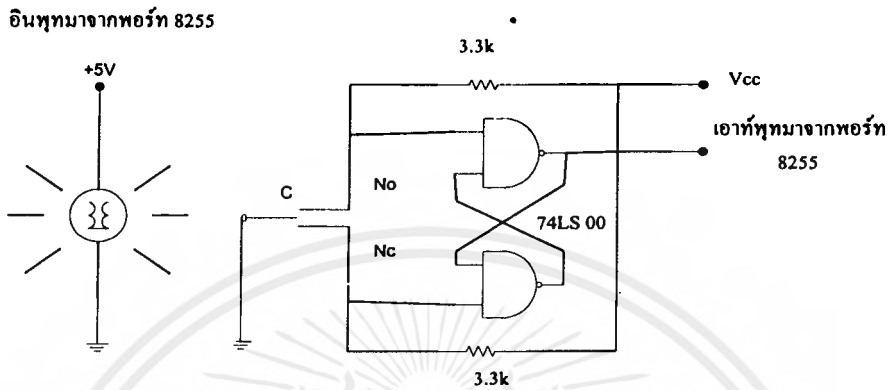
รูปที่ 3. 17แสดงวงจรของสวิตช์กด

สวิตช์ที่ใช้ในที่นี้จะประกอบด้วยส่วนที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์กดและยังมีหลอดไฟอยู่ในตัวอีกด้วย เพราะฉะนั้นในการที่จะแสดงว่านุหรีหรือหื้อโคมีจำหน่ายหรือหมด สามารถแสดงได้โดยการมีไฟติดหรือไม่มีไฟติดที่ปุ่มนี้ ซึ่งการสั่งให้ไฟติดหรือดับนี้จะสั่งมาจากพอร์ตของ 8255



รูปที่ 3. 18 แสดงการติดและดับของไฟที่สวิตช์

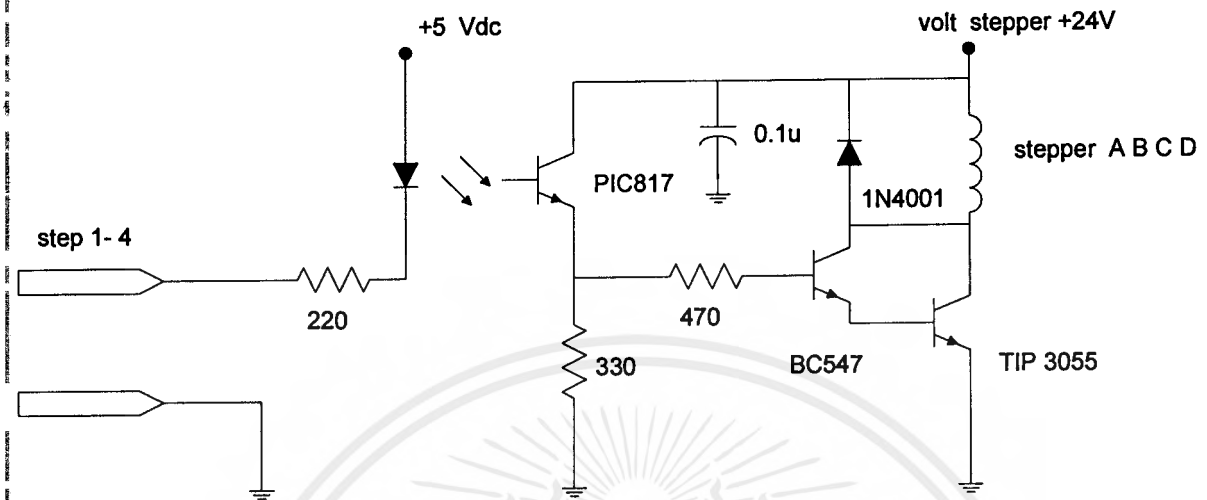
ในระหว่างที่กดสวิตช์หน้าสัมผัสของสวิตช์จะไม่แตะหรือแยกกันอย่างเด็ดขาด จะมีการดึงและดันของหน้าสัมผัสก่อนการแตะหรือแยกออกจากกันเสมอ เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า แชตเตอริง (Chattering) หรือ ในที่นี้จึงใช้หลักการของ RS-FF เพื่อป้องกันการเกิดปรากฏการณ์นี้



รูปที่ 3.19 แสดงวงจรป้องกันแชตเตอริงแบบใช้ RS ฟลิปฟลอป เมื่อต่อกับสวิตช์

### 3.3 วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่ใช้ในชิ้นงานนี้เป็นแบบ variable reluctance (VR) ซึ่งเป็นสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่ถูกกล่าวถึงและนำไปใช้งานมากที่สุด โดยเฉพาะแบบ 4 เฟส โรเตอร์และสเตเตอร์จะทำมาจากเหล็กผสมซิลิกอน เลาของมอเตอร์จะหมุนไปเป็นค่ามุมคงที่หรือเรียกว่า มุมสเต็ป  $\theta_s$  มักจะมีมุมที่ต่างกันคือ 0.72, 0.9, 1.8, 2.0, 3.6, 7.5, 15 สำหรับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้วงจรขับแบบ UNIPOLAR ซึ่งลักษณะการทำงานของวงจรจะต้องป้อนค่า Voltage เข้าไปในแต่ละขั้วตามลักษณะของ PULSE ที่ไว้ขั้วชุด Driver คือ Voltage ที่จ่ายให้มอเตอร์จะใช้อ้างอิงกับกราวด์เสมอ ลักษณะของวงจรขับจะมีวงจรสำหรับขับในแต่ละเฟสของมอเตอร์ ในที่นี้ใช้ 4 เฟส ส่วนของวงจรขับกินทุทซึ่งใช้ในการควบคุมที่มาจากพอร์ต 8255 จะถูกแยกอิสระออกจากกันโดยใช้ photo coupler เพื่อลดปัญหาของสัญญาณรบกวนส่วนที่ใช้ขับจะใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อกันแบบคาร์ลิงตันเพื่อขับให้โหลดที่ใช้กระแสสูง เพราะลักษณะการต่อแบบคาร์ลิงตันทำให้อัตราขยายเป็น  $\beta_1 \beta_2$  การต่อ วงจรแสดงดังรูป



รูปที่ 3.20 แสดงวงจรขับสเต็ปเปอร์

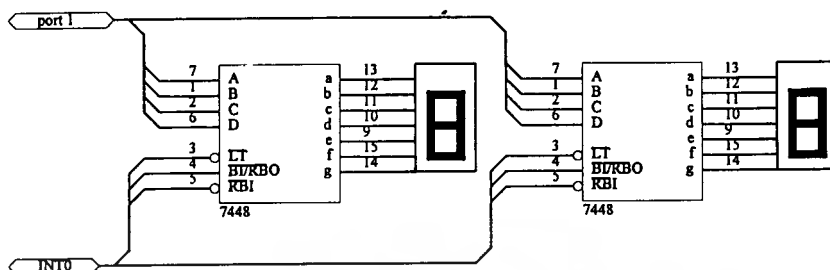
ในที่นี้จะใช้กระตุ้นแบบ TWO PHASE EXITATION เป็นการกระตุ้นแบบทีละสองเฟสคู่พร้อม ๆ กัน ซึ่งเป็นเฟสที่อยู่ข้างเดียวกัน ซึ่งมีความเที่ยงตรงของตำแหน่งน้อยกว่าแบบ SINGLE PHASE EXITATION แต่มีแรงบิดที่สูงกว่า



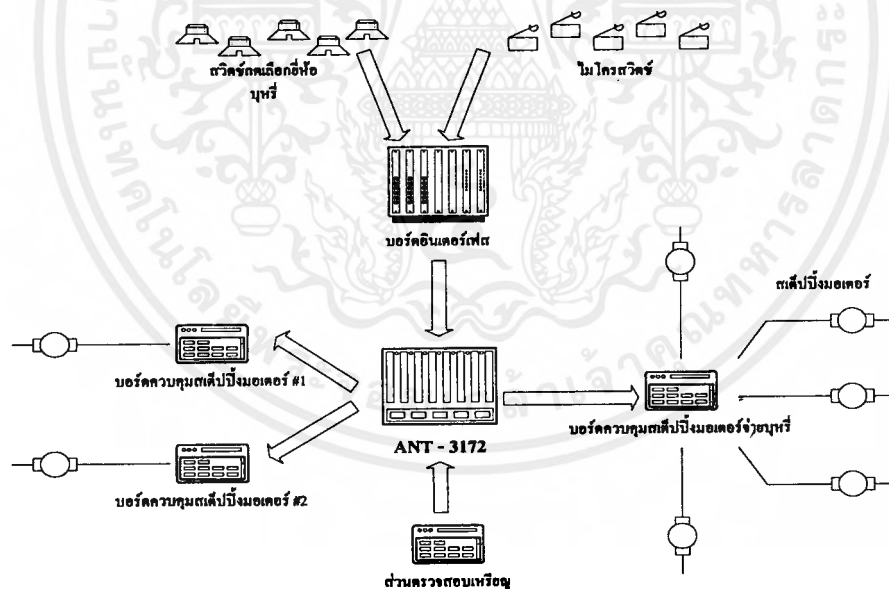
รูปที่ 3.21 แสดงสัญญาณการกระตุ้นแบบ two phase excitation เมื่อช่วงที่ใช้ในการ กระตุ้นเป็น active low

### 3.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ กับไมโครคอนโทรลเลอร์

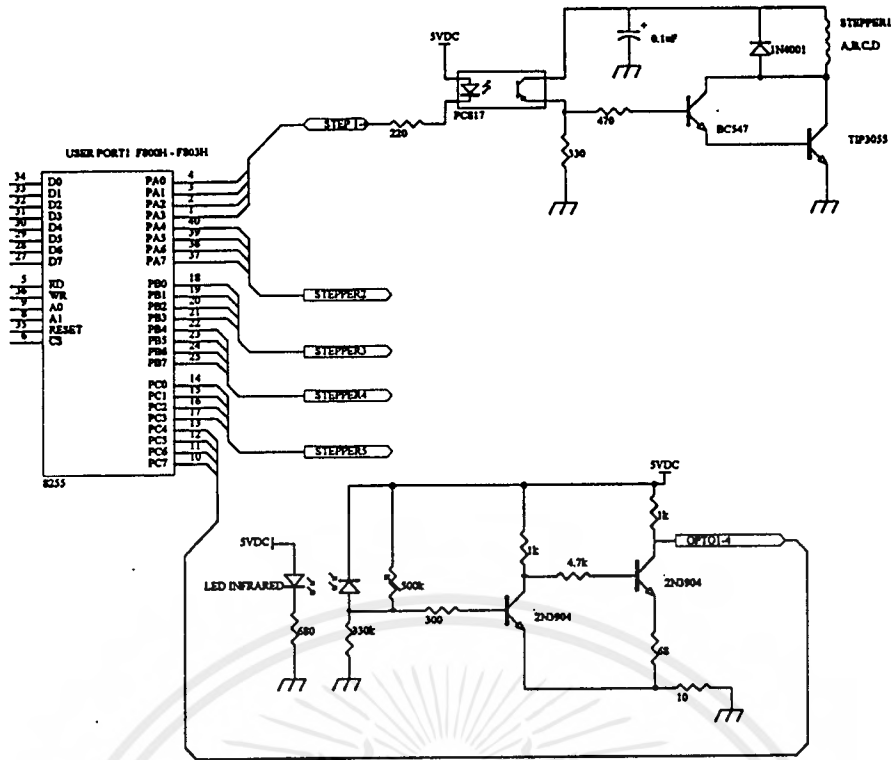
ส่วนแสดงผลใช้ LED 7 SEGMENTS ซึ่งต่อผ่าน 74LS48 เพื่อแปลงค่ารหัส BCD ไปเป็นรหัสของ 7 SEGMENTS



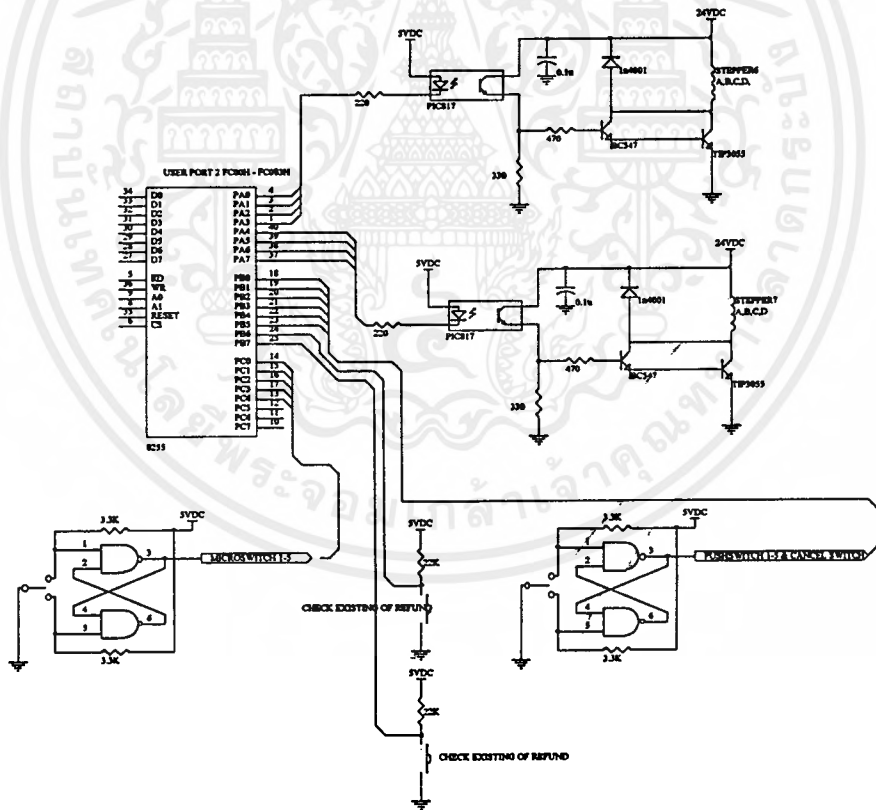
รูปที่ 3.22 ส่วนแสดงผล



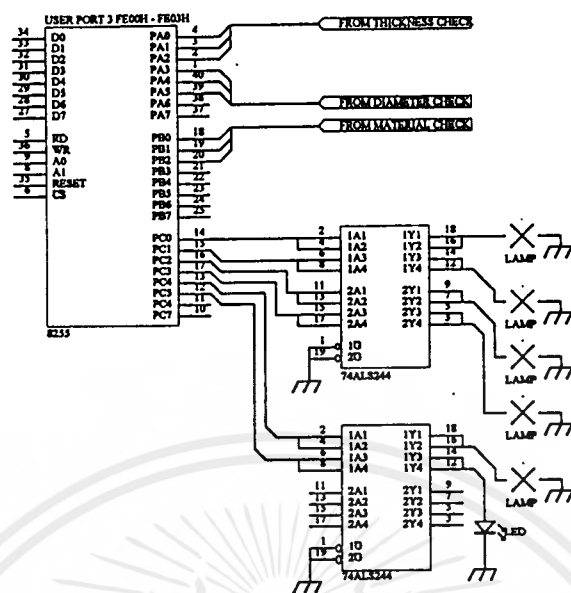
รูปที่ 3. 23 แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ กับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.24 แสดงการเชื่อมต่อวงจรกับ USER PORT 1 ของบอร์ด ANT 3172



รูปที่ 3.25 แสดงการเชื่อมต่อวงจรกับ USER PORT 2 ของบอร์ด ANT 3172



รูปที่ 3.26 แสดงการเชื่อมต่อวงจรกับ USER PORT 3 ของบอร์ด ANT 3172

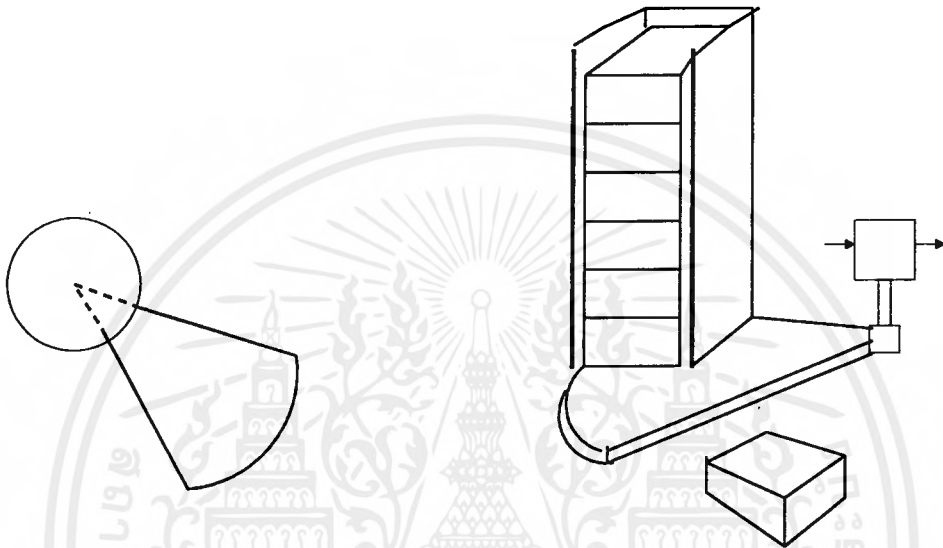
### 3.5 แนวทางในการออกแบบส่วนที่เป็น MECHANIC



รูปที่ 3.27 ส่วนทอนเงิน

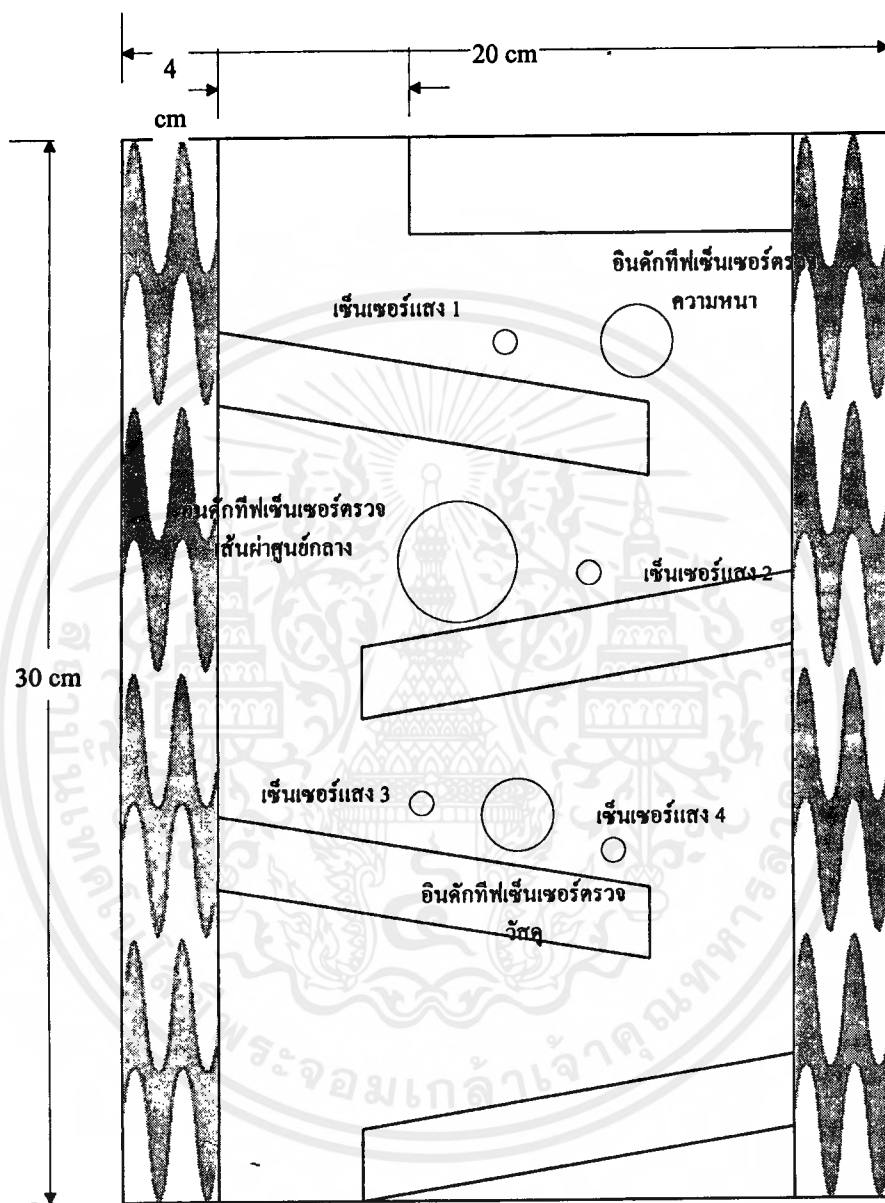
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์จะยึดติดกับวัตถุซึ่งเป็นแผ่นเจาะรูเป็นวงกลม มีขนาดใหญ่กว่าเหรียญเล็กน้อย เหรียญที่จะทำการทอนจะเก็บอยู่ในหลอด เมื่อมอเตอร์หมุนไปที่ละ 90 องศา เหรียญก็จะถูกเลื่อนออกจากหลอดเก็บเหรียญลงไปสู่ช่องคืนเงิน



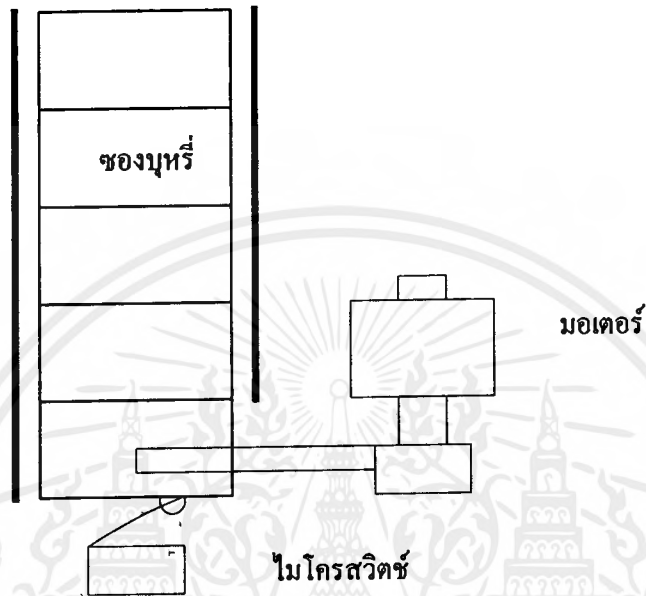
รูปที่ 3. 28 แสดงส่วนจ่ายเหรียญ

เหรียญจะถูกเก็บอยู่ในช่องเก็บเรียงซ้อนกันขึ้นไปทางด้านบน ช่องเก็บจะมีช่องเปิดอยู่ด้านล่างสุดซึ่งมีขนาดเท่ากับความหนาของช่องเหรียญ เมื่อผู้ใช้บริการกดปุ่มเลือกซื้อมอเตอร์จะหมุนก้านปิด ไปปิดให้ช่องเหรียญตกลงมายังช่องจ่ายสินค้า



รูปที่ 3.29 แสดงการออกแบบรางเหริขญ

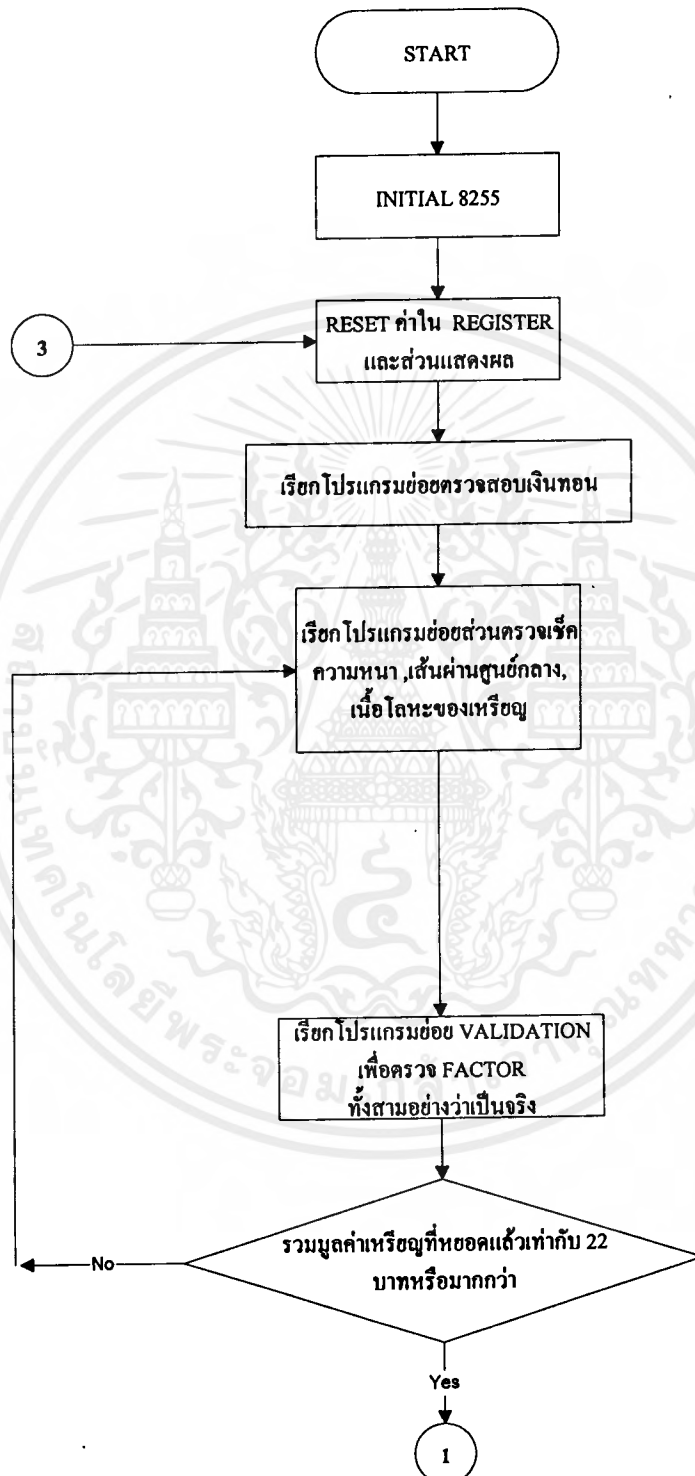
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3. 30 แสดงการตรวจเช็คการคงเหลือของนูห์แต่ละชนิด

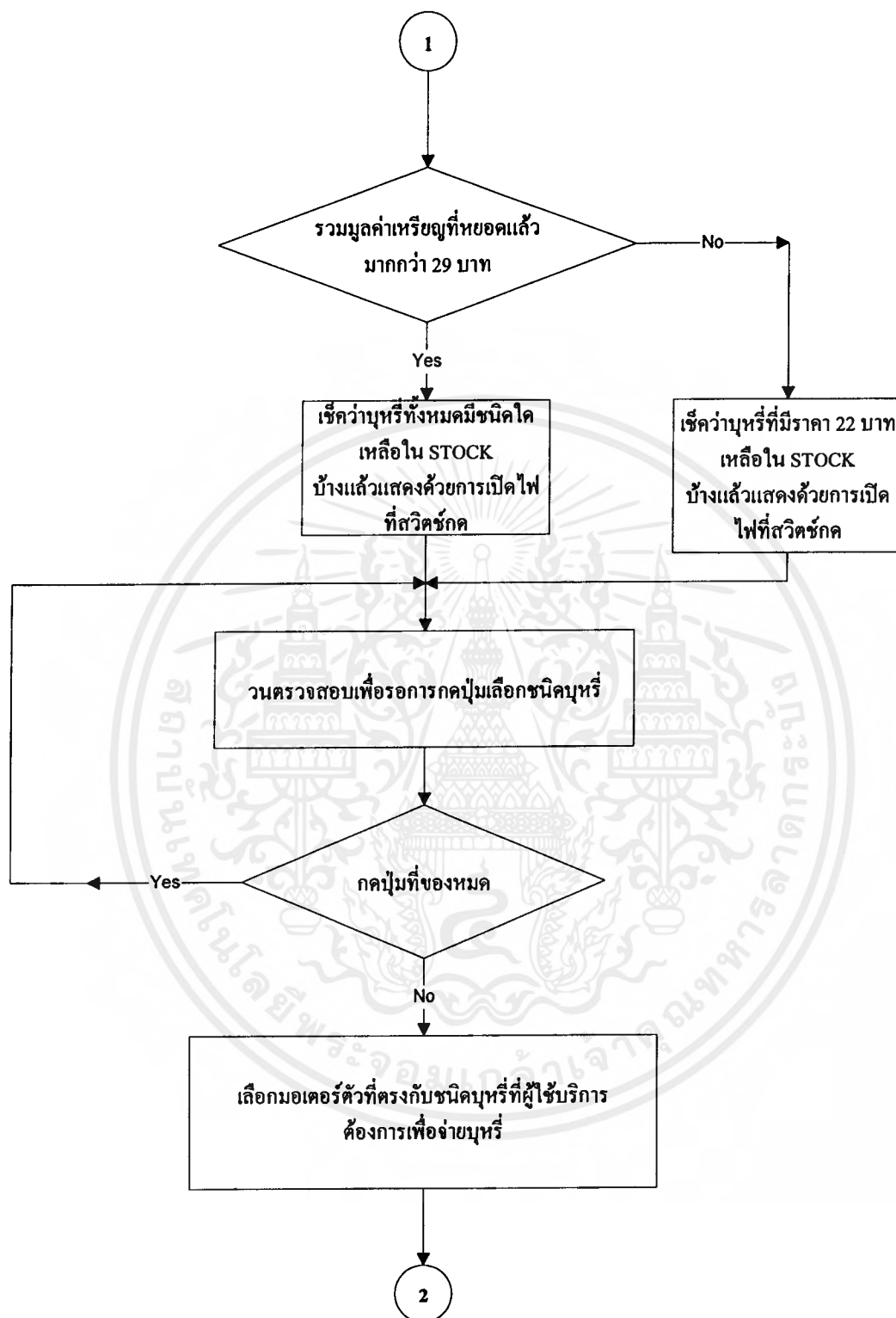
ไมโครสวิตช์ถูกใช้ในการตรวจเช็คว่านูห์ยี่ห้อไหน ๆ หมดหรือไม่ เมื่อมีการกดปุ่มโดยผู้ให้บริการและเป็น การกดเลือกยี่ห้อนูห์ในชนิดที่ของหมด โปรแกรมจะทำการวนรอบกลับไปรอให้ผู้ให้บริการเลือกให้ถูกต้องอีกครั้ง หนึ่ง

### 3.6 ส่วนโปรแกรมควบคุมการทำงาน



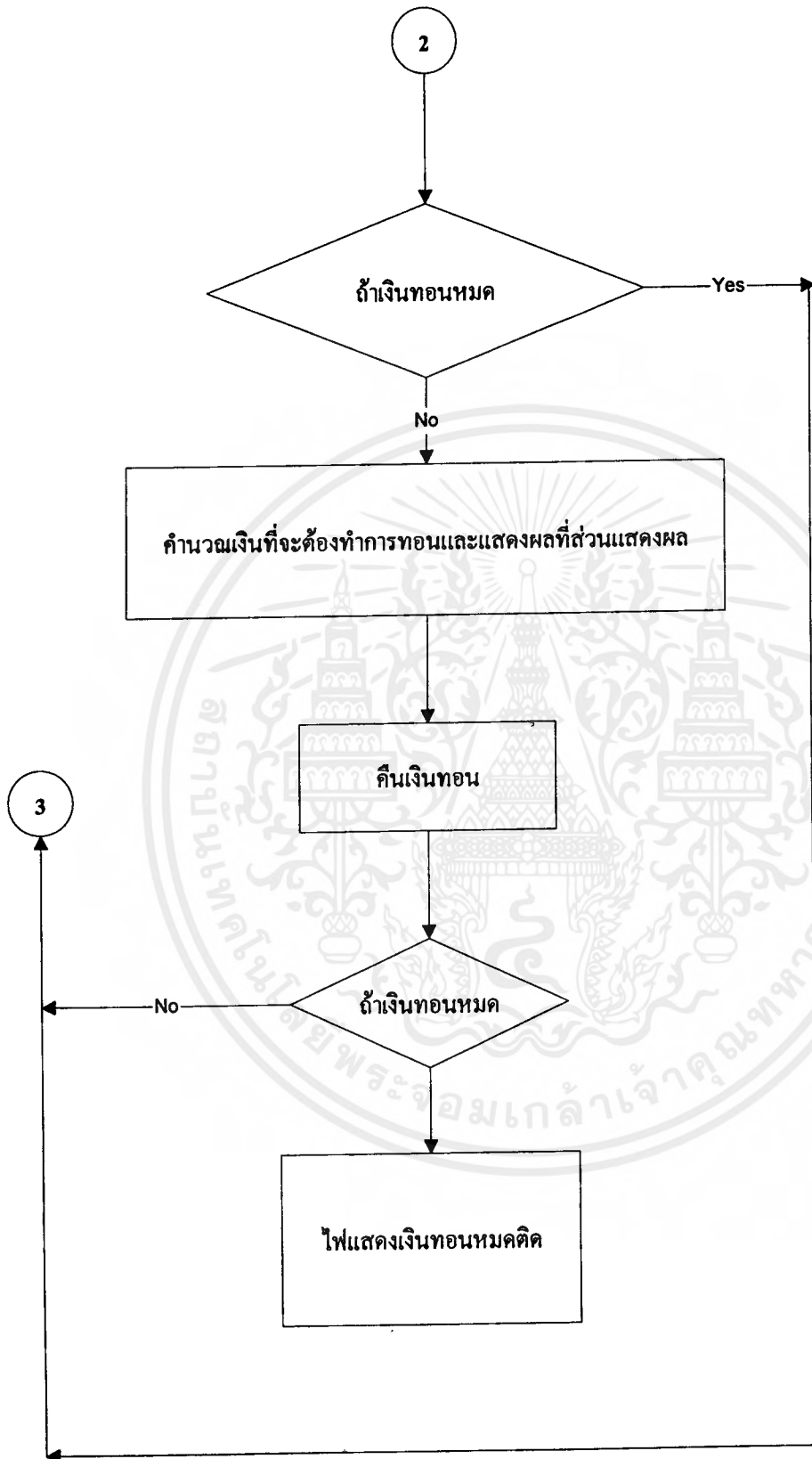
รูปที่ 3.31 แสดงโฟลวชาร์ตการทำงานของส่วนโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



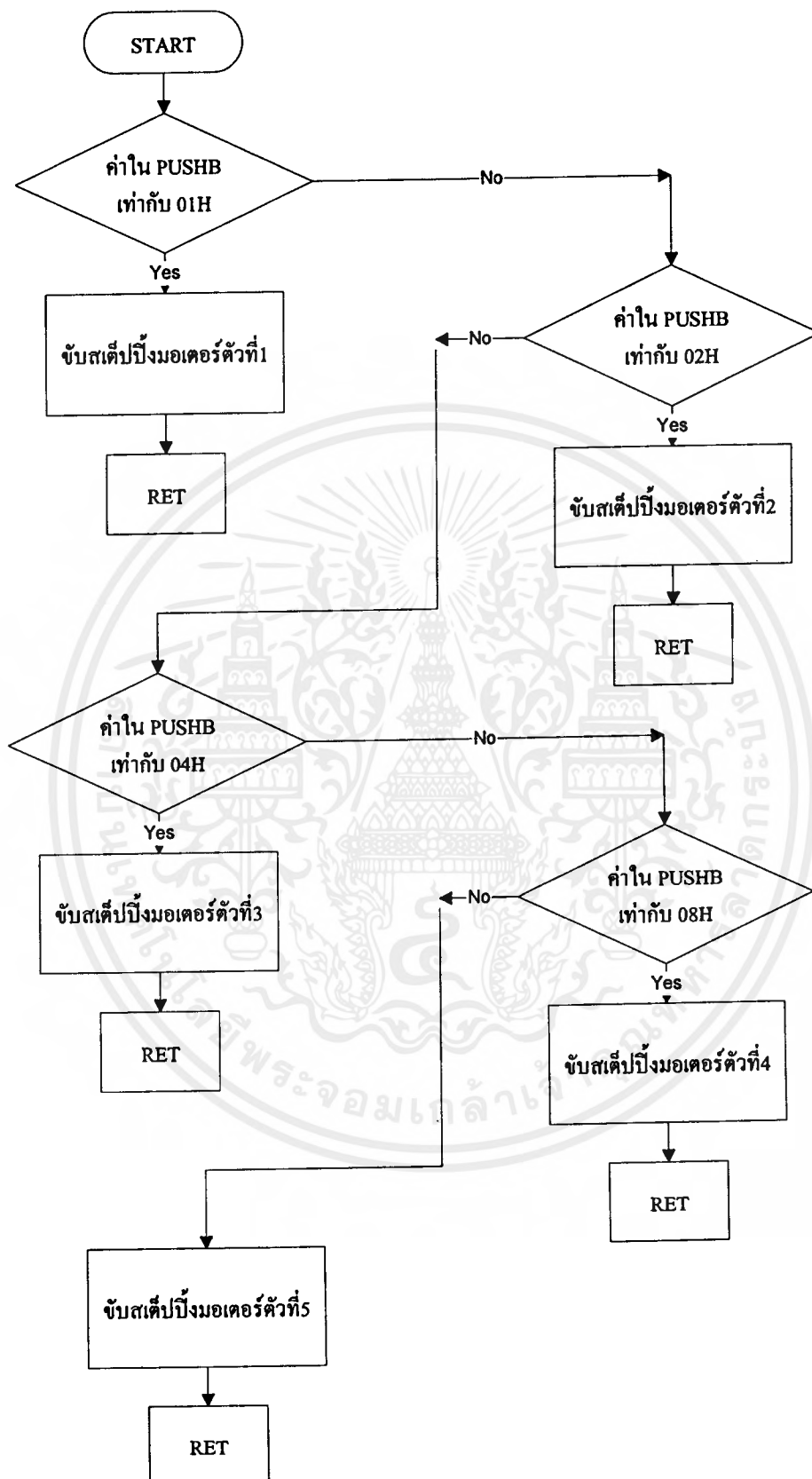
รูปที่ 3.31 แสดงโฟลวชาร์ตการทำงานของส่วนโปรแกรมหลัก (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



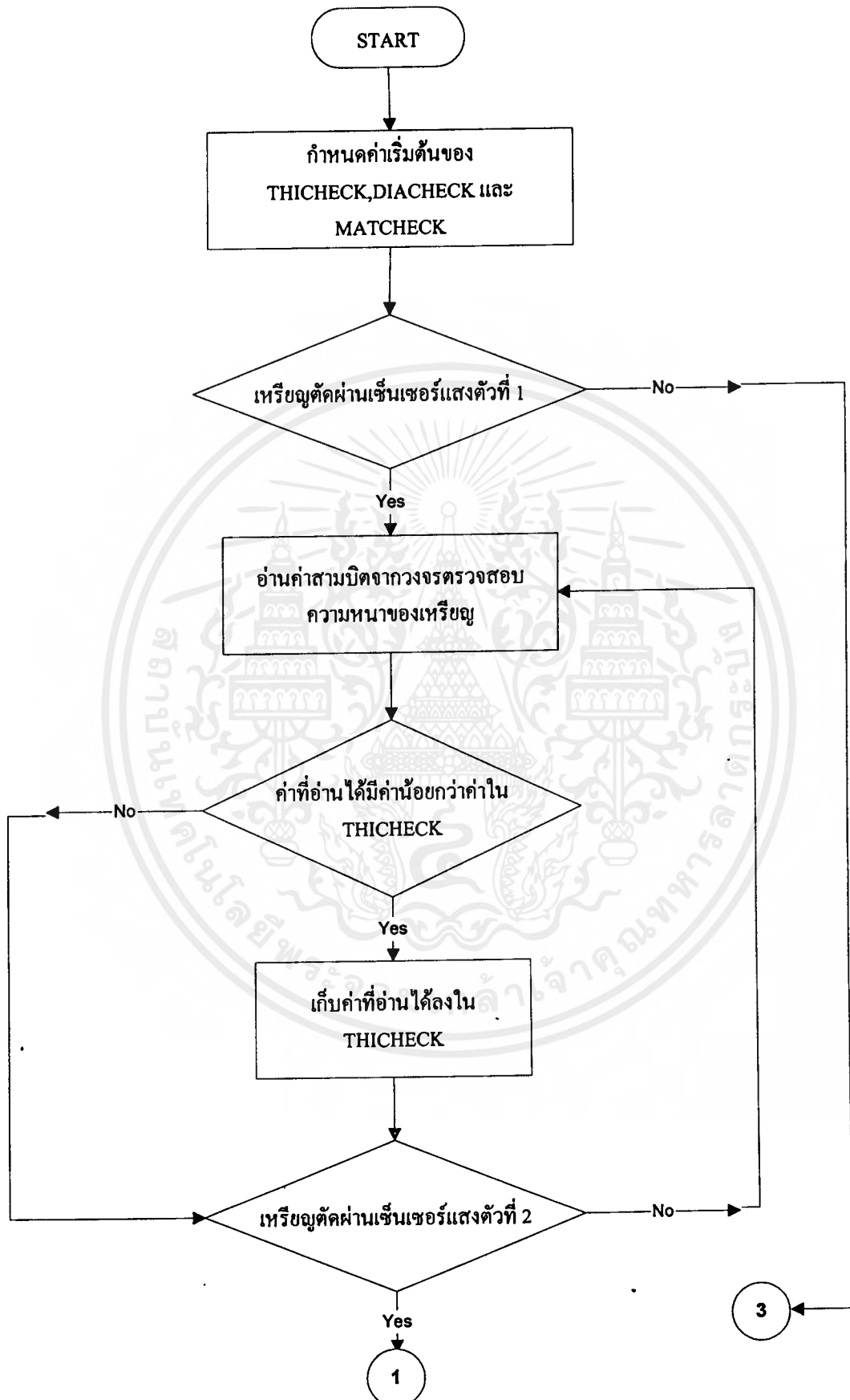
รูปที่ 3.31 แสดงโฟลวชาร์ตการทำงานของส่วนโปรแกรมหลัก (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



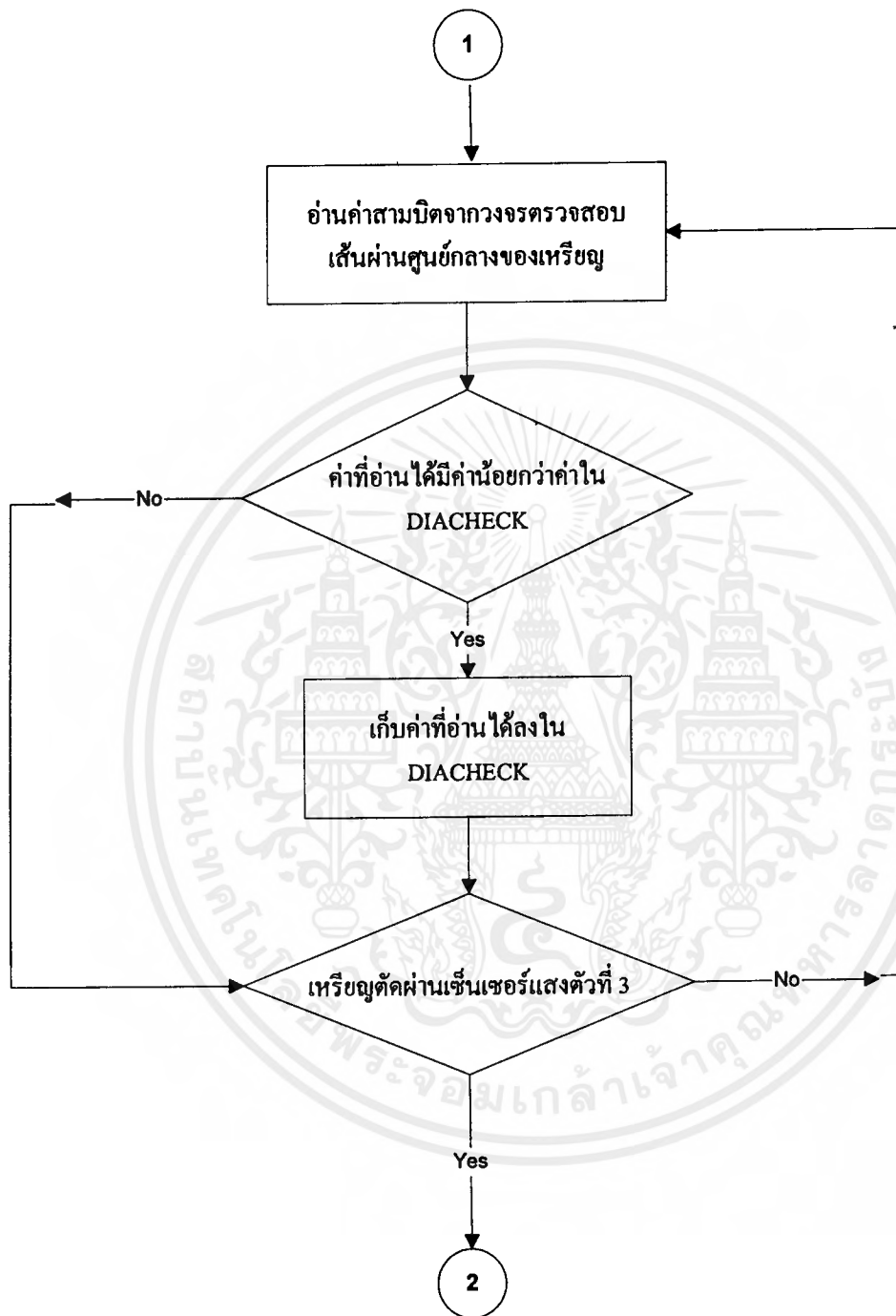
รูปที่ 3.32 แสดงโฟลวชาร์ต โปรแกรมย่อย SELECT MOTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

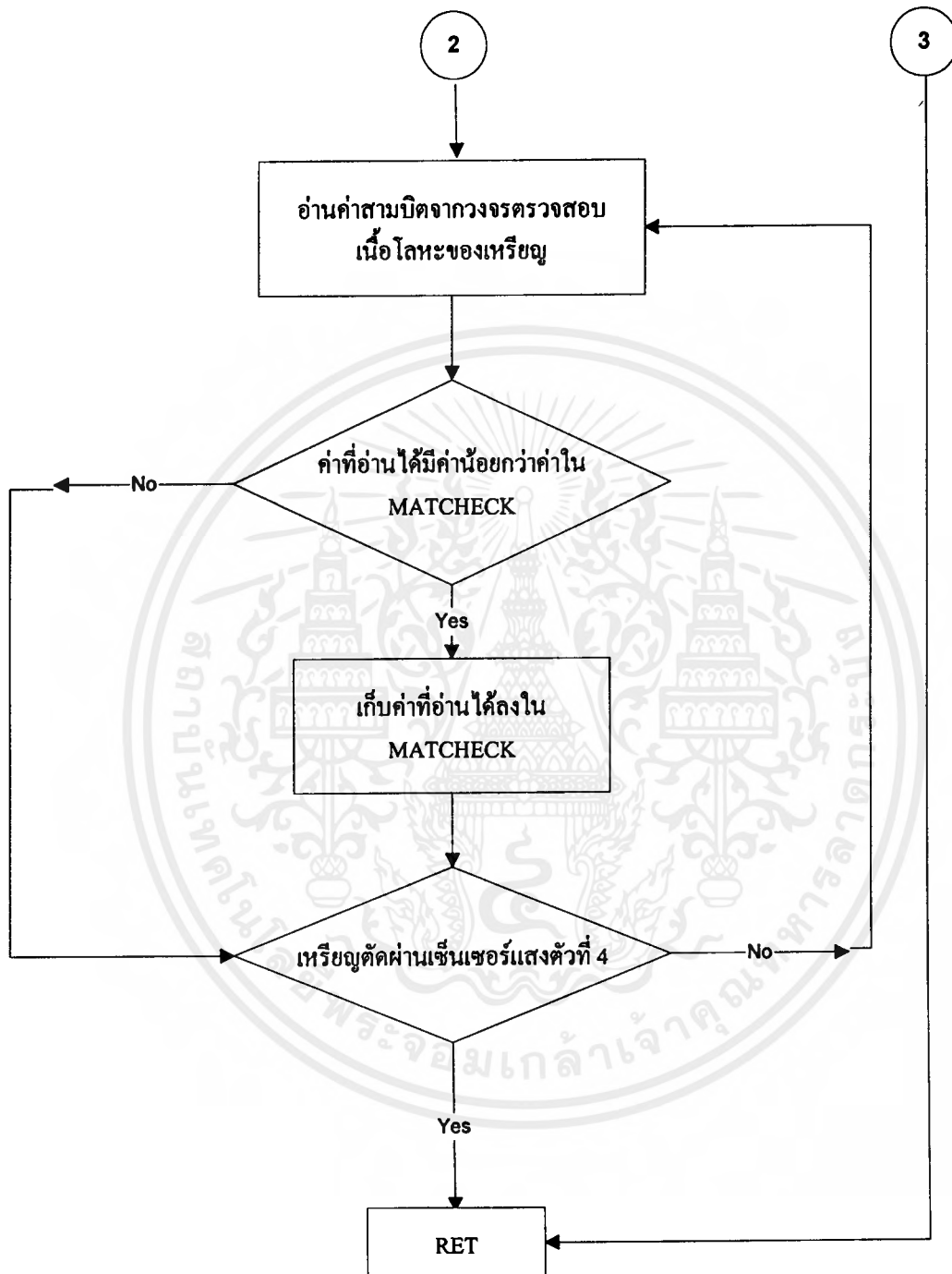


รูปที่ 3.33 แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อย COINCHECK

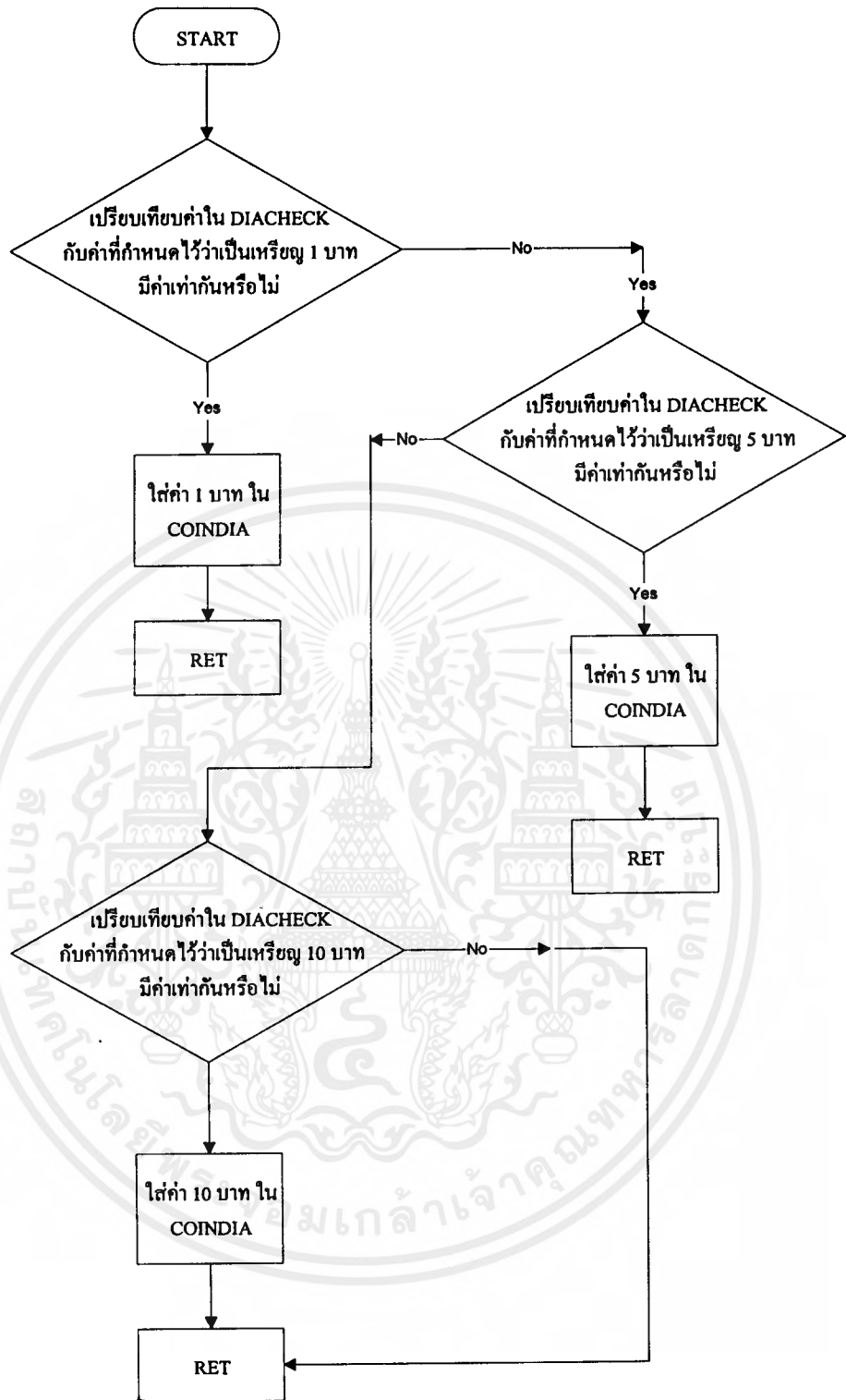
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



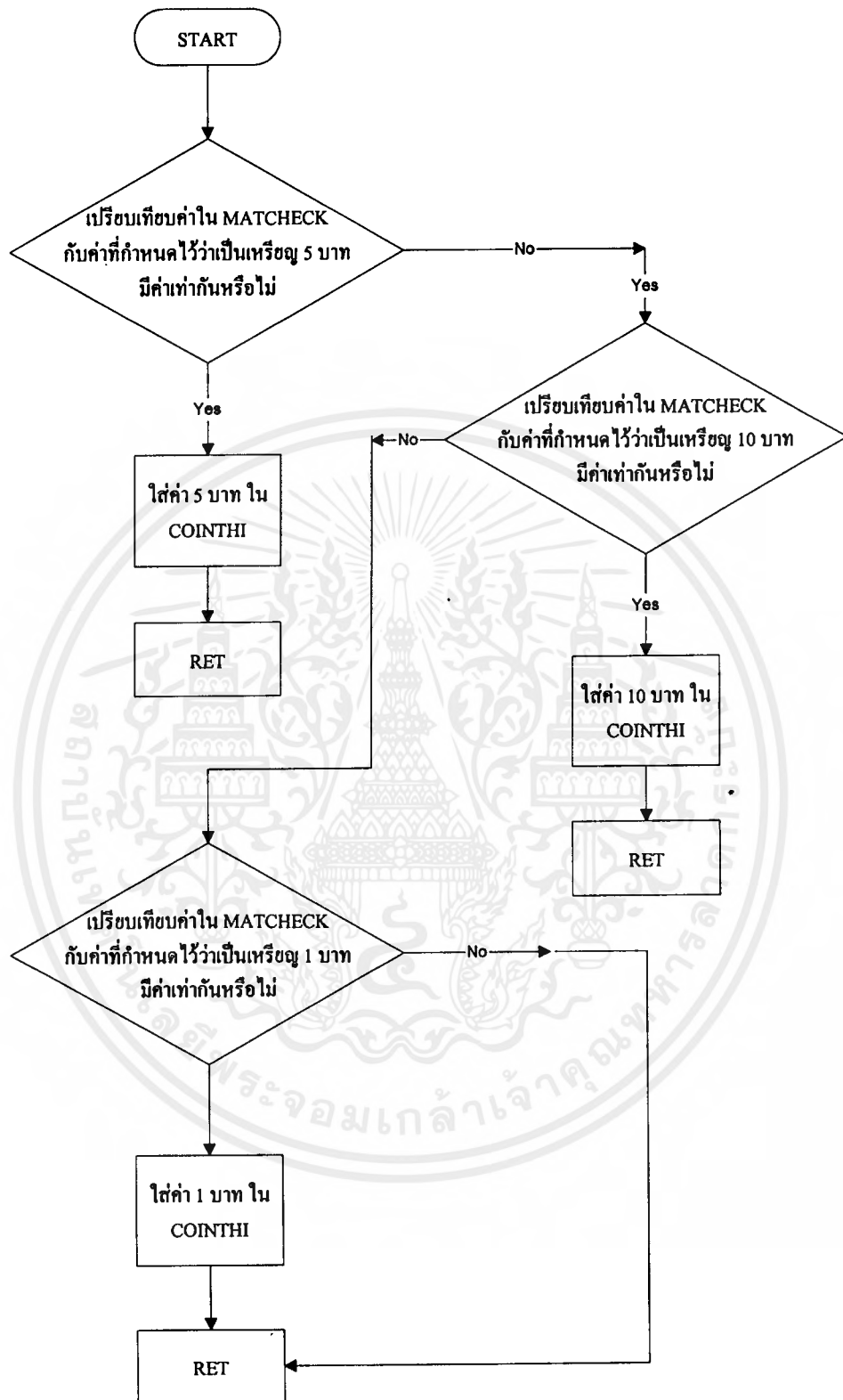
รูปที่ 3.33 แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อย COINCHECK (ต่อ)



รูปที่ 3.33 แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อย COINCHECK (ต่อ)

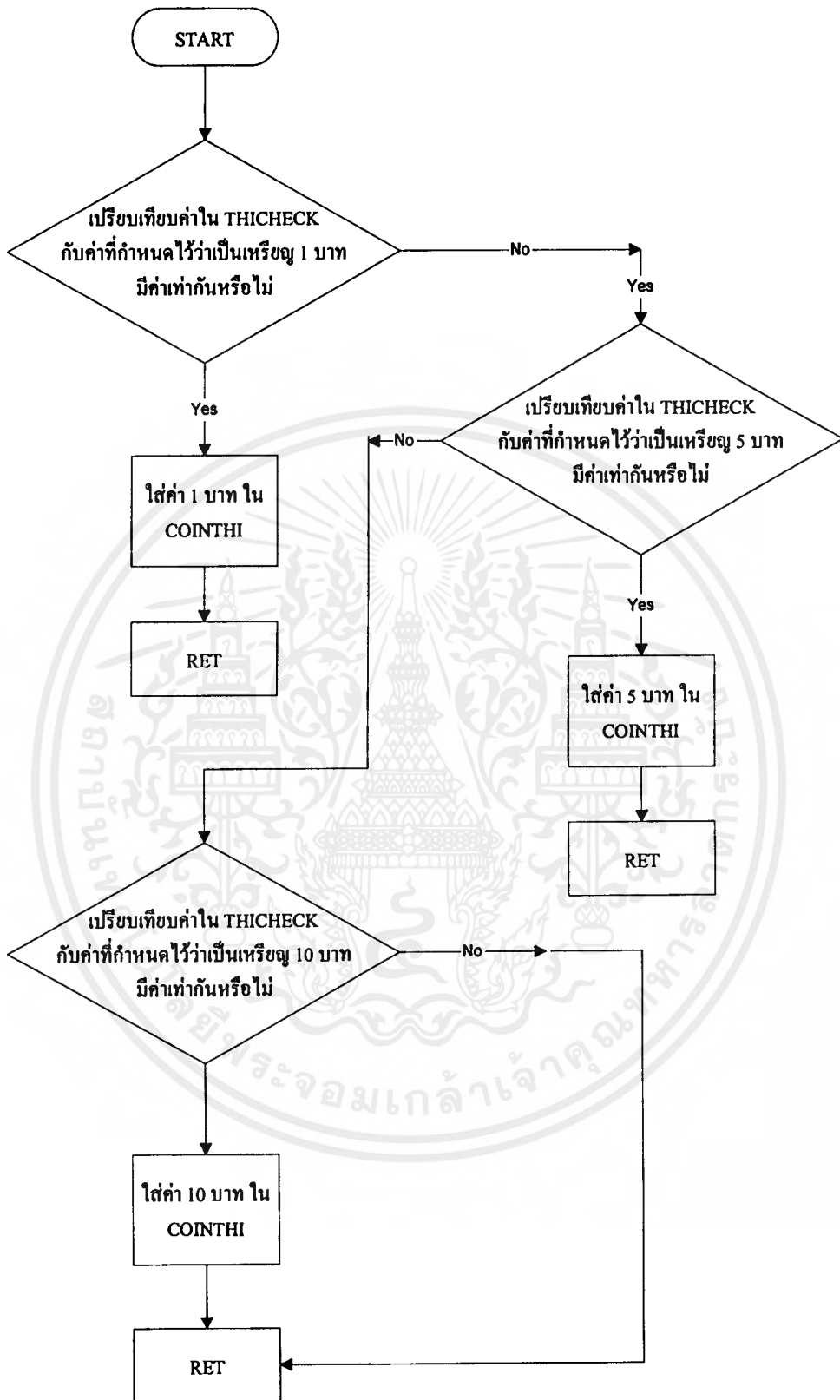


รูปที่ 3.34 แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อย DEFINE COIN FOR DIAMETER



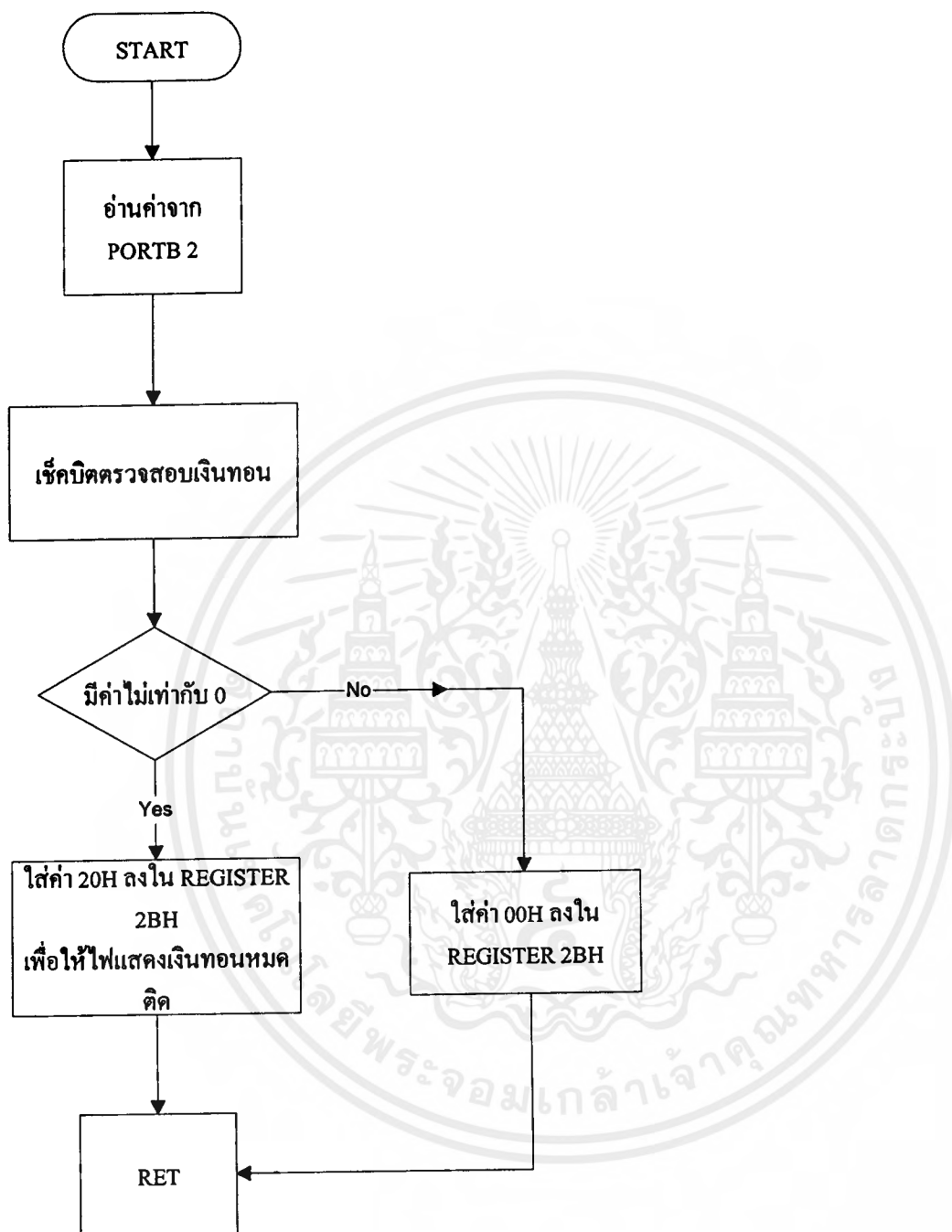
รูปที่ 3.35 แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อย DEFINE COIN FOR MATERIAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

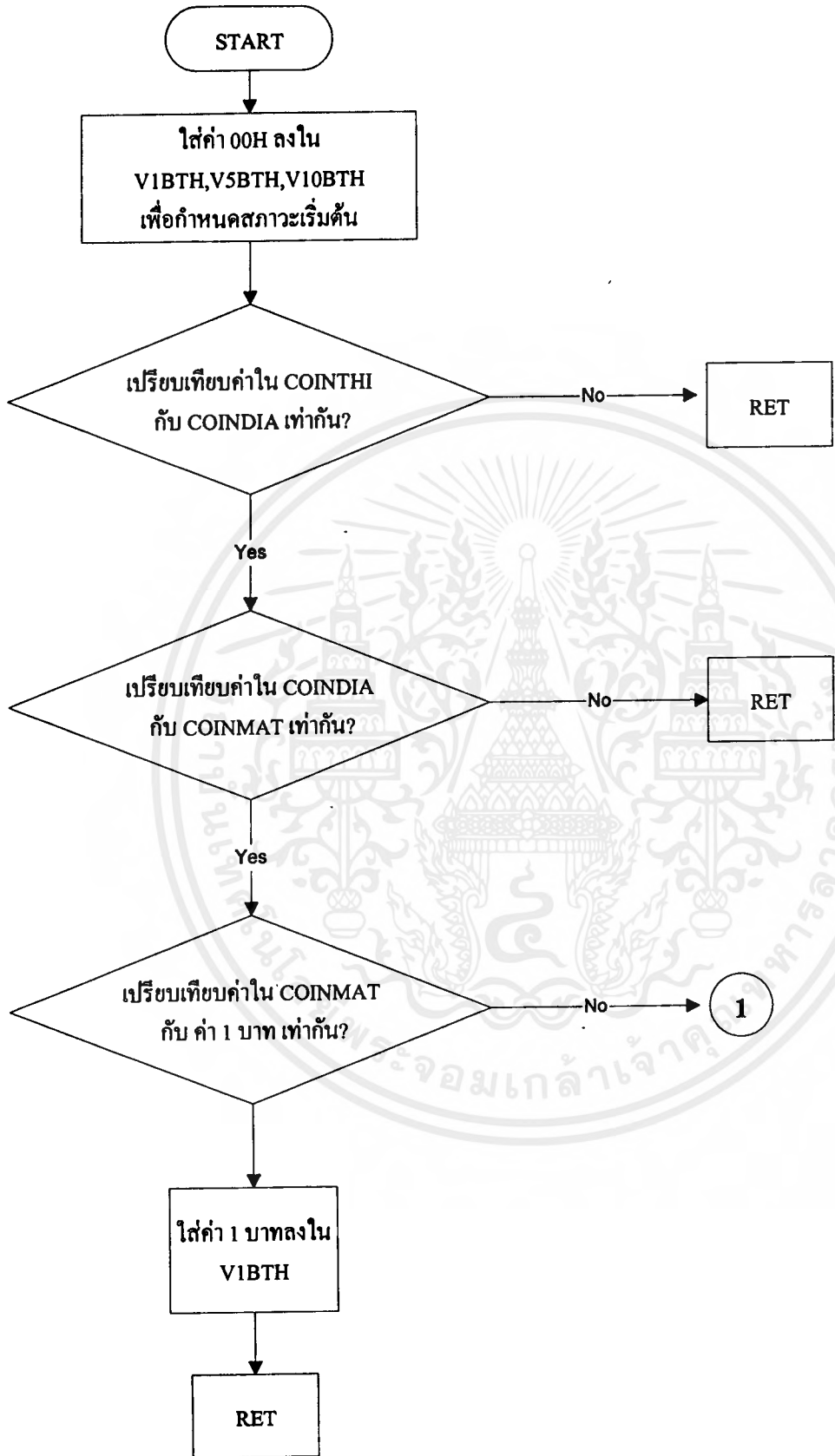


รูปที่ 3.36 แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อย DEFINE COIN FOR THICKNESS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

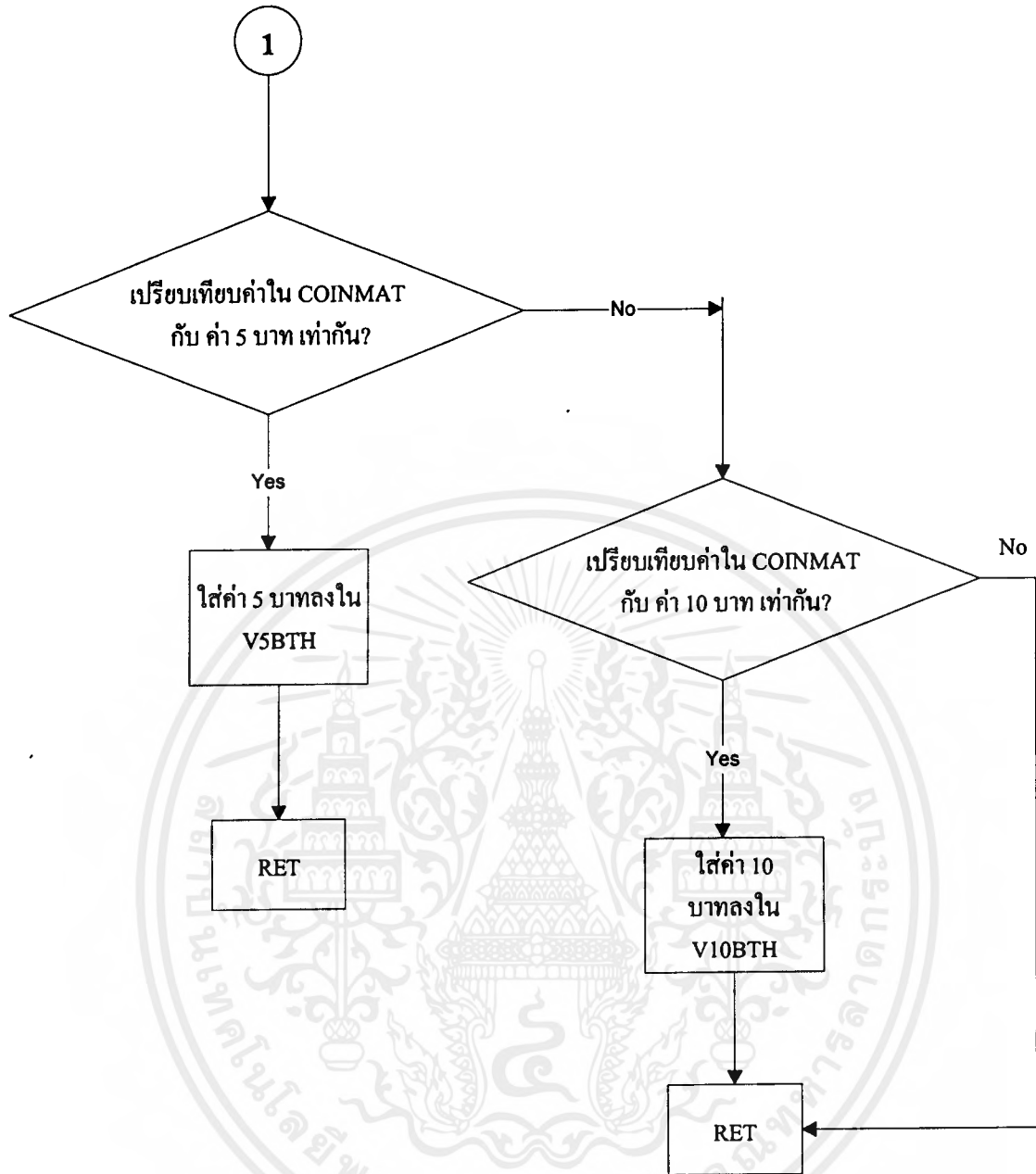


รูปที่ 3.37 แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมย่อย CANCEL



รูปที่ 3.38 แสดงโฟลวชาร์ต โปรแกรมย่อย VALIDATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.38 แสดงโฟลวชาร์ต โปรแกรมย่อย VALIDATION (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*****
;      AUTOMATIC SELLING
;*****
```

```
;***** variable *****
```

```
PORTA1 EQU 0F800H
PORTB1 EQU 0F801H
PORTC1 EQU 0F802H
CONTROL1 EQU 0F803H
```

```
PORTA2 EQU 0FC00H
PORTB2 EQU 0FC01H
PORTC2 EQU 0FC02H
CONTROL2 EQU 0FC03H
```

```
PORTA3 EQU 0FE00H
PORTB3 EQU 0FE01H
PORTC3 EQU 0FE02H
CONTROL3 EQU 0FE03H
```

```
V1BTH EQU 20H
PUSHB EQU 22H
V5BTH EQU 23H
V10BTH EQU 24H
TOTAL EQU 25H
STOCK EQU 26H
REFDISPLY EQU 27H
REF1BTH EQU 28H
REF5BTH EQU 29H
DIACHECK EQU 2EH
COINDIA EQU 2FH
THICHECK EQU 30H
COINTHI EQU 31H
MATCHCHECK EQU 32H
COINMAT EQU 33H
```

```
;***** INITIAL PORT 8255 *****
```

```
ORG 0000H
MAIN1: MOV DPTR,#CONTROL1
      MOV A,#88H           ;USER PORT#1  A=O/P B=O/P CL=O/P CU=I/P
      MOVX @DPTR,A
      MOV DPTR,#CONTROL2
      MOV A,#8BH           ;USER PORT#2  A=O/P B=I/P CL=I/P CU=I/P
      MOVX @DPTR,A
      MOV DPTR,#CONTROL3
      MOV A,#92H           ;USER PORT#3  A=I/P B=I/P CL=O/P CU=I/P
      MOVX @DPTR,A
```

```
;*****
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\*\*\*\*\* MAIN PROGRAM \*\*\*\*\*

```

MOV 2BH,#00H

MAIN:
MOV A,#0FFH           ;RESET OUTPUT PORT
MOV DPTR,#PORTA1
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORTB1
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORTC1
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORTA2
MOVX @DPTR,A
MOV A,#00H
ADD A,2BH
MOV DPTR,#PORTC3
MOVX @DPTR,A
MOV P1,#00H
MOV TOTAL,#00H

MOV V1BTH,#00H
MOV V5BTH,#00H
MOV V10BTH,#00H

LCALL REFUNDCHECK

AMOUNTCHECK: MOV COINTHI,#00H
MOV COINDIA,#00H
MOV COINMAT,#00H
LCALL COINCHECK
LCALL DEFINETHI
LCALL DEFINEDIA
LCALL DEFINEMAT
LCALL VALIDATION

CHECKSUM: MOV A,V1BTH
ADD A,V5BTH
ADD A,V10BTH
ADD A,TOTAL
MOV TOTAL,A
LCALL DISPLAY

MOV DPTR,#PORTB2     ;RESET SYSTEM WHEN USER CANCEL
MOVX A,@DPTR
ANL A,#00100000B
CJNE A,#00H,JMPCANCEL

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV A,#22
CJNE A,TOTAL,NOTOK ;CHECK AMOUNT OF MONEY THAT
SJMP CHECKSTOCK ;INSERT BY USER REACH TO 22 BATH

JMPCANCEL: JMP CANCEL

NOTOK: JNC AMOUNTCHECK
MOV A,TOTAL
CJNE A,#29,NOTOK1 ;CHECK AMOUNT OF MONEY THAT
SJMP CHECKSTOCK1 ;INSERT BY USER REACH TO 29 BATH

NOTOK1: JC CHECKSTOCK
JNC CHECKSTOCK1

CHECKSTOCK: MOV DPTR,#PORTC2
MOVX A,@DPTR
ANL A,#00000001B
MOV STOCK,A
ADD A,2BH
MOV DPTR,#PORTC3 ; TURN ON THE LIGHT AT SWITCH
MOVX @DPTR,A
JMP PUSHBUTTON

CHECKSTOCK1: MOV DPTR,#PORTC2
MOVX A,@DPTR
ANL A,#00011111B
MOV STOCK,A
ADD A,2BH
MOV DPTR,#PORTC3 ; TURN ON THE LIGHT AT SWITCH
MOVX @DPTR,A
JMP PUSHBUTTON1

PUSHBUTTON: MOV DPTR,#PORTB2 ;RESET SYSTEM WHEN USER CANCEL
MOVX A,@DPTR
ANL A,#00100000B
CJNE A,#00H,M1 ;CHECK SW RESET
SJMP OK

M1: JMP CANCEL

OK: MOV DPTR,#PORTB2 ;CHECK USER PUSH BUTTON OR NOT
MOVX A,@DPTR
ANL A,#00011111B
CJNE A,#0,CONTI ;IF NOT JUMP TO AMOUNTCHECK
JMP AMOUNTCHECK

CONTI: MOV PUSHB,A
MOVX A,@DPTR
ANL A,#00011111B
CJNE A,PUSHB,JMPAMOUNTCHECK ;DEBOUNCING BY SOFTWARE
ANL A,STOCK
CJNE A,#0,GO ;IF PUSHBUTTON THAT EMPTY STOCK
JMP AMOUNTCHECK ;JUMP TO AMOUNTCHECK

```

JMPAMOUNTCHECK: JMP AMOUNTCHECK

```
GO:          LCALL SELECT
            MOV  A,2BH
            CJNE A,#00H,FINISH      ;IF OUT OF REFUND
            LCALL REFUND
            LCALL STEPMOTOR5
            LCALL STEPMOTOR1
FINISH:      JMP  MAIN
```

```
PUSHBUTTON1: MOV DPTR,#PORTB2      ;RESET SYSTEM WHEN USER CANCEL
            MOVX A,@DPTR
            ANL A,#00100000B
            CJNE A,#00H,M11        ;CHECK SW RESET
            SJMP OK1
M11:        JMP  CANCEL
```

```
OK1:        MOV DPTR,#PORTB2      ;CHECK USER PUSH BUTTON OR NOT
            MOVX A,@DPTR
            ANL A,#00011111B
            CJNE A,#0,CONTI1      ;IF NOT JUMP TO AMOUNTCHECK
            JMP  AMOUNTCHECK
```

```
CONTI1:     MOV  PUSHB,A
            MOVX A,@DPTR
            ANL A,#00011111B
            CJNE A,PUSHB,JMPAMOUNTCHECK1 ;DEBOUNCING BY SOFTWARE
            ANL A,STOCK
            CJNE A,#0,GO1         ;IF PUSHBUTTON THAT EMPTY STOCK
            JMP  AMOUNTCHECK      ;JUMP TO AMOUNTCHECK
```

JMPAMOUNTCHECK1: JMP AMOUNTCHECK

```
GO1:        LCALL SELECT
            MOV  A,2BH
            CJNE A,#00H,FINISH1    ;IF OUT OF REFUND
            LCALL REFUND1
            LCALL STEPMOTOR5
            LCALL STEPMOTOR1
FINISH1:     JMP  MAIN
```

\*\*\*\*\*

```
;***** CANCEL SUB *****
```

```
CANCEL:      MOV A, TOTAL
             MOV REFDISPLY, A
             MOV B, #5
             DIV AB
             MOV REF1BTH, B
             MOV REF5BTH, A
             LCALL STEPMOTOR5
             LCALL STEPMOTOR1
             JMP MAIN
```

```
;*****
```

```
;***** COIN CHECK SUB *****
```

```
COINCHECK:   NOP
             MOV THICHECK, #00000111B
             MOV DIACHECK, #00111000B
             MOV MATCHCHECK, #00000000B

THICKCHECK:
OPTO1:       MOV DPTR, #PORTC1
             MOVX A, @DPTR
             ANL A, #11110000B
             CJNE A, #11100000B, ENDCOINCHECK ;CHECK OPTO 1 LOW ?

THILOOP:     MOV DPTR, #PORTA3
             MOVX A, @DPTR
             ANL A, #00000111B
             CJNE A, THICHECK, UNEQUALTHI

UNEQUALTHI:  JC LOWERTHI
             SJMP UPPERTHI

LOWERTHI:    MOV THICHECK, A

UPPERTHI:    MOV DPTR, #PORTC1
             MOVX A, @DPTR
             ANL A, #11110000B
             CJNE A, #11010000B, THILOOP ;CHECK OPTO 2 LOW ?

DIAMETERCHECK:
DIALOOP:     MOV DPTR, #PORTA3
             MOVX A, @DPTR
             ANL A, #00111000B
             CJNE A, DIACHECK, UNEQUAL

UNEQUAL:     JC LOWER
             SJMP UPPER
```

```

LOWER:      MOV DIACHECK,A
UPPER:      MOV DPTR,#PORTC1
            MOVX A,@DPTR
            ANL A,#11110000B
            CJNE A,#10110000B,DIALOOP           ;CHECK OPTO 3 LOW ?

MATERIALCHECK:
MATLOOP:    MOV DPTR,#PORTB3
            MOVX A,@DPTR
            ANL A,#00000111B
            CJNE A,MATCHECK,UNEQUALMAT

UNEQUALMAT: JC LOWERMAT
            SJMP UPPERMAT

UPPERMAT:   MOV MATCHECK,A

LOWERMAT:   MOV DPTR,#PORTC1
            MOVX A,@DPTR
            ANL A,#11110000B
            CJNE A,#01110000B,MATLOOP         ;CHECK OPTO 4 LOW ?

ENDCOINCHECK: RET

;*****
;***** DEFINE COIN FOR THICKNESS SUB *****
DEFINETHI:  MOV A,THICHECK
            CJNE A,#00000110B,T5BTH
            MOV COINTHI,#1
            SJMP DEFINETHI1

T5BTH:     CJNE A,#00000100B,T10BTH
            MOV COINTHI,#5
            SJMP DEFINETHI1

T10BTH:    CJNE A,#00000000B,DEFINETHI1
            MOV COINTHI,#10

DEFINETHI1: RET
;*****

```

;\*\*\*\*\* DEFINE COIN FOR DIAMETER SUB \*\*\*\*\*

```
DEFINEDIA:      MOV A,DIACHECK
                CJNE A,#00110000B,D5BTH
                MOV  COINDIA,#1
                SJMP DEFINEDIA1

D5BTH:         CJNE A,#00100000B,D10BTH
                MOV  COINDIA,#5
                SJMP DEFINEDIA1

D10BTH:        CJNE A,#00000000B,DEFINEDIA1
                MOV  COINDIA,#10

DEFINEDIA1:    RET
```

;\*\*\*\*\*

;\*\*\*\*\* DEFINE COIN FOR MATERIAL SUB \*\*\*\*\*

```
DEFINEMAT:     MOV A,MATCHECK
                CJNE A,#00000001B,M10BTH
                MOV  COINMAT,#5
                SJMP DEFINEMAT1

M10BTH:        CJNE A,#00000011B,M1BTH
                MOV  COINMAT,#10
                SJMP DEFINEMAT1

M1BTH:         CJNE A,#00000111B,DEFINEMAT1
                MOV  COINMAT,#1

DEFINEMAT1:    RET
```

;\*\*\*\*\*

;\*\*\*\*\* VALIDATION SUB \*\*\*\*\*

```
VALIDATION:    MOV V1BTH,#0
                MOV  V5BTH,#0
                MOV  V10BTH,#0
                MOV  A,COINTHI
                CJNE A,COINDIA,INVALID
                CJNE A,COINMAT,INVALID
                CJNE A,#1,VALIDATION5BTH
                MOV  V1BTH,A
                RET

VALIDATION5BTH: CJNE A,#5,VALIDATION10BTH
                MOV  V5BTH,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RET
```

```
VALIDATION10BTH: CJNE A,#10,INVALID
                  MOV V10BTH,A
                  RET
```

```
INVALID: RET
```

```
;***** SELECT STEPMOTOR SUB *****
```

```
SELECT: MOV A,PUSHB
        ANL A,#00000001B
        JNZ DRVSTP1

        MOV A,PUSHB
        ANL A,#00000010B
        JNZ DRVSTP2

        MOV A,PUSHB
        ANL A,#00000100B
        JNZ DRVSTP3

        MOV A,PUSHB
        ANL A,#00001000B
        JNZ DRVSTP4

        JMP DRVSTP5

DRVSTP4: JMP DRVSTP4_1

DRVSTP1: MOV B,#50 ;MOTOR ROTATE 1.8 DEGREE PER STEP
DRV1:    MOV DPTR,#PORTA1 ;EXECUTE 50 LOOP FOR ROTATE 360
DEGREE

        MOV A,#0FEH
        MOVX @DPTR,A
        MOV R2,#10
        LCALL DMSEC

        MOV A,#0FDH
        MOVX @DPTR,A
        MOV R2,#10
        LCALL DMSEC

        MOV A,#0FBH
        MOVX @DPTR,A
        MOV R2,#10
        LCALL DMSEC

        MOV A,#0F7H
        MOVX @DPTR,A
        MOV R2,#10
        LCALL DMSEC
```

```
DJNZ B,DRV1
RET
```

```
DRVSTP2 : MOV B,#50
DRV2 :    MOV DPTR,#PORTA1
          MOV A,#0EFH
          MOVX @DPTR,A
          MOV R2,#10
          LCALL DMSEC
```

```
MOV A,#0DFH
MOVX @DPTR,A
MOV R2,#10
LCALL DMSEC
```

```
MOV A,#0BFH
MOVX @DPTR,A
MOV R2,#10
LCALL DMSEC
```

```
MOV A,#07FH
MOVX @DPTR,A
MOV R2,#10
LCALL DMSEC
```

```
DJNZ B,DRV2
RET
```

```
DRVSTP3 : MOV B,#50
DRV3 :    MOV DPTR,#PORTB1
          MOV A,#0FEH
          MOVX @DPTR,A
          MOV R2,#10
          LCALL DMSEC
```

```
MOV A,#0FDH
MOVX @DPTR,A
MOV R2,#10
LCALL DMSEC
```

```
MOV A,#0FBH
MOVX @DPTR,A
MOV R2,#10
LCALL DMSEC
```

```
MOV A,#0F7H
MOVX @DPTR,A
MOV R2,#10
LCALL DMSEC
```

```
DJNZ B,DRV3
RET
```

```

DRVSTP4_1:  MOV B,#50
DRV4:      MOV DPTR,#PORTB1
           MOV A,#0EFH
           MOVX @DPTR,A
           MOV R2,#10
           LCALL DMSEC

           MOV A,#0DFH
           MOVX @DPTR,A
           MOV R2,#10
           LCALL DMSEC

           MOV A,#0BFH
           MOVX @DPTR,A
           MOV R2,#10
           LCALL DMSEC

           MOV A,#07FH
           MOVX @DPTR,A
           MOV R2,#10
           LCALL DMSEC

           DJNZ B,DRV4
           RET

DRVSTP5:   MOV B,#50
DRV5:      MOV DPTR,#PORTC1
           MOV A,#0FEH
           MOVX @DPTR,A
           MOV R2,#10
           LCALL DMSEC

           MOV A,#0FDH
           MOVX @DPTR,A
           MOV R2,#10
           LCALL DMSEC

           MOV A,#0FBH
           MOVX @DPTR,A
           MOV R2,#10
           LCALL DMSEC

           MOV A,#0F7H
           MOVX @DPTR,A
           MOV R2,#10
           LCALL DMSEC

           DJNZ B,DRV5
           RET

```

\*\*\*\*\*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;***** REFUND SUB *****
REFUND:      MOV A,TOTAL          ;CALCULATE REFUND
             SUBB A,#22
             MOV REFDISPLY,A
             LCALL DISPLAY
             MOV A,REFDISPLY
             MOV B,#5
             DIV AB
             MOV REF1BTH,B
             MOV REF5BTH,A
             RET

```

```

;***** REFUND1 SUB *****
REFUND1:     MOV A,TOTAL          ;CALCULATE REFUND
             SUBB A,#29
             MOV REFDISPLY,A
             LCALL DISPLAY
             MOV A,REFDISPLY
             MOV B,#5
             DIV AB
             MOV REF1BTH,B
             MOV REF5BTH,A
             RET

```

```

;***** STEPPING MOTOR SUB *****
STEPMOTOR5: MOV A,REF5BTH
             CJNE A,#0,CONTINUE
             JMP PASS5

CONTINUE:   MOV B,#3
             MUL AB
             MOV B,A
             MOV R6,#3

STARTMO5:   MOV A,#0FEH          ;WORKING 1 LOOP FOR ROTATE 90
             MOV DPTR,#PORTA2    ;DEGREE
             MOVX @DPTR,A
             MOV R2,#10
             LCALL DMSEC

             MOV A,#0FDH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOVX @DPTR,A
MOV R2,#10
LCALL DMSEC
```

```
MOV A,#0FBH
MOVX @DPTR,A
MOV R2,#10
LCALL DMSEC
```

```
MOV A,#0F7H
MOVX @DPTR,A
MOV R2,#10
LCALL DMSEC
```

```
MOV 2CH,B
MOV A,R6
DEC A
JZ DECFIVE1
MOV R6,A
DJNZ B,STARTMOS
```

DECFIVE2:

```
RET
```

PASS5:

DECFIVE1:

```
CALL DECFIVE
MOV R6,#3
MOV R1,#2
LCALL DSEC
MOV B,2CH
JMP DECFIVE2
```

DECFIVE:

```
MOV A,REFDISPLY ;DECREASE AMOUNT OF MONEY
SUBB A,#5 ;TO REFUND AT DISPLAY
MOV REFDISPLY,A
LCALL DISPLAY
RET
```

```
STEPMOTOR1: MOV A,REF1BTH
CJNE A,#0,CONTINUE1
JMP PASS1
```

```
CONTINUE1: MOV B,#3
MUL AB
MOV B,A
MOV R5,#3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

STARTMO1:  MOV A,#0EFH
            MOV DPTR,#PORTA2
            MOVX @DPTR,A
            MOV R2,#10
            LCALL DMSEC

```

```

            MOV A,#0DFH
            MOVX @DPTR,A
            MOV R2,#10
            LCALL DMSEC

```

```

            MOV A,#0BFH
            MOVX @DPTR,A
            MOV R2,#10
            LCALL DMSEC

```

```

            MOV A,#07FH
            MOVX @DPTR,A
            MOV R2,#10
            LCALL DMSEC

```

```

            MOV 2CH,B
            MOV A,R5
            DEC A
            JZ DECONE1
            MOV R5,A

```

```

DECONE2:   DJNZ B,STARTMO1

```

```

PASS1:     RET

```

```

DECONE1:   CALL DECONE
            MOV R5,#3
            MOV R1,#2
            LCALL DSEC
            MOV B,2CH
            JMP DECONE2

```

```

DECONE:    MOV A,REFDISPLY
            SUBB A,#1
            MOV REFDISPLY,A
            LCALL DISPLAY
            RET

```

```

;*****

```

```
;***** REFUND CHECK SUB *****
```

```
REFUNCHECK: MOV DPTR,#PORTB2
MOVX A,@DPTR
ANL A,#11000000B
CJNE A,#00H,OUTOFREFUND ;SHOW THAT OUT OF MONEY
MOV 2BH,#00H ;TO REFUND
RET
```

```
OUTOFREFUND: MOV DPTR,#PORTC3
MOV 2BH,#00100000B
MOV A,2BH
MOVX @DPTR,A
RET
```

```
;*****
```

```
;***** DISPLAY SUB *****
```

```
DISPLAY: MOV B,#10
DIV AB
SWAP A
MOV R1,B
ADD A,R1
MOV P1,A
RET
```

```
;*****
```

```
;***** DMSEC SUB *****
```

```
; DMSEC DELAY 1/1000 SEC IN=R2
DMSEC: MOV R3,#230
DMSEC1: NOP
NOP
DJNZ R3,DMSEC1
DJNZ R2,DMSEC
RET
```

```
;*****
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

***** DTSEC SUB *****
;DTSEC DELAY 1/10 SEC IN=R2
DTSEC:  MOV R3,#179
DTSEC1:  MOV R4,#0
         DJNZ R4,$
         NOP
         NOP
         DJNZ R3,DTSEC1
         DJNZ R2,DTSEC
         RET
;*****
;***** DSEC SUB *****
;DSEC DELAY 1 SEC IN =R1
DSEC:   MOV R2,#10
        LCALL DTSEC
        DJNZ R1,DSEC
        RET
;*****
END

```

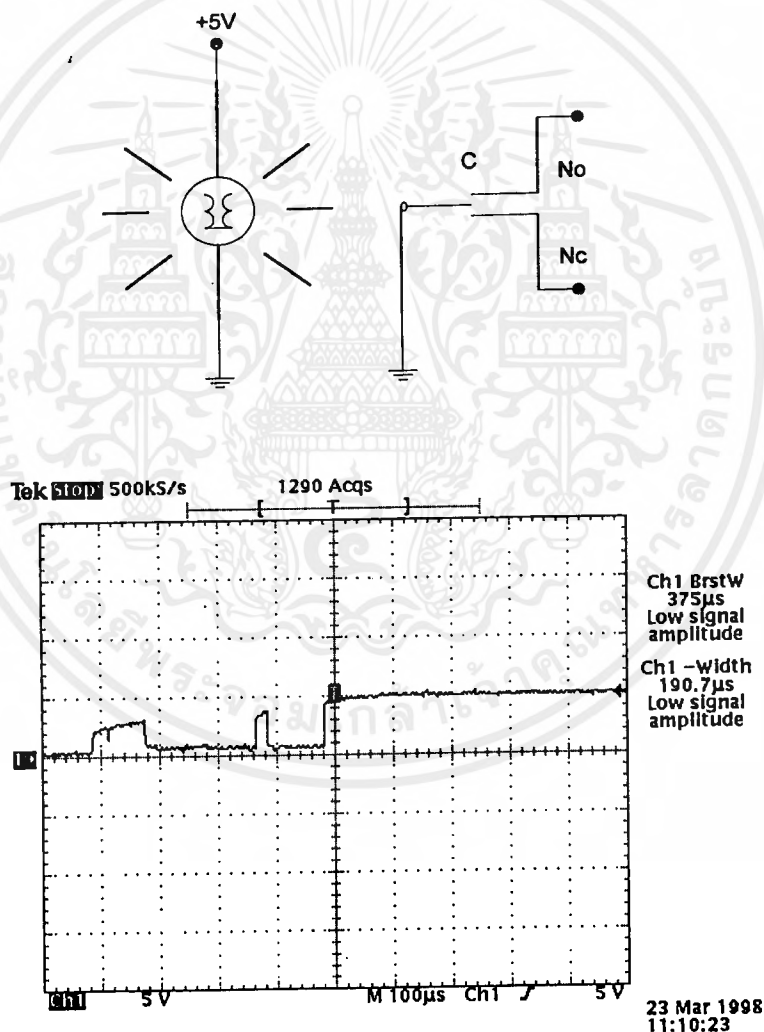
## บทที่ 4

## การทดลองและผลการทดลอง

## การทดลอง

ในการทดลองจะแสดงให้เห็นถึงผลของการทำงานในแต่ละส่วนของโครงการ โดยเริ่มจากส่วนของสวิทช์ กด ส่วนควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์ ส่วนตรวจสอบเหรียญ ตามลำดับ

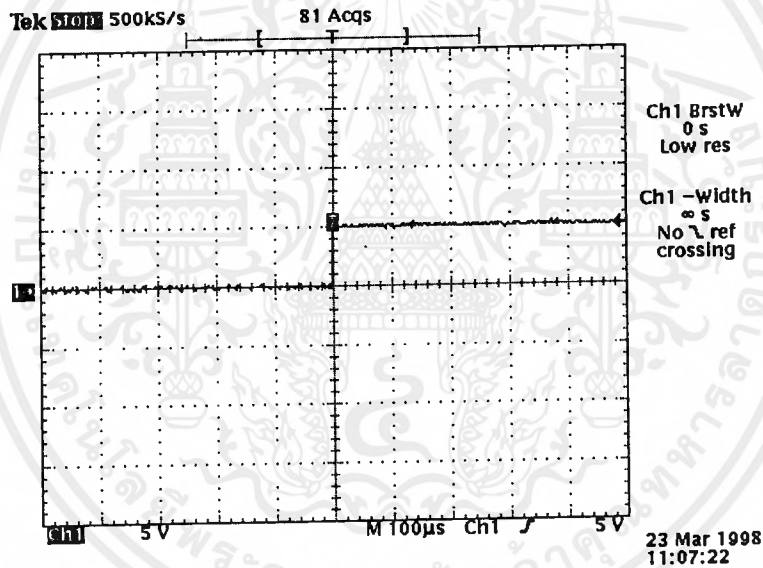
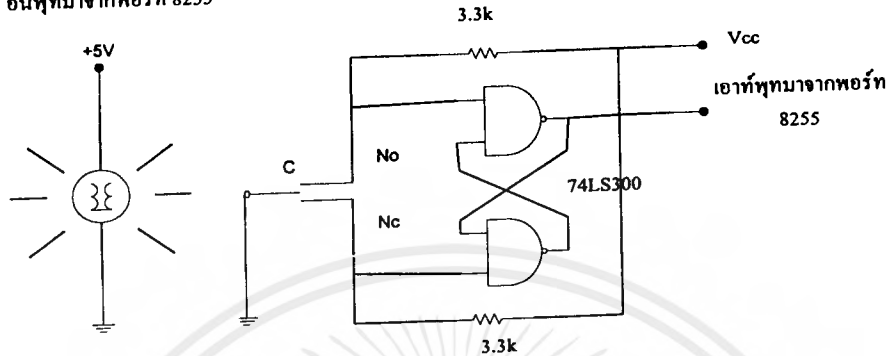
1. การทดลองทำการเปรียบเทียบให้เห็นสัญญาณเอาต์พุตของสวิทช์ เมื่อไม่ได้ต่อวงจรป้องกัน bouncing (รูปที่ 4.1) และเมื่อต่อวงจรป้องกันการ bouncing แล้ว (รูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.1 เอาท์พุทที่ได้จากวงจรสวิทช์กด ณ จุด No

จากรูปจะเห็นการ bouncing ซึ่งเกิดจากการกดสวิตช์ อุปกรณ์พวกทีทีแอลจะสามารถรับรู้การเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณที่เกิดจากการ bouncing นี้ได้ ทำให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานของโปรแกรม

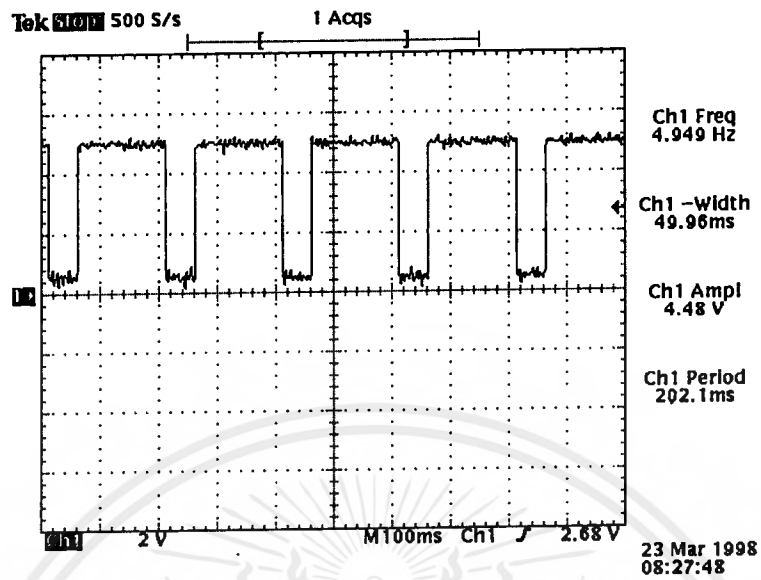
อินพุตจากพอร์ท 8255



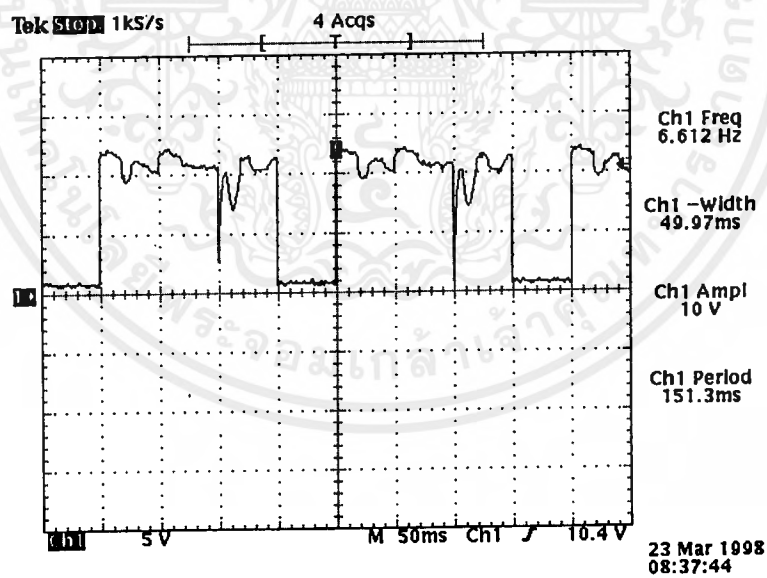
รูปที่ 4.2 เอาต์พุตที่นำมาต่อเข้าพอร์ท 8255 เมื่อผ่านวงจรป้องกัน bouncing

เมื่อต่อวงจรป้องกัน bouncing แล้วจะเห็นได้ถึงการเปลี่ยนแปลงของรูปสัญญาณว่าไม่มีการ bouncing ของสัญญาณเกิดขึ้นเอาต์พุตที่ได้จึงนำไปใช้อินเตอร์เฟสกับอุปกรณ์พวกทีทีแอลได้โดยไม่มีการทำงานผิดพลาด

2. การทดลองในหัวข้อนี้ทำการเปรียบเทียบรูปสัญญาณของอินพุตของวงจรขับสเต็ปมอเตอร์ซึ่งรับมาจากพอร์ท 8255 (0-5v) กับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขับสเต็ปมอเตอร์ (0-24v) และทำการเปรียบเทียบรูปสัญญาณซึ่งใช้ในการขับสเต็ปมอเตอร์แบบ half-step กับแบบ full-step

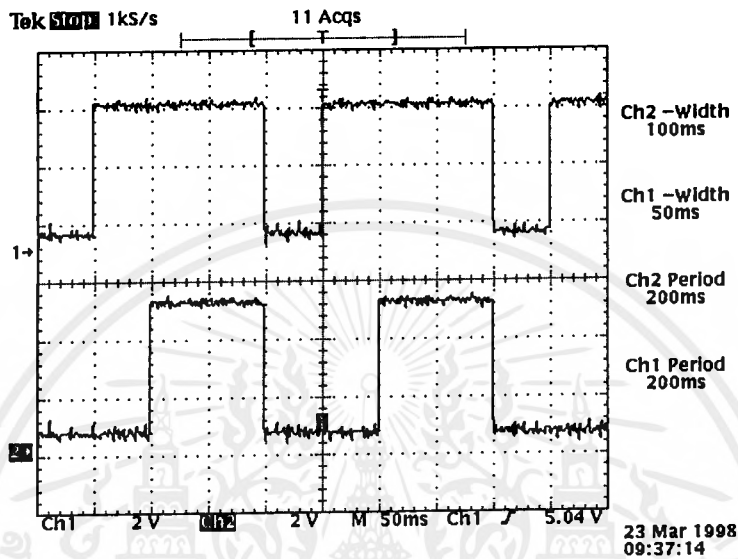


รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากพอร์ท 8255 ไปยังวงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์

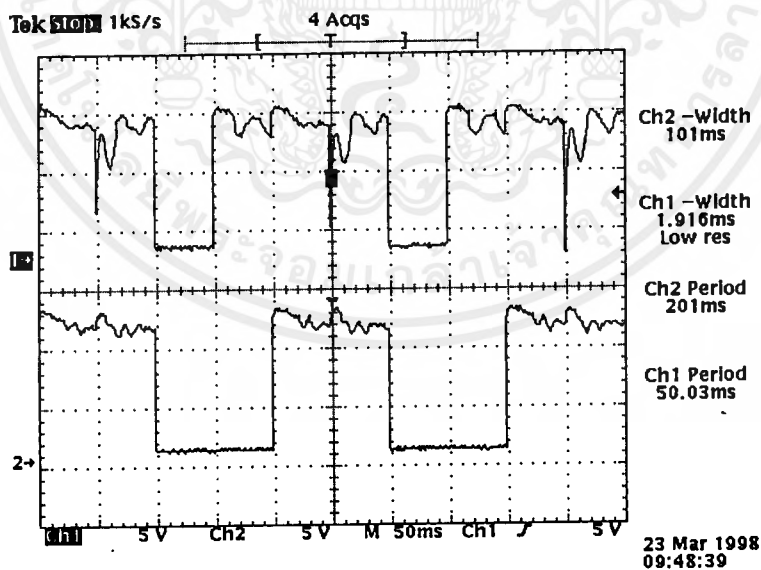


รูปที่ 4.4 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบรูปสัญญาณกันแล้วจะเห็นว่าสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์มีสัญญาณรบกวนปนอยู่ซึ่งสัญญาณรบกวนนี้เกิดขึ้นจากมอเตอร์เมื่อมอเตอร์มีการหมุน ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์ต้องมีการแยกกราวด์ระหว่างวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์กับวงจรในส่วนอื่นๆ ด้วยขอลได้ก็เปิดเพื่อไม่ให้สัญญาณรบกวนจากมอเตอร์เข้าไปยังวงจรในส่วนอื่นๆ



รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบการกระตุ้นแบบ half-step (บน) และการกระตุ้นแบบ full-step (ล่าง)

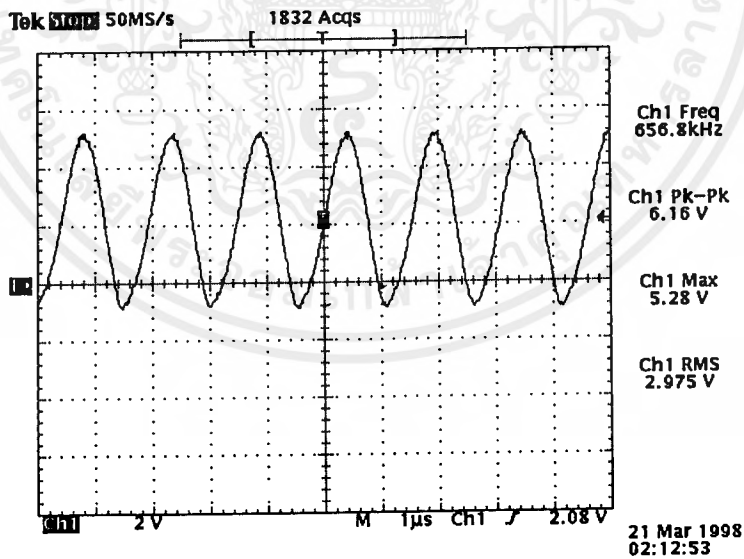
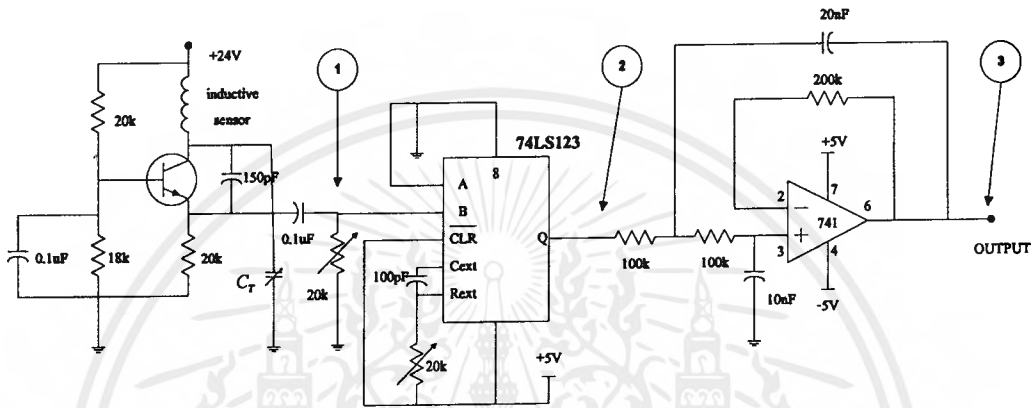


รูปที่ 4.6 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์เมื่อกระตุ้นแบบ half-step (บน) และ full-step (ล่าง)

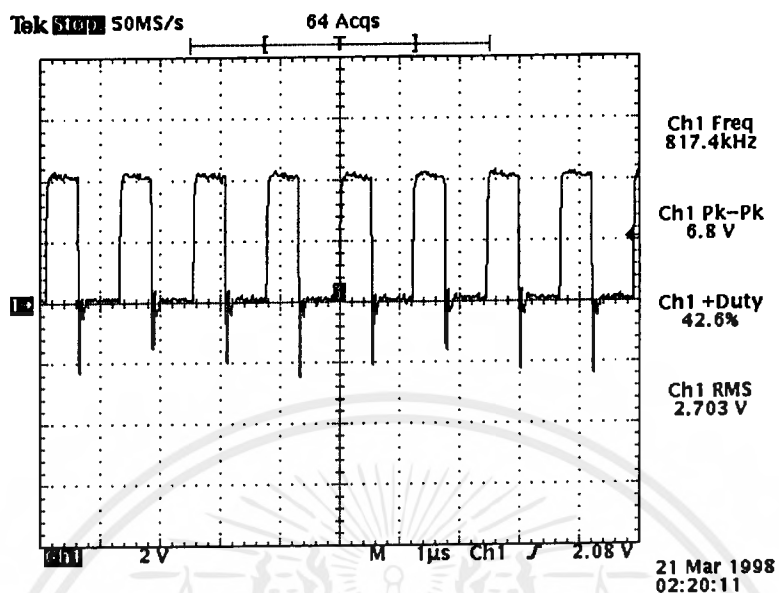
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทดลองในส่วนนี้การวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรตรวจสอบเหรียญ ซึ่งประกอบไปด้วยส่วน  
 ตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลาง (ความถี่ 650 kHz) ส่วนตรวจสอบความหนา (ความถี่ 1.2 MHz)  
 ส่วนตรวจสอบเนื้อโลหะ (ความถี่ 100 kHz)

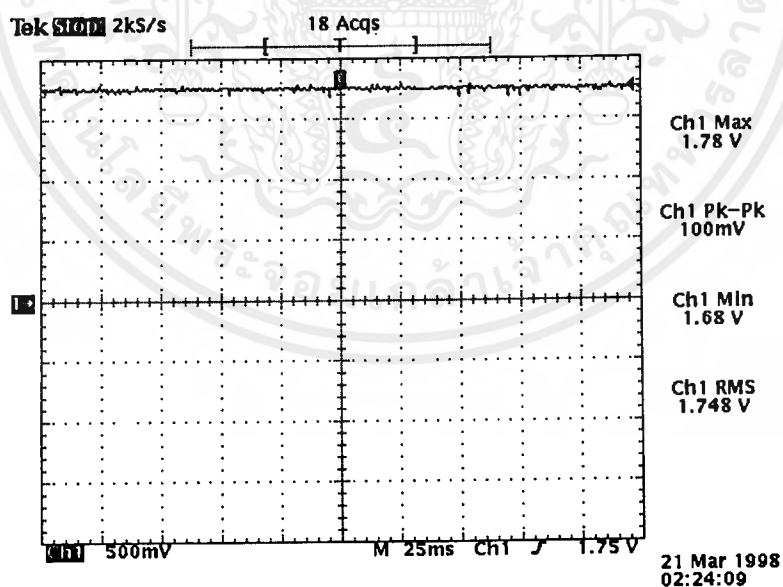
- เซนเซอร์ตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลาง



รูปที่ 4.7 สัญญาณเอาต์พุตจากออสซิลเลเตอร์ 650 kHz (จุด 1)

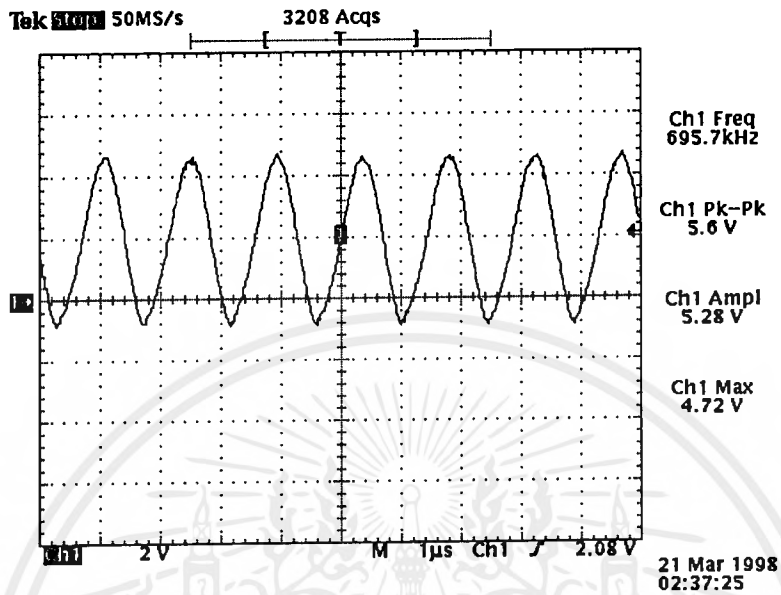


รูปที่ 4.8 สัญญาณพัลส์เอทพุทที่ออกจากไอซี 74 LS123 (จุด 2) เพื่อนำไปเข้า lowpass filter

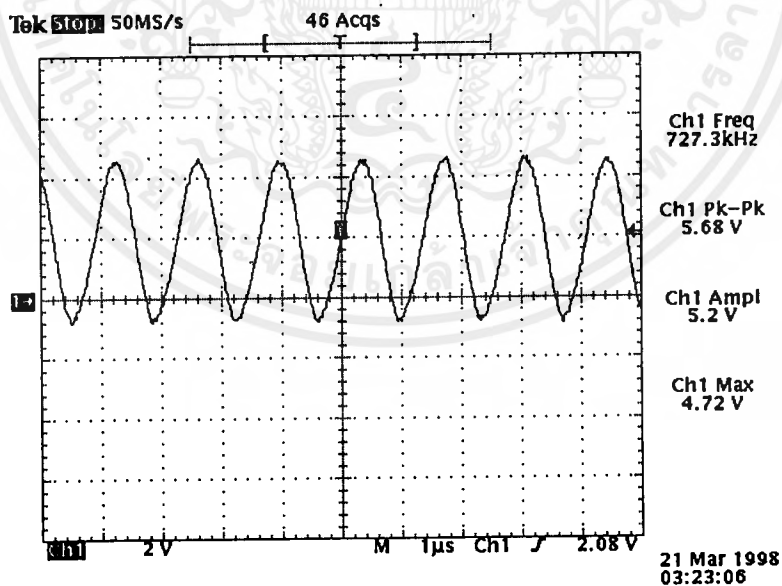


รูปที่ 4.9 รูปสัญญาณเอทพุทที่ออกจากวงจร lowpass filter (จุด 3)

เมื่อมีเหรียญตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์ของออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่ 650 kHz ความถี่ของออสซิลเลเตอร์จะมีการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ขนาดของแอมพลิจูดจะเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนที่น้อยกว่า ผลจากการทดลองจะแสดงได้ดังนี้

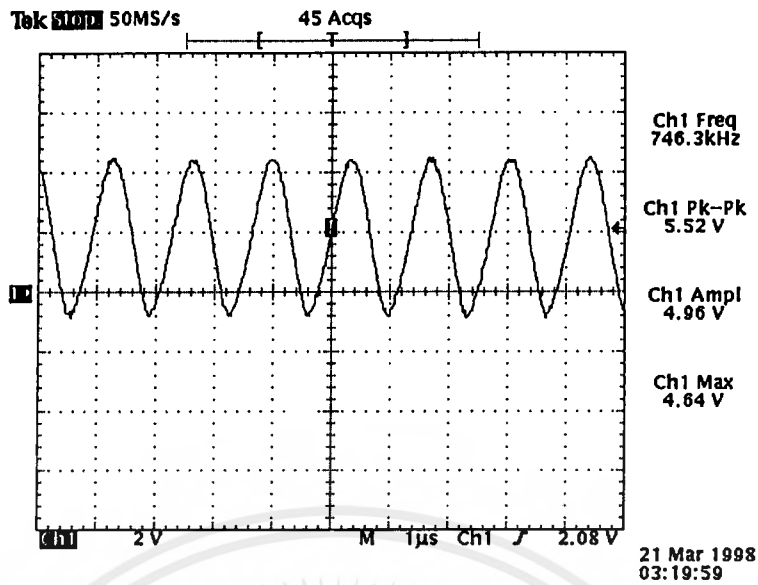


รูปที่ 4.10 แสดงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเหรียญ 1 บาทตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์



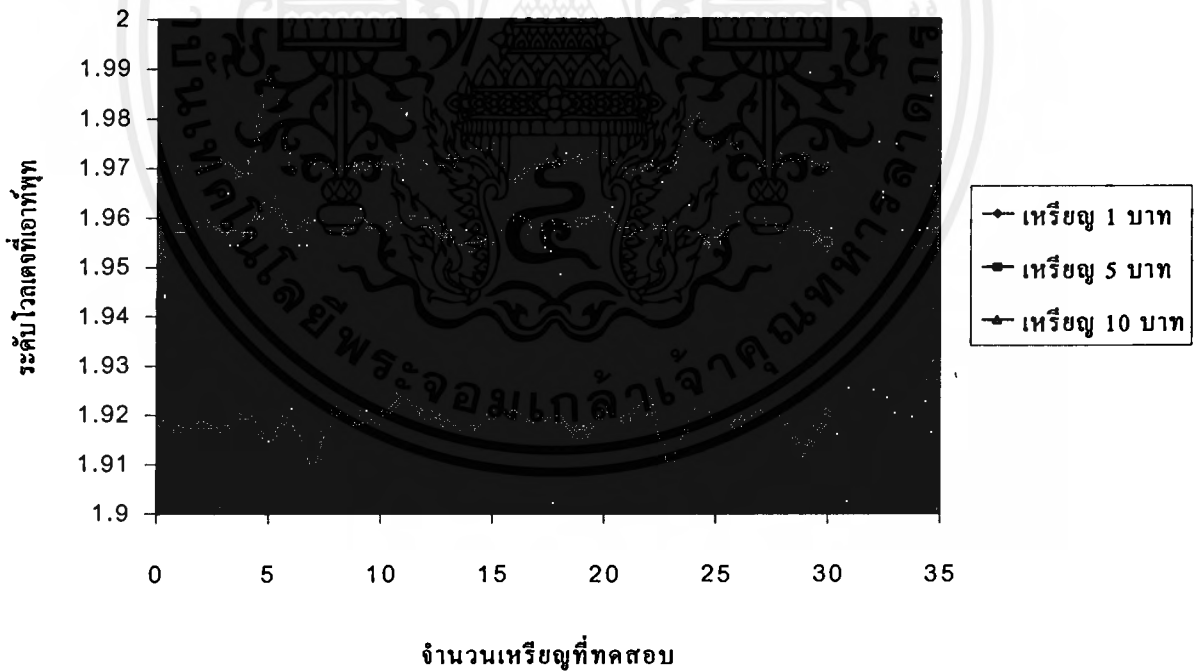
รูปที่ 4.11 แสดงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเหรียญ 5 บาทตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเหรียญ 10 บาทตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์

เมื่อทำการทดลองโดยใช้เหรียญ 1 บาท 5 บาท 10 บาท จำนวน 30 เหรียญ เอ้าท์พุทที่ได้จากวงจร lowpass filter ซึ่งเป็นสัญญาณ dc สามารถนำมาพลอตกราฟได้ดังรูปที่ 4.13

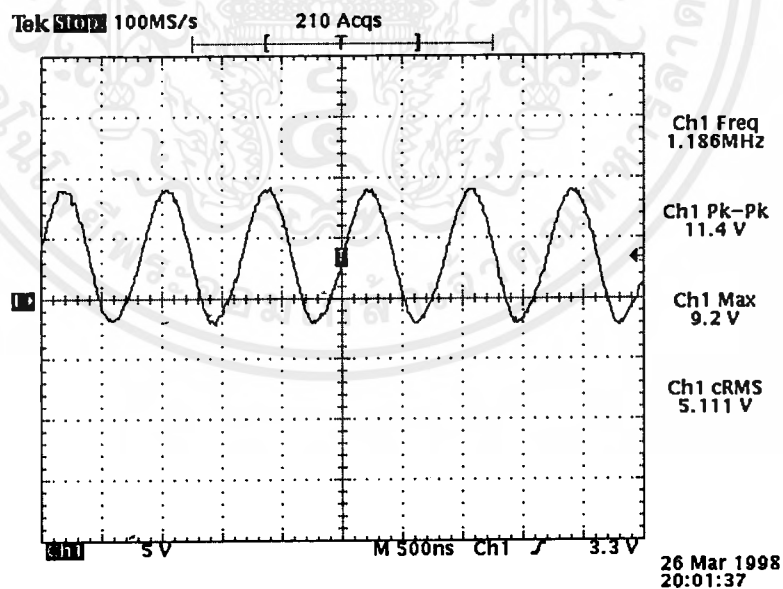
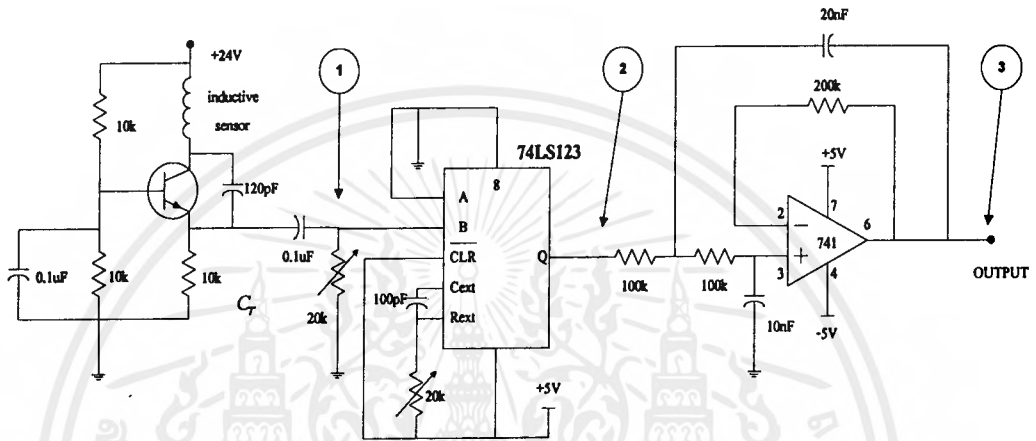


รูปที่ 4.13 แสดงกราฟของระดับแรงดันที่ออกจาก lowpass filter ของเหรียญชนิดต่างๆ

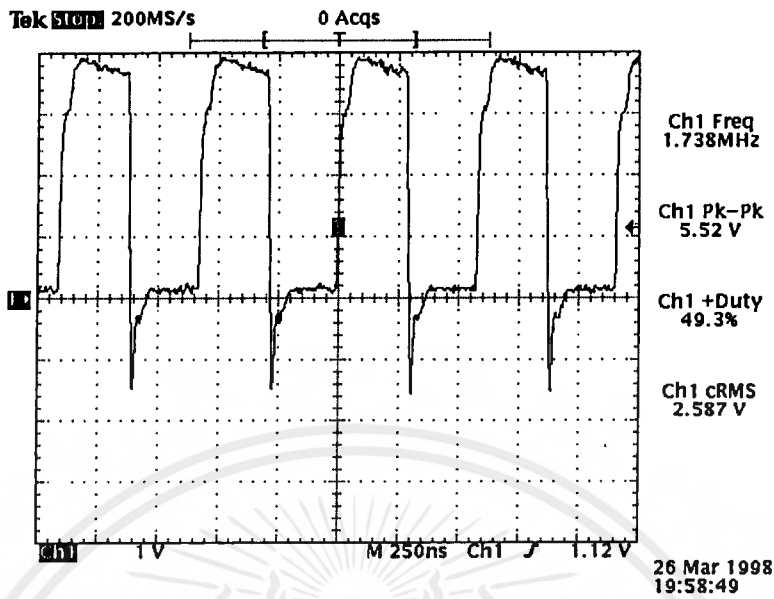
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองระดับแรงดันเอาต์พุตที่ได้จาก lowpass filter สำหรับเหรียญทั้งสามขนาดมีความแตกต่างกันพอสมควรและไม่มีค่าที่ซ้อนทับกัน ทำให้สามารถสร้างวงจรคอมพิวเตอร์ขึ้นมาตามชุด เพื่อสร้างลอจิกเอาต์พุตขึ้นมาตามบิต แล้วนำไปใช้ในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการพิจารณาว่าเหรียญที่คัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์ว่าเป็นเหรียญชนิดใดได้

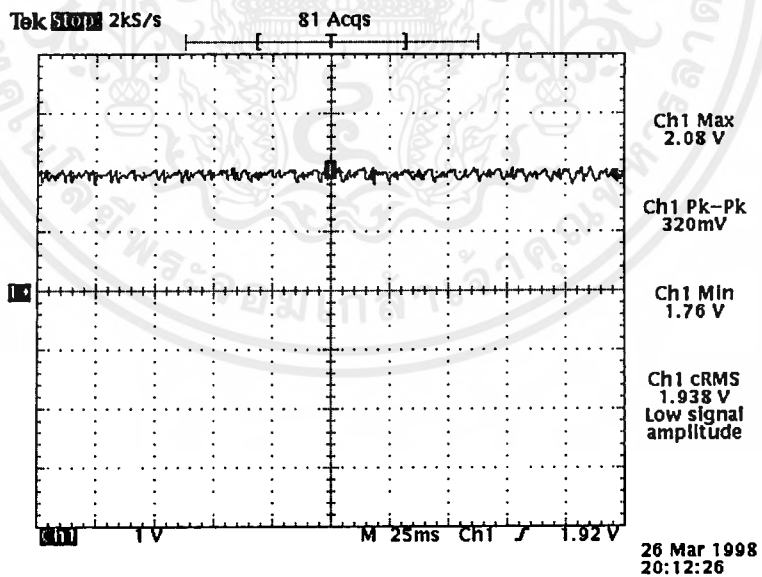
- เซนเซอร์ตรวจสอบความหนา



รูปที่ 4.14 สัญญาณเอาต์พุตจากออสซิลเลเตอร์ 1 MHz (จุดที่1)



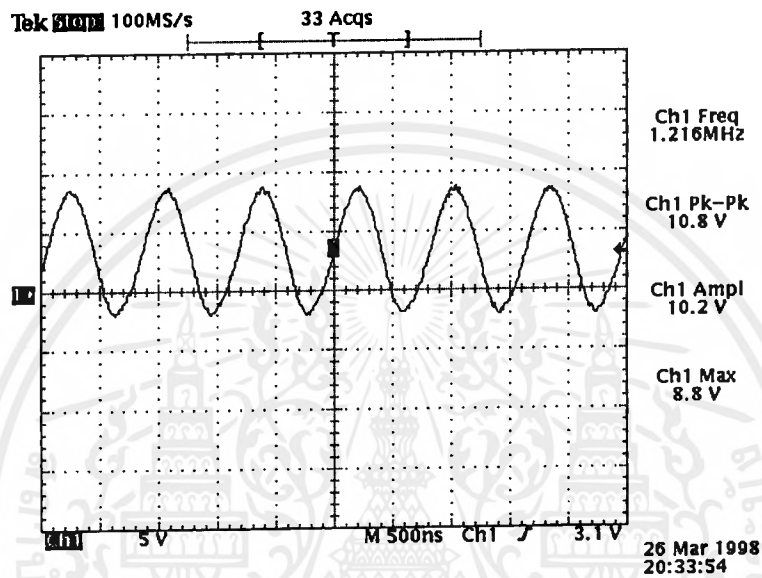
รูปที่ 4.15 สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากไอซี 74LS123 (จุดที่ 2) เพื่อนำไปเข้า lowpass filter



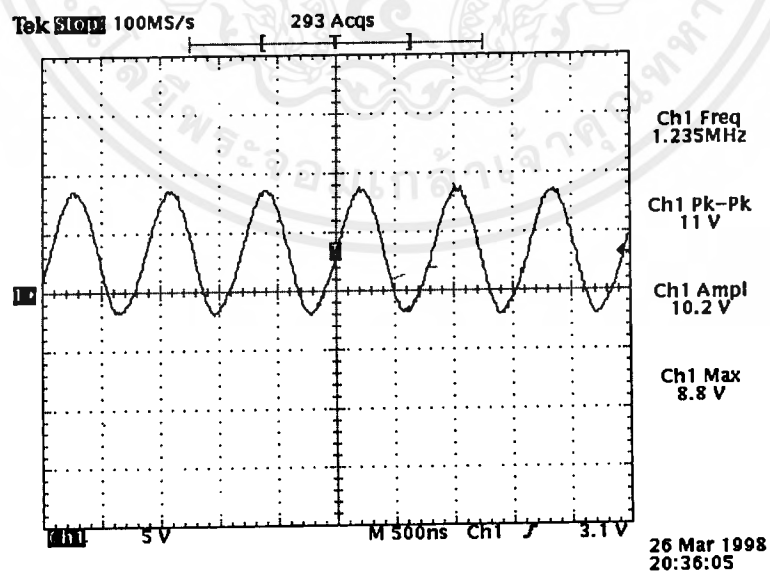
รูปที่ 4.16 รูปสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจาก lowpass filter (จุดที่3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกันกับเซนเซอร์ตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อมีเหรียญตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์ของออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่ 1 MHz ความถี่ของออสซิลเลเตอร์จะมีการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ขนาดของแอมพลิจูดจะเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนที่น้อยกว่า แต่ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงของเหรียญแต่ละชนิดเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของความถี่เปลี่ยนแปลงแล้วถือว่าน้อยมาก ผลจากการทดลองจะแสดงได้ดังนี้

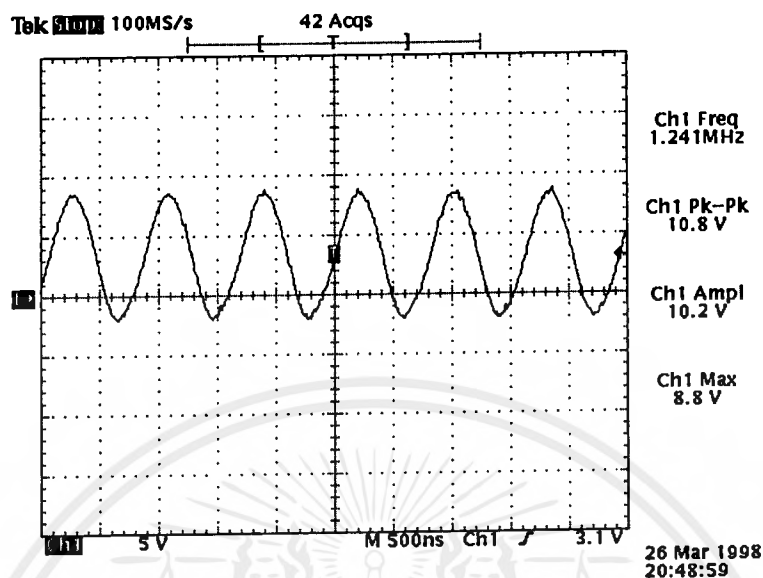


รูปที่ 4.17 แสดงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเหรียญ 1 บาทตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์



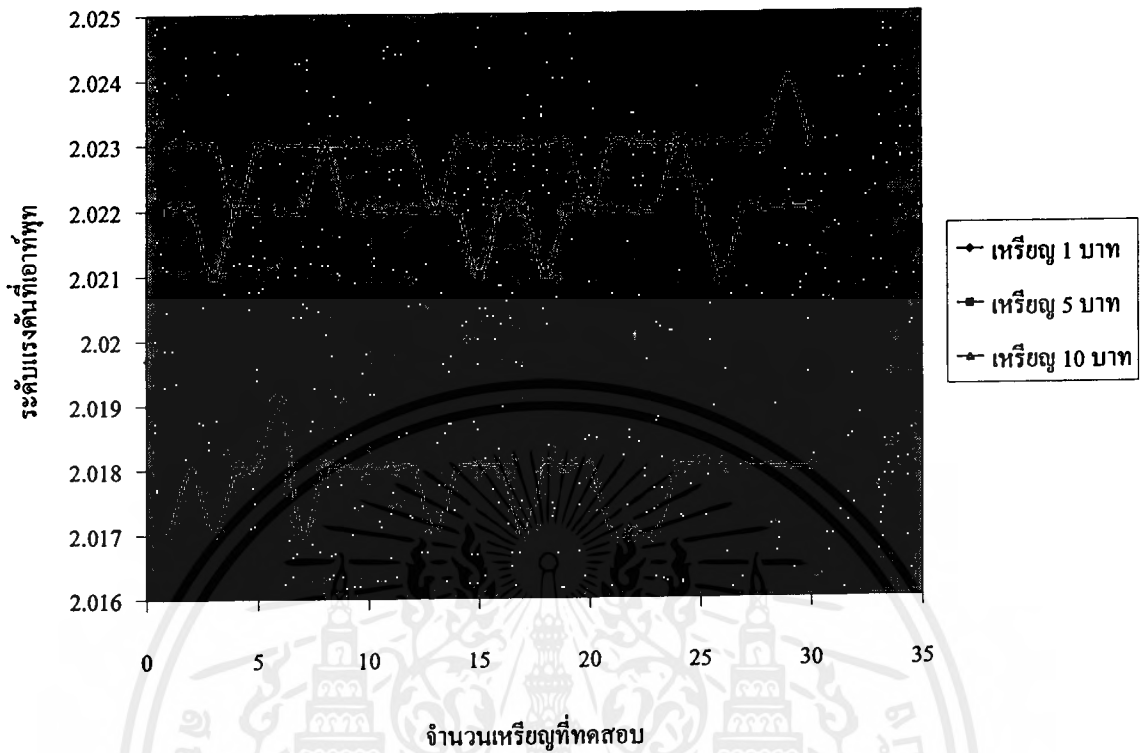
รูปที่ 4.18 แสดงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเหรียญ 5 บาทตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



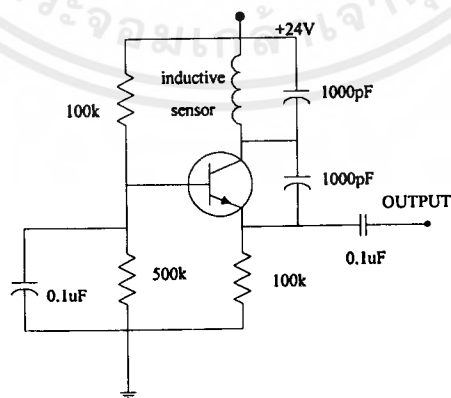
รูปที่ 4.19 แสดงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเหรียญ 10 บาทตัดผ่านอินดักทีฟเซนเซอร์

เมื่อทำการทดลองโดยใช้เหรียญ 1 บาท 5 บาท 10 บาท จำนวน 30 เหรียญ เอาท์พุทที่ได้จากวงจร lowpass filter ซึ่งเป็นสัญญาณ dc สามารถนำมาพลอตกราฟได้ดังรูปที่ 4.20 จากผลการทดลองระดับแรงดันเอาท์พุทที่ได้จาก lowpass filter สำหรับเหรียญ 1 บาท กับเหรียญ 5 บาทและ 10 บาท มีความแตกต่างกันพอสมควรและไม่มีค่าที่ซ้อนทับกัน แต่ระดับแรงดันของเอาท์พุทที่ได้จาก lowpass filter สำหรับเหรียญ 5 บาท กับเหรียญ 10 บาท มีค่าใกล้เคียงกันมากและซ้อนทับกันทำให้ไม่สามารถแยกความแตกต่างของเหรียญ 5 บาท และเหรียญ 10 บาท ได้อย่างดีพอ เนื่องจากข้อเท็จจริงที่ว่าเซนเซอร์ชนิดนี้เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจจับความหนาของเหรียญ ซึ่งเหรียญ 5 บาทและเหรียญ 10 บาท มีความหนาแตกต่างกันน้อยมาก เพราะฉะนั้นเซนเซอร์ตัวนี้จึงถูกใช้เพียงสนับสนุนการทำงานของเซนเซอร์ตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ในการแยกเหรียญ 1 บาท ออกจากกลุ่มได้ดียิ่งขึ้น

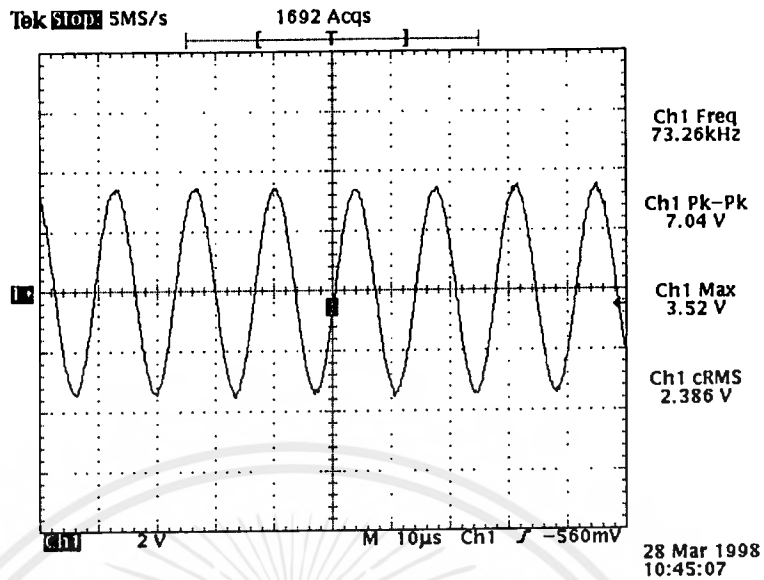


รูปที่ 4.20 แสดงกราฟของระดับแรงดันที่ออกจาก lowpass filter ของเหยี่ยวชนิดต่างๆ

- เซนเซอร์ตรวจสอบเนื้อสาร

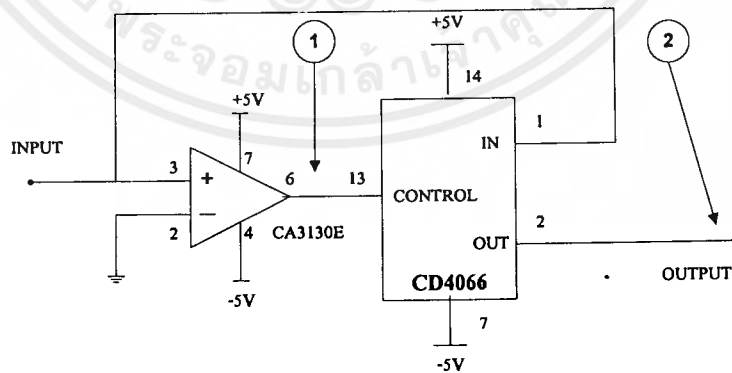


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

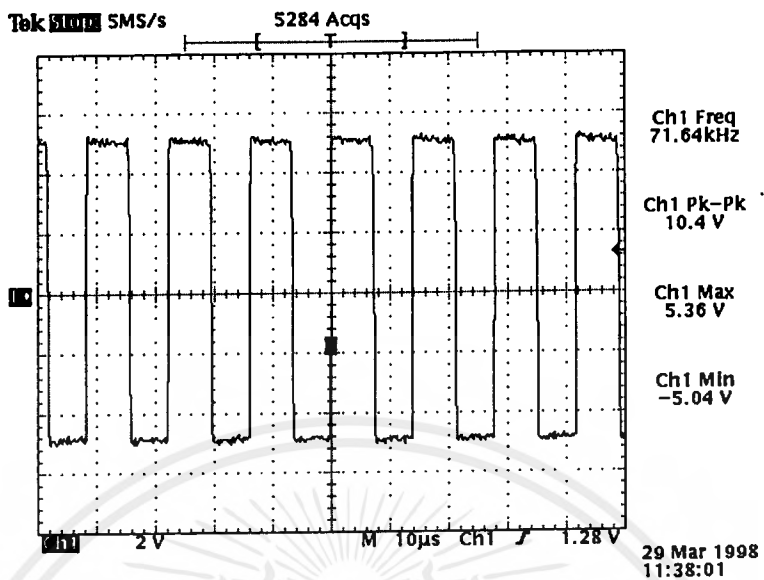


รูปที่ 4.21 สัญญาณเอาต์พุตจากออสซิลเลเตอร์ 72 kHz

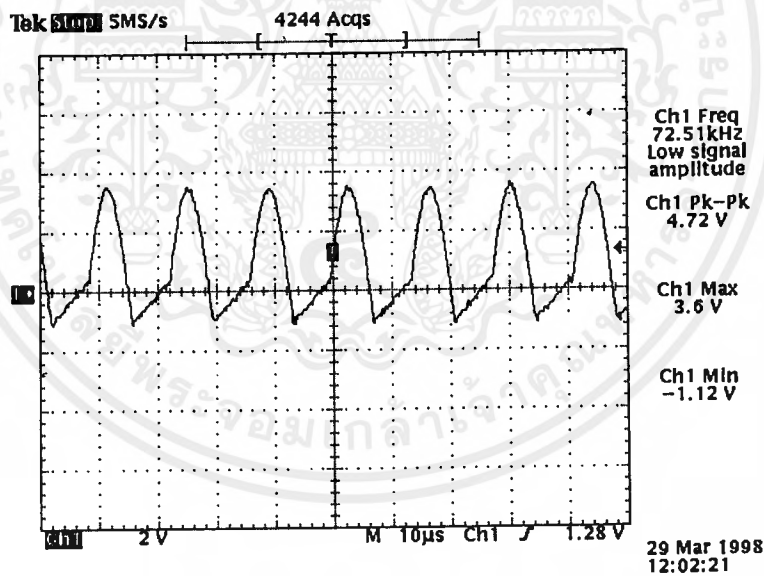
เนื่องจากเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจสอบเนื้อสารนี้ ใช้ความถี่ต่ำดังนั้นผลของการเปลี่ยนแปลงความถี่จะมีน้อยกว่า ผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดแอมพลิจูด ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบในการตรวจสอบเหรียญ จากการศึกษาความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเป็นการพิจารณาขนาดที่เปลี่ยนไปของแอมพลิจูด โดยใช้วงจร halfwave rectifier และ filter ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเป็นดังรูป



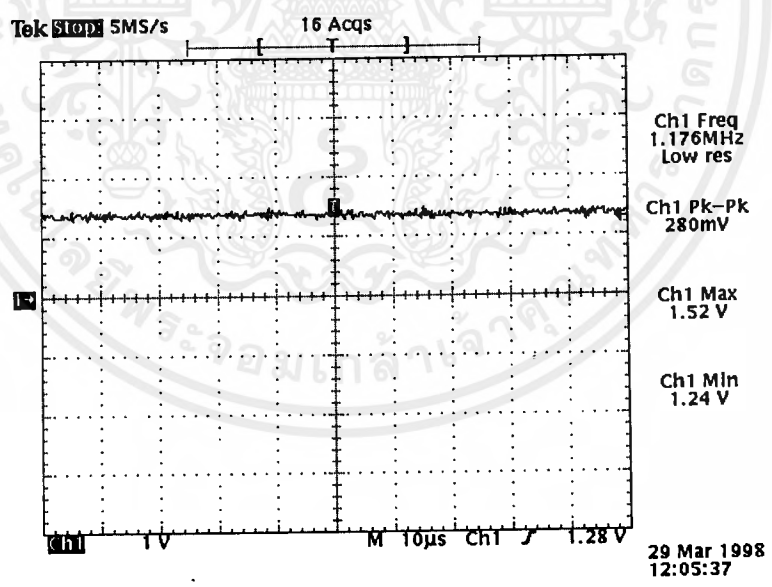
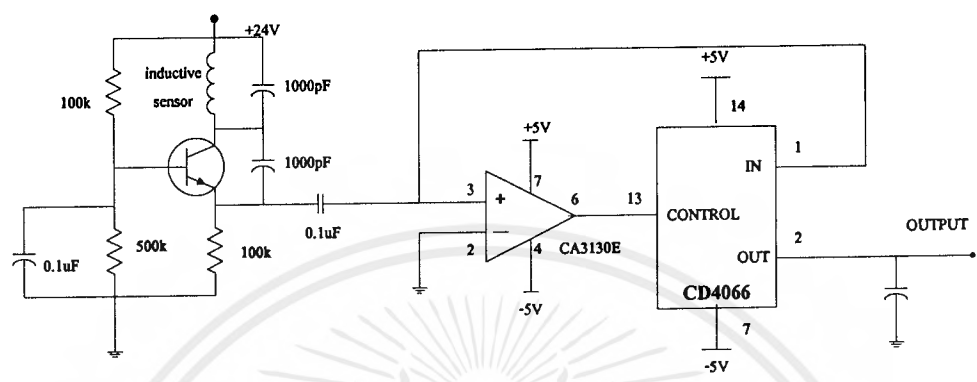
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 สัญญาณคอนโทรลอะนาล็อกสวิตช์ (จุด 1)

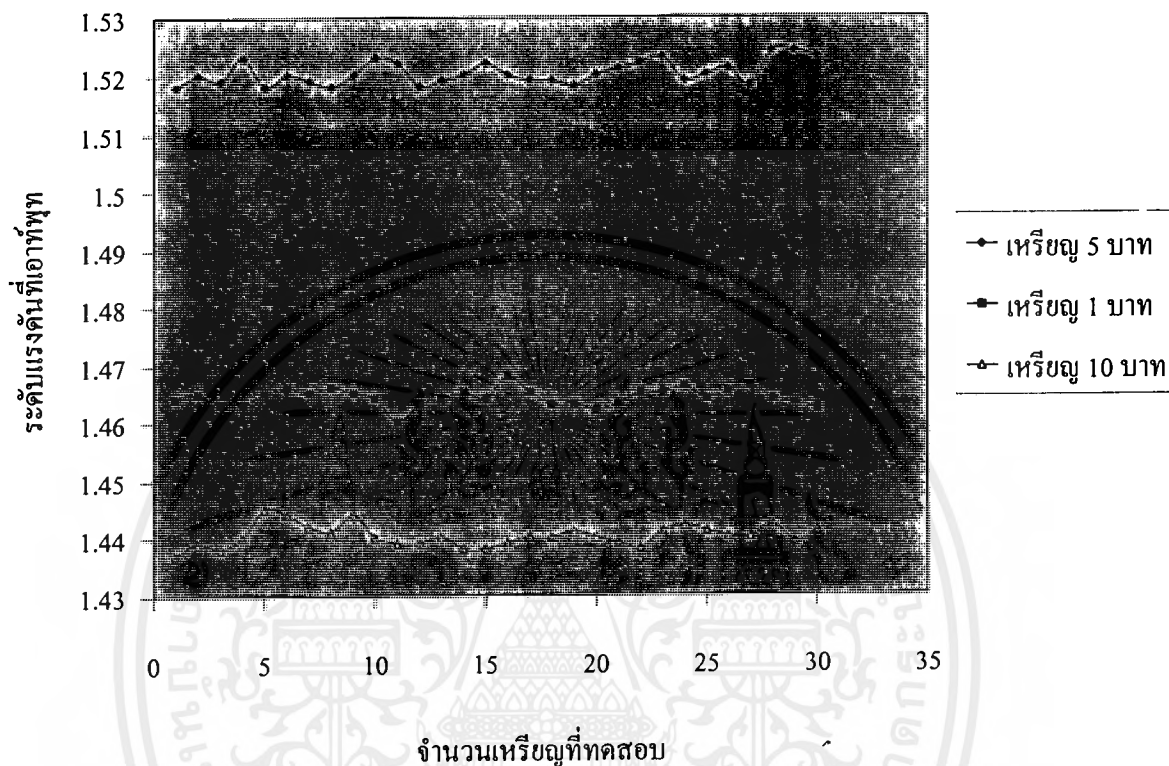


รูปที่ 4.23 สัญญาณเอาต์พุตจากส่วน rectify (จุด 2)



รูปที่ 4.24 สัญญาณเอาต์พุตของวงจร peak detector

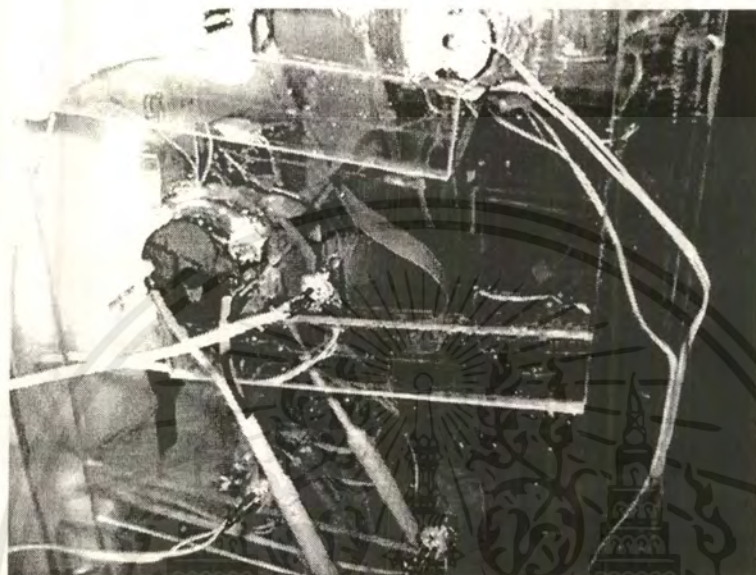
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



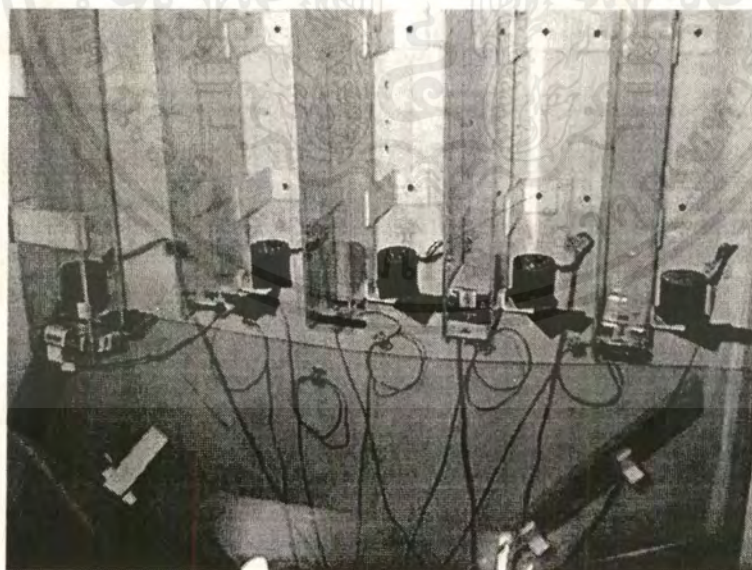
รูปที่ 4.25 แสดงกราฟของระดับแรงดันที่ออกจากวงจร peak detector ของเฮริบญชนิดต่างๆ

จากกราฟจะเห็นได้ว่าการตรวจสอบโดยใช้ความแตกต่างของเนื้อสาร มีความแม่นยำค่อนข้างมาก แต่ปัญหาที่จะต้องพึงระวังคือ วงจร rectifier จะไม่สามารถใช้ไดโอดได้ เนื่องจากแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะได้รับไบอัสตรง จะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิอย่างมากเมื่อเทียบกับค่าที่ใช้ reference ในวงจร comparator ทำให้ comparator ทำงานผิดพลาด

4. ในที่นี้จะแสดงรูปของชิ้นงานในแต่ละส่วนจนประกอบเป็นตัวเครื่องที่เสร็จสมบูรณ์

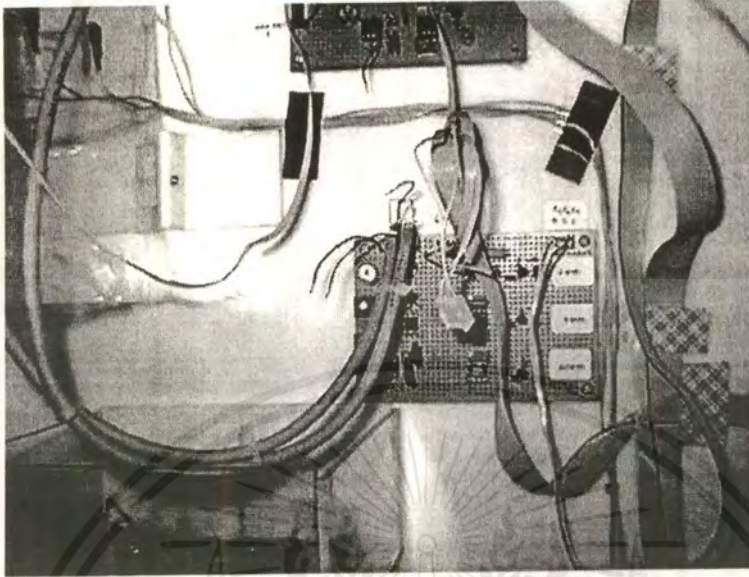


รูปที่ 4.26 แสดงส่วนอินดักทีฟเซนเซอร์ซึ่งติดอยู่บนรางเหรีขญ

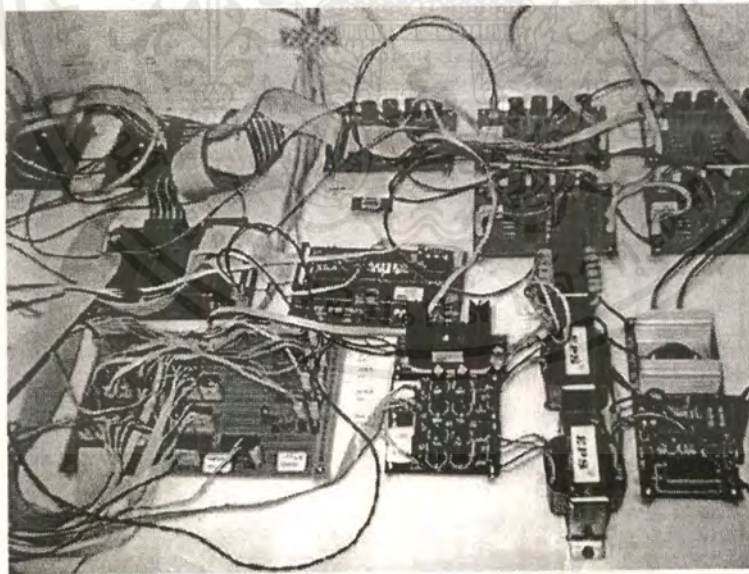


รูปที่ 4.27 แสดงส่วนสตีปิ้งมอเตอร์ซึ่งใช้ในการจ่ายบหรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

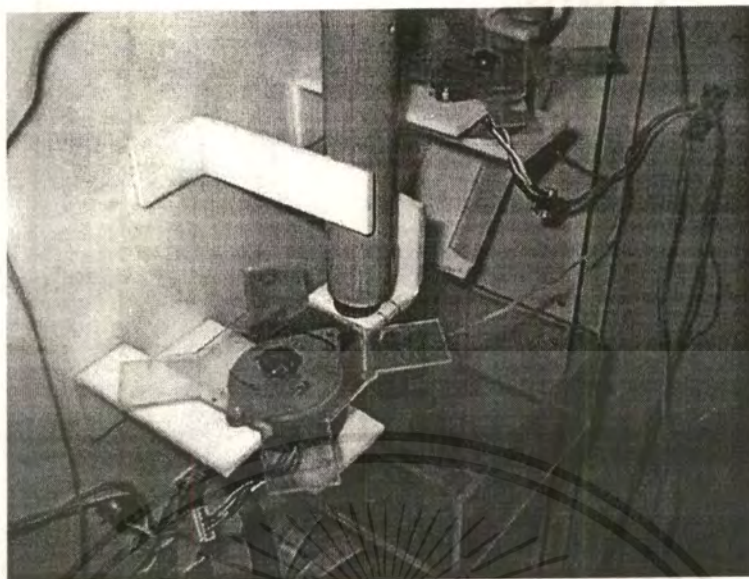


รูปที่ 4.28 แสดงส่วนของวงจรตรวจสอบเหรียญ

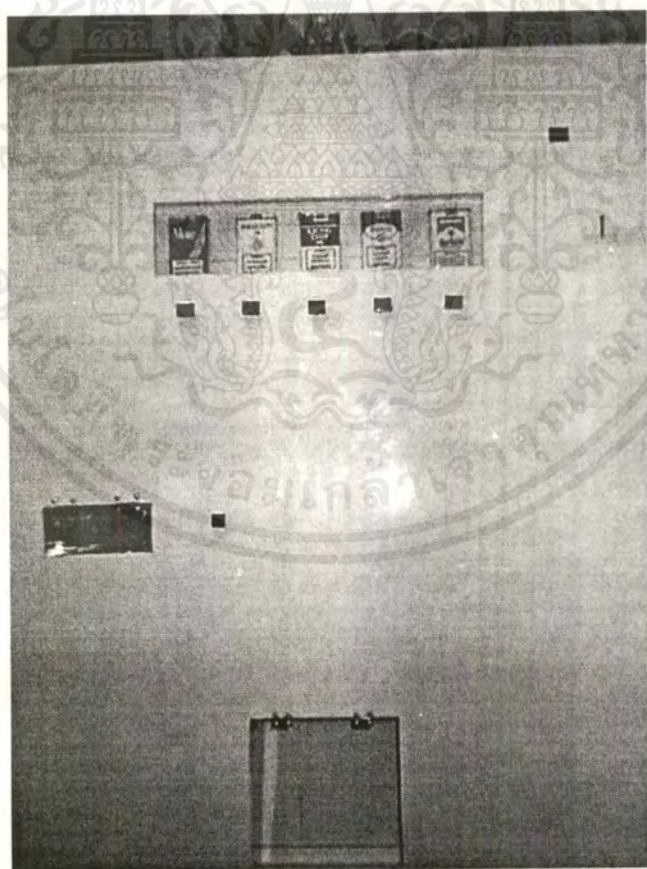


รูปที่ 4.29 แสดงวงจรส่วนคอนโทรลเลอร์และส่วนวงจรขับสเต็ปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 แสดงส่วนทอนเงิน



รูปที่ 4.31 แสดงภายนอกของตัวเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และบทสรุป

จากหลักการทำงานของเครื่องจำหน่ายนุหรืออัตโนมัตินี้ ก็สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับการจำหน่ายแบบอัตโนมัติได้จริง รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้กับสินค้าชนิดอื่น ๆ ซึ่งในอนาคตจะเห็นได้ว่าการจำหน่ายสินค้า รวมถึงการจำหน่ายตั๋วหรือบัตร จะมีการนำเอาระบบการจำหน่ายแบบอัตโนมัติมาใช้ สามารถลดแรงงานคนได้ การดำเนินงานได้ทำการศึกษาถึงหลักการทำงานของเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ ที่ได้รวบรวมมาจากแหล่งข้อมูลจากที่ต่าง ๆ แล้วนำมาออกแบบสร้างเป็นเครื่องจำหน่ายนุหรืออัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ การทำงานของเครื่องประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

1. ส่วนตรวจสอบเหรียญ ใช้อินดักทีฟเซนเซอร์ 3 ตัว ซึ่งอยู่ในวงจรถอดสซิลเลเตอร์ 3 วงจร แต่ละวงจรถอดสัญญาณความถี่ 72 kHz สำหรับตรวจเนื้อสารที่ใช้ทำเหรียญ, ความถี่ 650 kHz ใช้ตรวจเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ และความถี่ 1 MHz ใช้ตรวจความหนาของเหรียญ สำหรับเซนเซอร์ตรวจเนื้อสารเอาท์พุทจากวงจรถอดสซิลเลเตอร์จะถูกนำมาเข้าวงจร rectifier ส่วนเซนเซอร์อีกสองชนิดเอาท์พุทจากวงจรถอดสซิลเลเตอร์จะถูกนำมาเข้าวงจร frequency to voltage converter เพื่อให้ได้เอาท์พุทเป็นระดับแรงดัน dc แล้วต่อเข้าสู่วงจร comparator
2. ส่วนวงจรขับสเต็ปมอเตอร์ ใช้ในส่วนของการจ่ายเงินทอนและในส่วนของการจ่ายนุหรือ
3. ส่วนประมวลผล ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ANT-3172 ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51
4. โปรแกรมควบคุมการทำงาน โปรแกรมจะทำการควบคุมหน้าที่การทำงานทั้งหมดของเครื่อง โดยเรียงลำดับตามขั้นตอนการใช้งานของผู้ใช้บริการ โปรแกรมจะเริ่มจากการตรวจสอบเหรียญ แสดงค่าจำนวนเงินรวม เลือกว่าจะจ่ายนุหรือชนิดที่ผู้ใช้บริการต้องการ และทำการทอนเงินให้กับผู้ใช้บริการ

การทำงานของเครื่องมีความถูกต้องมากกว่า 80% จากการทดสอบ ปัญหาที่เกิดขึ้นมักจะเกิดจากความผิดพลาดในส่วน of โปรแกรมและส่วนตรวจสอบเหรียญ

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานได้ถูกรวบรวมได้ดังนี้

1. การตรวจสอบเหรียญมีปัญหาเนื่องจากลักษณะของรางเหรียญ เมื่อเหรียญถูกหยอดลงมาใน ลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น เร็ว ช้า มีการกระดอนไปมาของเหรียญขณะที่อยู่ในราง ทำให้การทำงานของวงจรตรวจสอบเหรียญเกิดการผิดพลาดได้
2. ระยะความห่างของตัวเซนเซอร์กับเหรียญ ซึ่งก็คือขนาดความหนาของราง มีผลทำให้การทำงานไม่ดีเท่าที่ควรในเซนเซอร์สำหรับตรวจสอบความหนา ซึ่งใช้ผลของ skin effect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TIP3055 TIP2955

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>				
Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ( $I_C = 30\text{ mAdc}$ , $I_B = 0$ )	$V_{CE(sus)}$	60	—	Vdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 70\text{ Vdc}$ , $R_{BE} = 100\text{ Ohms}$ )	$I_{CER}$	—	1.0	mAdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 30\text{ Vdc}$ , $I_B = 0$ )	$I_{CEO}$	—	0.7	mAdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 100\text{ Vdc}$ , $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$ )	$I_{CEV}$	—	5.0	mAdc
Emitter Cutoff Current ( $V_{BE} = 7.0\text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ )	$I_{EBO}$	—	5.0	mAdc

## ON CHARACTERISTICS (1)

DC Current Gain ( $I_C = 4.0\text{ Adc}$ , $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 10\text{ Adc}$ , $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$ )	$h_{FE}$	20 5.0	70 —	—
Collector-Emitter Saturation Voltage ( $I_C = 4.0\text{ Adc}$ , $I_B = 400\text{ mAdc}$ ) ( $I_C = 10\text{ Adc}$ , $I_B = 3.3\text{ Adc}$ )	$V_{CE(sat)}$	— —	1.1 3.0	Vdc
Base-Emitter On Voltage ( $I_C = 4.0\text{ Adc}$ , $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$ )	$V_{BE(on)}$	—	1.8	Vdc

## SECOND BREAKDOWN

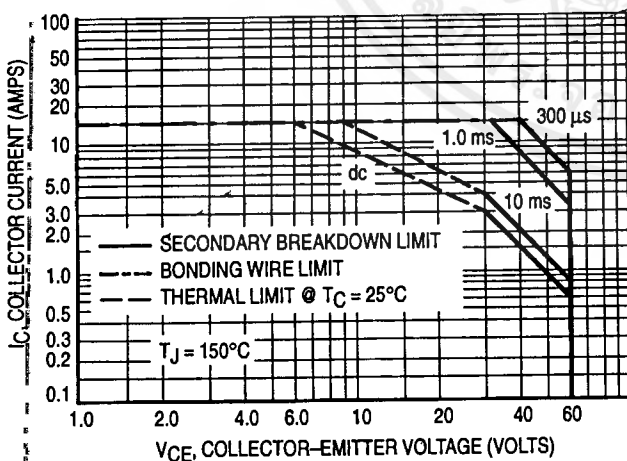
Second Breakdown Collector Current with Base Forward Biased ( $V_{CE} = 30\text{ Vdc}$ , $t = 1.0\text{ s}$ ; Nonrepetitive)	$I_{s/b}$	3.0	—	Adc
---	-----------	-----	---	-----

## DYNAMIC CHARACTERISTICS

Current Gain — Bandwidth Product ( $I_C = 0.5\text{ Adc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )	$f_T$	2.5	—	MHz
Small-Signal Current Gain ( $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$ , $I_C = 1.0\text{ Adc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{fe}$	15	—	kHz

(1) Pulse Test: Pulse Width = 300  $\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ .

NOTE: For additional design curves, refer to electrical characteristics curves of 2N3055.

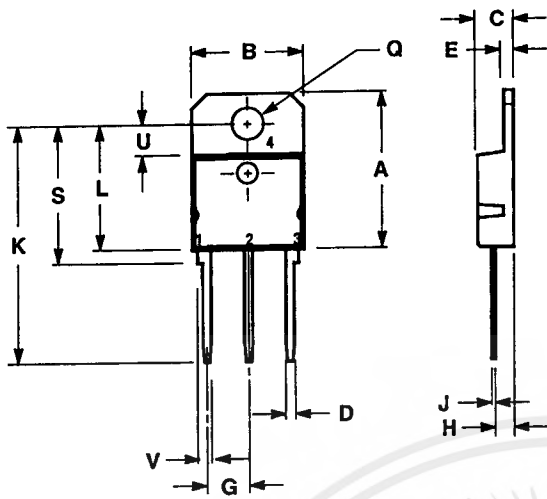


**Figure 2. Maximum Rated Forward Bias Safe Operating Area**

There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate  $I_C - V_{CE}$  limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

The data of Figure 2 is based on  $T_C = 25^\circ\text{C}$ ;  $T_{J(pk)}$  is variable depending on power level. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% but must be derated for temperature.

PACKAGE DIMENSIONS

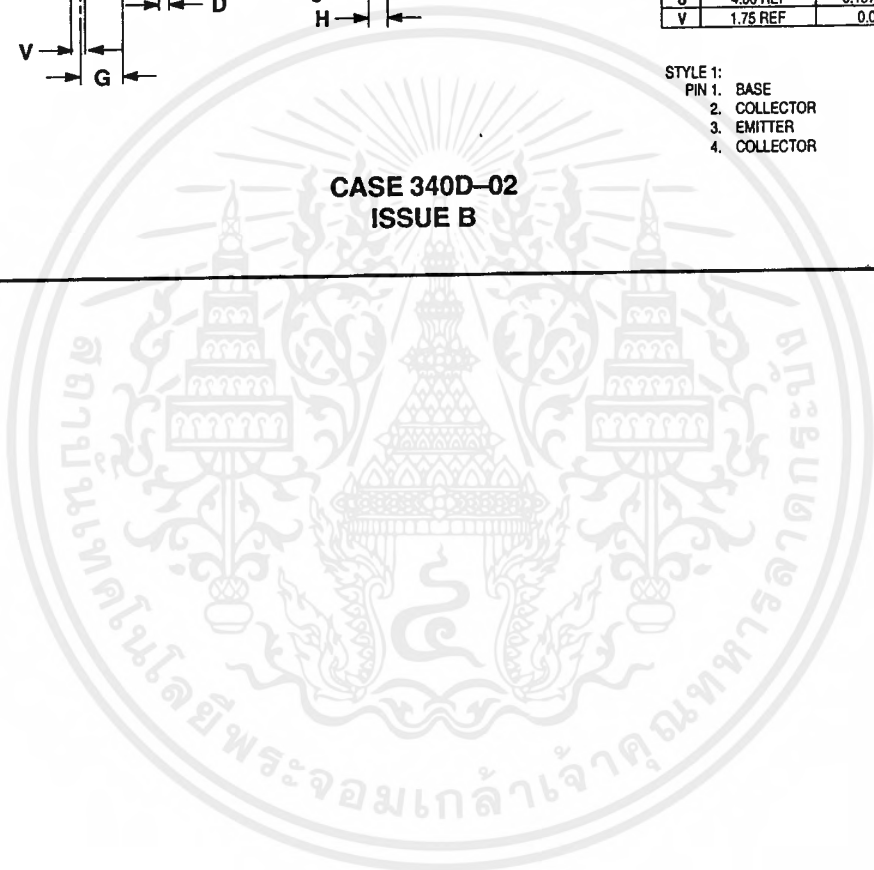


NOTES:  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.  
 2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.


DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	—	20.35	—	0.801
B	14.70	16.20	0.579	0.598
C	4.70	4.90	0.185	0.193
D	1.10	1.30	0.043	0.051
E	1.17	1.37	0.046	0.054
G	5.40	5.55	0.213	0.219
H	2.00	3.00	0.079	0.118
J	0.50	0.78	0.020	0.031
K	31.00 REF		1.220 REF	
L	—	16.20	—	0.638
Q	4.00	4.10	0.158	0.161
S	17.80	18.20	0.701	0.717
U	4.00 REF		0.157 REF	
V	1.75 REF		0.069	

STYLE 1:  
 PIN 1. BASE  
 2. COLLECTOR  
 3. EMITTER  
 4. COLLECTOR

CASE 340D-02  
 ISSUE B





Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

**How to reach us:**

**USA/EUROPE/Locations Not Listed:** Motorola Literature Distribution;  
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

**MFAX:** RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609  
**INTERNET:** <http://Design-NET.com>

**JAPAN:** Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,  
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

**ASIA/PACIFIC:** Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,  
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



**MOTOROLA**

สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านกา TIP3055/D

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของ



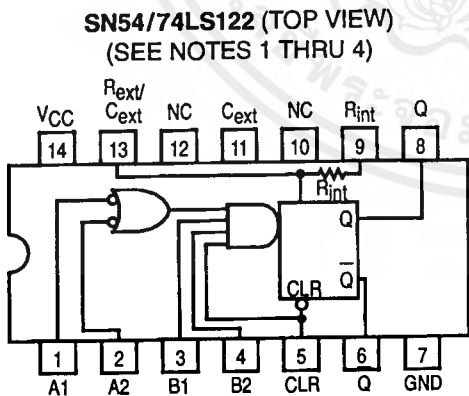
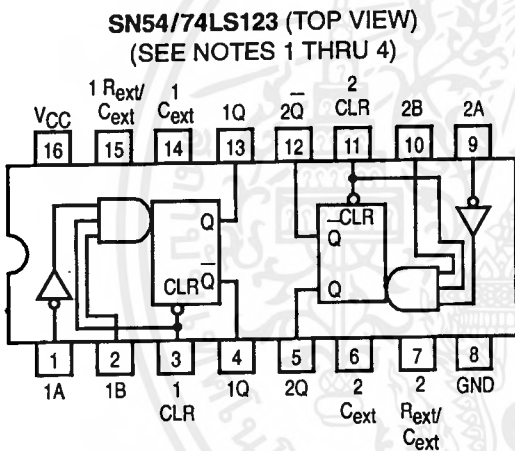


**MOTOROLA**

# RETRIGGERABLE MONOSTABLE MULTIVIBRATORS

These dc triggered multivibrators feature pulse width control by three methods. The basic pulse width is programmed by selection of external resistance and capacitance values. The LS122 has an internal timing resistor that allows the circuits to be used with only an external capacitor. Once triggered, the basic pulse width may be extended by retriggering the gated low-level-active (A) or high-level-active (B) inputs, or be reduced by use of the overriding clear.

- Overriding Clear Terminates Output Pulse
- Compensated for  $V_{CC}$  and Temperature Variations
- DC Triggered from Active-High or Active-Low Gated Logic Inputs
- Retriggerable for Very Long Output Pulses, up to 100% Duty Cycle
- Internal Timing Resistors on LS122



NC — NO INTERNAL CONNECTION.

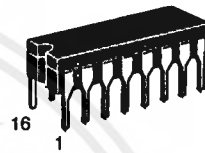
**NOTES:**

1. An external timing capacitor may be connected between  $C_{ext}$  and  $R_{ext}/C_{ext}$  (positive).
2. To use the internal timing resistor of the LS122, connect  $R_{int}$  to  $V_{CC}$ .
3. For improved pulse width accuracy connect an external resistor between  $R_{ext}/C_{ext}$  and  $V_{CC}$  with  $R_{int}$  open-circuited.
4. To obtain variable pulse widths, connect an external variable resistance between  $R_{int}/C_{ext}$  and  $V_{CC}$ .

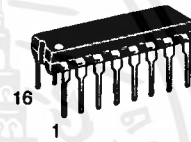
## SN54/74LS122 SN54/74LS123

### RETRIGGERABLE MONOSTABLE MULTIVIBRATORS

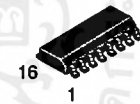
#### LOW POWER SCHOTTKY



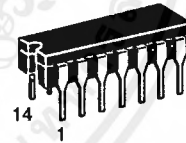
**J SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 620-09**



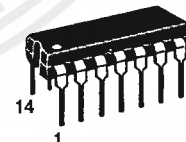
**N SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 648-08**



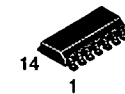
**D SUFFIX  
SOIC  
CASE 751B-03**



**J SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 632-08**



**N SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 646-06**



**D SUFFIX  
SOIC  
CASE 751A-02**

### ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ	Ceramic
SN74LSXXXN	Plastic
SN74LSXXXD	SOIC

# SN54/74LS122 • SN54/74LS123

LS122  
FUNCTIONAL TABLE

INPUTS					OUTPUTS	
CLEAR	A1	A2	B1	B2	Q	Q
L	X	X	X	X	L	H
X	H	H	X	X	L	H
X	X	X	L	X	L	H
X	X	X	X	L	L	H
H	L	X	↑	H	⌋	⌋
H	L	X	H	↑	⌋	⌋
H	X	L	↑	H	⌋	⌋
H	X	L	H	↑	⌋	⌋
H	H	↓	H	H	⌋	⌋
H	↓	↓	H	H	⌋	⌋
H	↓	H	H	H	⌋	⌋
↑	L	X	H	H	⌋	⌋
↑	X	L	H	H	⌋	⌋

LS123  
FUNCTIONAL TABLE

INPUTS			OUTPUTS	
CLEAR	A	B	Q	Q
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L	↑	⌋	⌋
H	↓	H	⌋	⌋
↑	L	H	⌋	⌋

## TYPICAL APPLICATION DATA

The output pulse  $t_W$  is a function of the external components;  $C_{ext}$  and  $R_{ext}$  or  $C_{ext}$  and  $R_{int}$  on the LS122. For values of  $C_{ext} \geq 1000$  pF, the output pulse at  $V_{CC} = 5.0$  V and  $V_{RC} = 5.0$  V (see Figures 1, 2, and 3) is given by

$$t_W = K R_{ext} C_{ext} \text{ where } K \text{ is nominally } 0.45$$

If  $C_{ext}$  is on pF and  $R_{ext}$  is in k $\Omega$  then  $t_W$  is in nanoseconds.

The  $C_{ext}$  terminal of the LS122 and LS123 is an internal connection to ground, however for the best system performance  $C_{ext}$  should be hard-wired to ground.

Care should be taken to keep  $R_{ext}$  and  $C_{ext}$  as close to the monostable as possible with a minimum amount of inductance between the  $R_{ext}/C_{ext}$  junction and the  $R_{ext}/C_{ext}$  pin. Good groundplane and adequate bypassing should be designed into the system for optimum performance to insure that no false triggering occurs.

It should be noted that the  $C_{ext}$  pin is internally connected to ground on the LS122 and LS123, but not on the LS221. Therefore, if  $C_{ext}$  is hard-wired externally to ground, substitution of a LS221 onto a LS123 socket will cause the LS221 to become non-functional.

The switching diode is not needed for electrolytic capacitance application and should not be used on the LS122 and LS123.

To find the value of K for  $C_{ext} \geq 1000$  pF, refer to Figure 4. Variations on  $V_{CC}$  or  $V_{RC}$  can cause the value of K to change, as can the temperature of the LS123, LS122. Figures 5 and 6 show the behavior of the circuit shown in Figures 1 and 2 if

separate power supplies are used for  $V_{CC}$  and  $V_{RC}$ . If  $V_{CC}$  is tied to  $V_{RC}$ , Figure 7 shows how K will vary with  $V_{CC}$  and temperature. Remember, the changes in  $R_{ext}$  and  $C_{ext}$  with temperature are not calculated and included in the graph.

As long as  $C_{ext} \geq 1000$  pF and  $5K \leq R_{ext} \leq 260K$  (SN74LS122/123) or  $5K \leq R_{ext} \leq 160K$  (SN54LS122/123), the change in K with respect to  $R_{ext}$  is negligible.

If  $C_{ext} \leq 1000$  pF the graph shown on Figure 8 can be used to determine the output pulse width. Figure 9 shows how K will change for  $C_{ext} \leq 1000$  pF if  $V_{CC}$  and  $V_{RC}$  are connected to the same power supply. The pulse width  $t_W$  in nanoseconds is approximated by

$$t_W = 6 + 0.05 C_{ext} (\text{pF}) + 0.45 R_{ext} (\text{k}\Omega) C_{ext} + 11.6 R_{ext}$$

In order to trim the output pulse width, it is necessary to include a variable resistor between  $V_{CC}$  and the  $R_{ext}/C_{ext}$  pin or between  $V_{CC}$  and the  $R_{ext}$  pin of the LS122. Figure 10, 11, and 12 show how this can be done.  $R_{ext}$  remote should be kept as close to the monostable as possible.

Retriggering of the part, as shown in Figure 3, must not occur before  $C_{ext}$  is discharged or the retrigger pulse will not have any effect. The discharge time of  $C_{ext}$  in nanoseconds is guaranteed to be less than  $0.22 C_{ext}$  (pF) and is typically  $0.05 C_{ext}$  (pF).

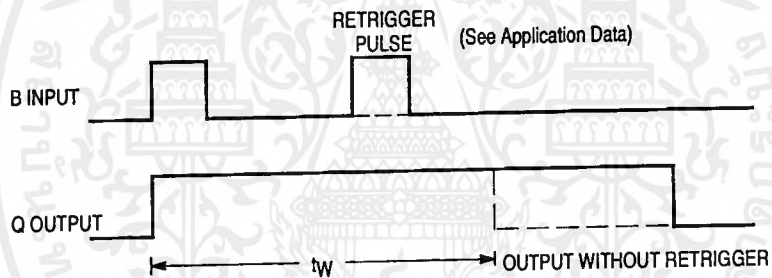
For the smallest possible deviation in output pulse widths from various devices, it is suggested that  $C_{ext}$  be kept  $\geq 1000$  pF.

# SN54/74LS122 • SN54/74LS123

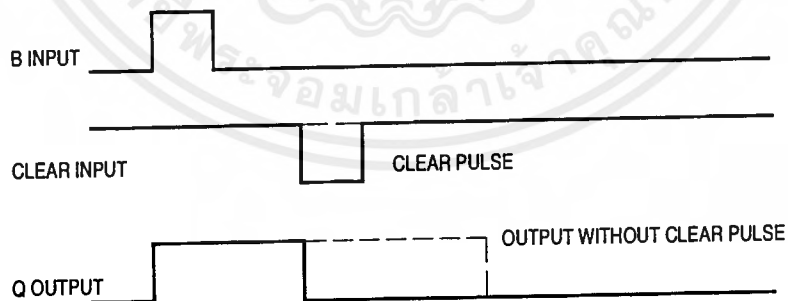
## GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T <sub>A</sub>	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I <sub>OH</sub>	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I <sub>OL</sub>	Output Current — Low	54			4.0	mA
		74			8.0	
R <sub>ext</sub>	External Timing Resistance	54	5.0		180	kΩ
		74	5.0		260	
C <sub>ext</sub>	External Capacitance	54, 74	No Restriction			
R <sub>ext</sub> /C <sub>ext</sub>	Wiring Capacitance at R <sub>ext</sub> /C <sub>ext</sub> Terminal	54, 74			50	pF

## WAVEFORMS



## EXTENDING PULSE WIDTH



## OVERRIDING THE OUTPUT PULSE

# SN54/74LS122 • SN54/74LS123

## DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter		Limits			Unit	Test Conditions	
			Min	Typ	Max			
V <sub>IH</sub>	Input HIGH Voltage		2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs	
V <sub>IL</sub>	Input LOW Voltage	54			0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs	
		74			0.8			
V <sub>IK</sub>	Input Clamp Diode Voltage			-0.65	-1.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>IN</sub> = -18 mA	
V <sub>OH</sub>	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5		V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>OH</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> per Truth Table	
		74	2.7	3.5		V		
V <sub>OL</sub>	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	0.4	V	I <sub>OL</sub> = 4.0 mA	V <sub>CC</sub> = V <sub>CC</sub> MIN, V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> per Truth Table
		74		0.35	0.5	V	I <sub>OL</sub> = 8.0 mA	
I <sub>IH</sub>	Input HIGH Current				20	μA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 2.7 V	
					0.1	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 7.0 V	
I <sub>IL</sub>	Input LOW Current				-0.4	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 0.4 V	
I <sub>OS</sub>	Short Circuit Current (Note 1)		-20			-100	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
I <sub>CC</sub>	Power Supply Current	LS122				11	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
		LS123				20		

Note 1; Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

## AC CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C, V<sub>CC</sub> = 5.0 V)

Symbol	Parameter		Limits			Unit	Test Conditions			
			Min	Typ	Max					
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, A to Q Propagation Delay, A to Q			23	33	ns	C <sub>ext</sub> = 0 C <sub>L</sub> = 15 pF  R <sub>ext</sub> = 5.0 kΩ R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ			
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, B to Q Propagation Delay, B to Q			23	44				ns	
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay, Clear to Q Propagation Delay, Clear to Q			28	45	ns				
				20	27					
t <sub>W min</sub>	A or B to Q			116	200	ns			C <sub>ext</sub> = 1000 pF, R <sub>ext</sub> = 10 kΩ, C <sub>L</sub> = 15 pF, R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ	
t <sub>WQ</sub>	A to B to Q		4.0	4.5	5.0	μs				

## AC SETUP REQUIREMENTS (T<sub>A</sub> = 25°C, V<sub>CC</sub> = 5.0 V)

Symbol	Parameter		Limits			Unit	Test Conditions	
			Min	Typ	Max			
t <sub>W</sub>	Pulse Width		40			ns		

# SN54/74LS122 • SN54/74LS123

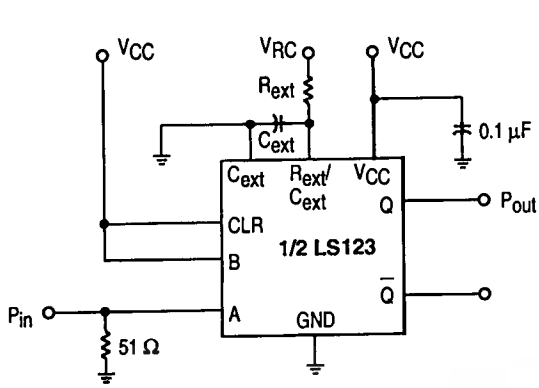


Figure 1

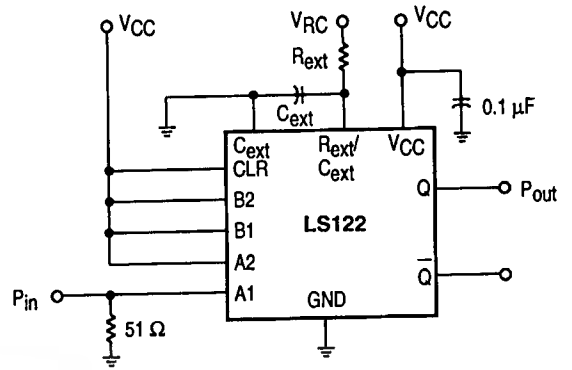


Figure 2

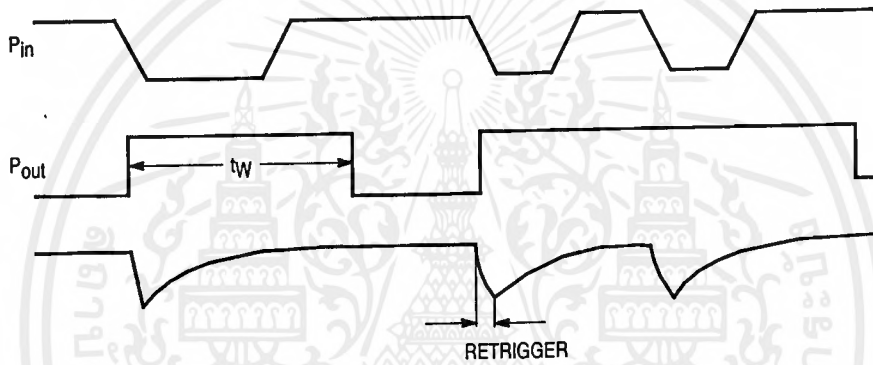


Figure 3

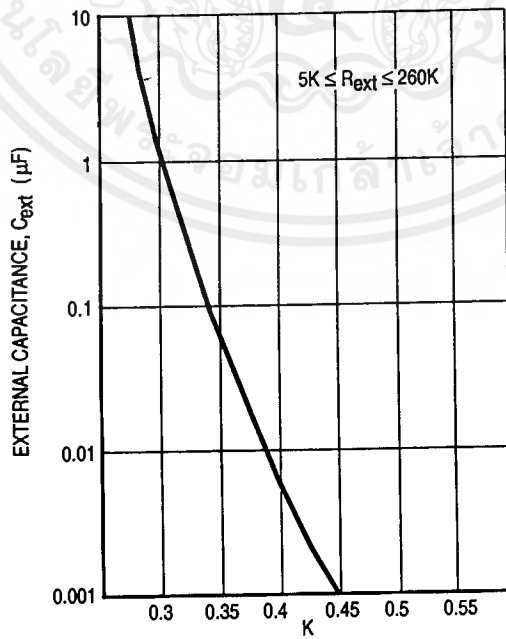


Figure 4

# SN54/74LS122 • SN54/74LS123

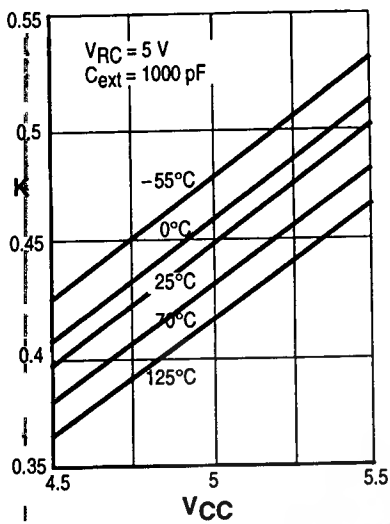


Figure 5. K versus VCC

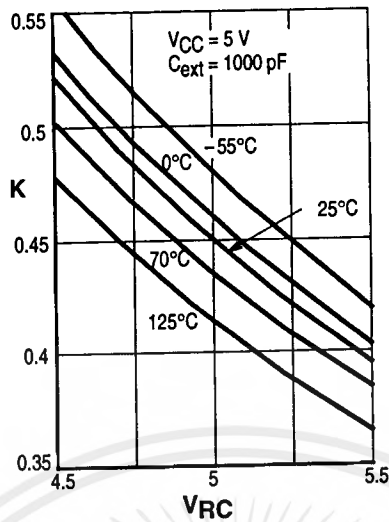


Figure 6. K versus VRC

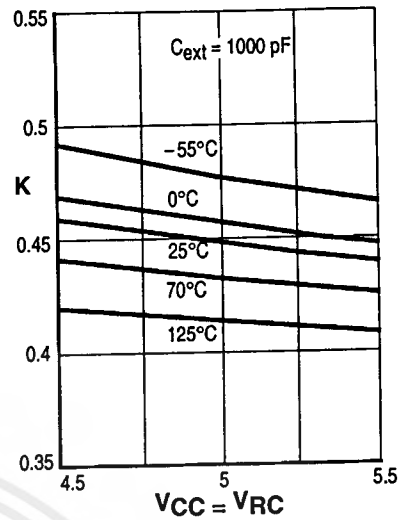


Figure 7. K versus VCC and VRC

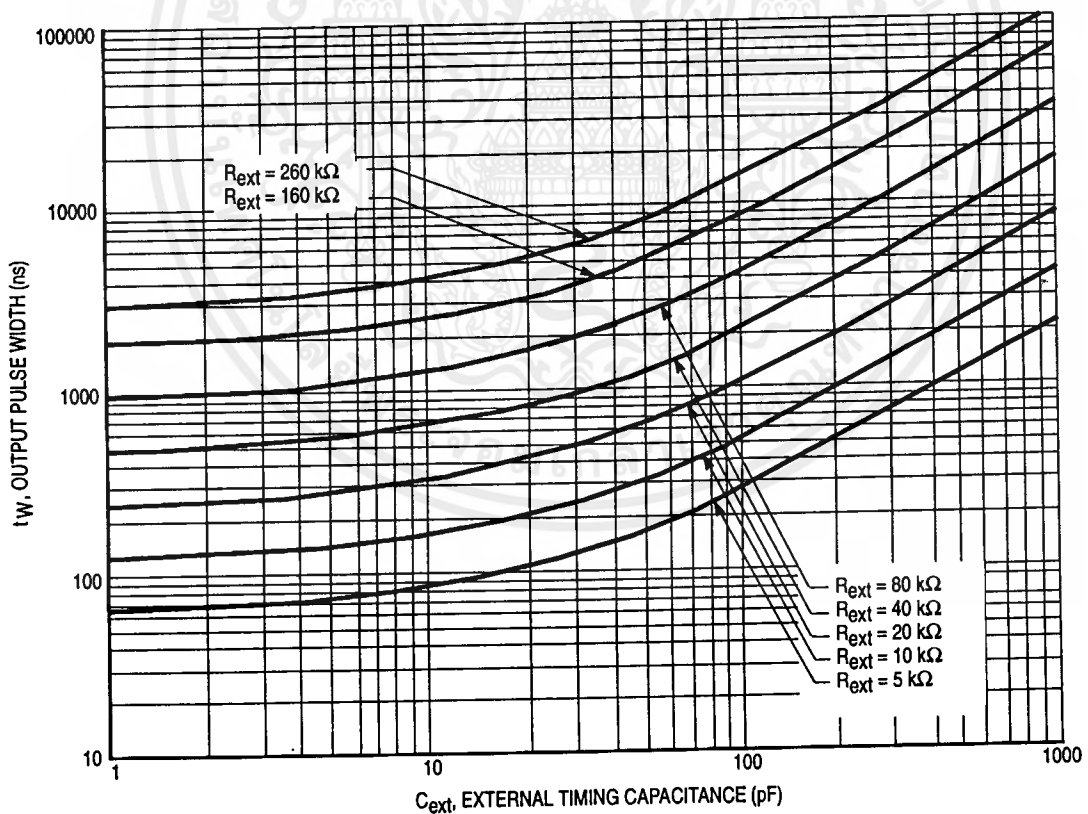


Figure 8

# SN54/74LS122 • SN54/74LS123

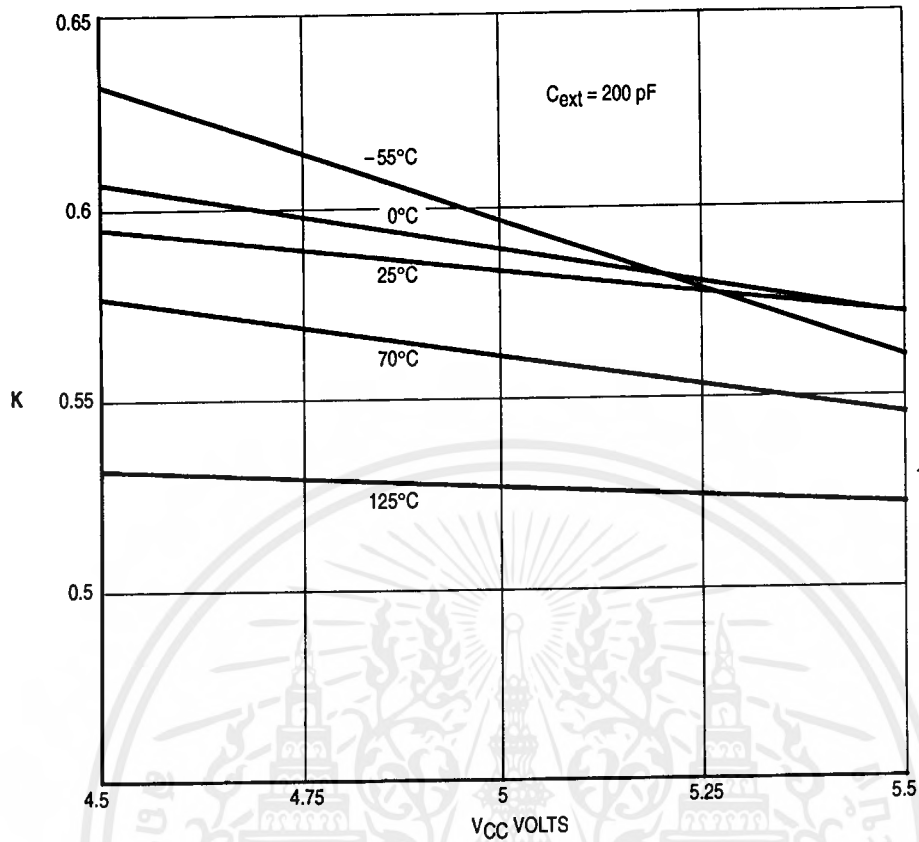


Figure 9

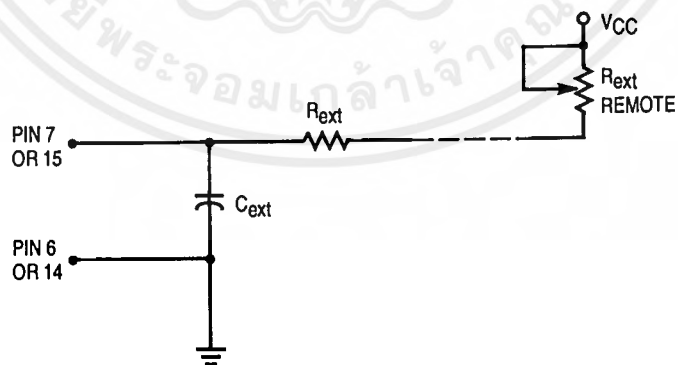


Figure 10. LS123 Remote Trimming Circuit

## SN54/74LS122 • SN54/74LS123

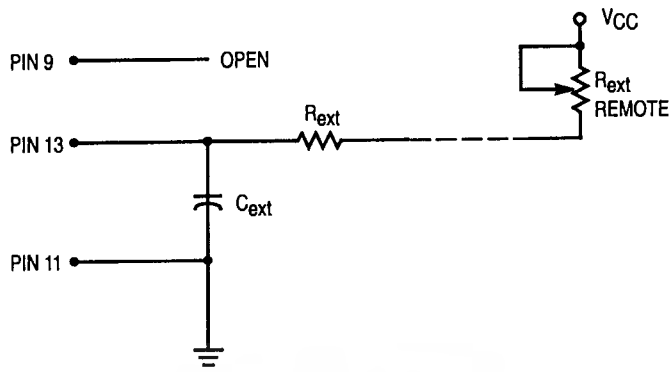


Figure 11. LS122 Remote Trimming Circuit Without  $R_{ext}$

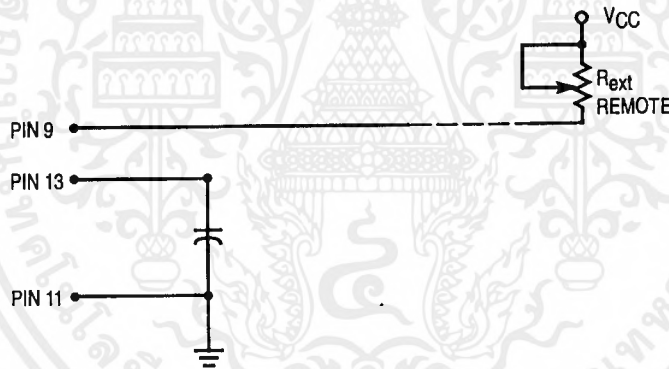


Figure 12. LS122 Remote Trimming Circuit with  $R_{int}$

## CMOS Quad Bilateral Switch

December 1992

### Features

- For Transmission or Multiplexing of Analog or Digital Signals
- High Voltage Types (20V Rating)
- 15V Digital or  $\pm 7.5V$  Peak-to-Peak Switching
- 125 $\Omega$  Typical On-State Resistance for 15V Operation
- Switch On-State Resistance Matched to Within 5 $\Omega$  Over 15V Signal Input Range
- On-State Resistance Flat Over Full Peak-to-Peak Signal Range
- High On/Off Output Voltage Ratio
  - 80dB Typ. at FIS = 10kHz, RL = 1k $\Omega$
- High Degree of Linearity: <0.5% Distortion Typ. at FIS = 1kHz, VIS = 5Vp-p, VDD - VSS  $\geq$  10V, RL = 10k $\Omega$
- Extremely Low Off-State Switch Leakage Resulting in Very Low Offset Current and High Effective Off-State Resistance: 10pA Typ. at VDD - VSS = 10V, TA = +25 $^{\circ}C$
- Extremely High Control Input Impedance (Control Circuit Isolated from Signal Circuit): 10<sup>12</sup> $\Omega$  Typ.
- Low Crosstalk Between Switches: -50dB Typ. at FIS = 8MHz, RL = 1k $\Omega$
- Matched Control Input to Signal Output Capacitance: Reduces Output Signal Transients
- Frequency Response, Switch on = 40MHz (Typ.)
- 100% Tested for Quiescent Current at 20V
- 5V, 10V and 15V Parametric Ratings
- Meets All Requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of "B" Series CMOS Devices"

### Applications

- Analog Signal Switching/Multiplexing
  - Signal Gating - Modulator
  - Squelch Control - Demodulator
  - Chopper - Commutating Switch
- Digital Signal Switching/Multiplexing
- Transmission Gate Logic Implementation
- Analog to Digital & Digital to Analog Conversion
- Digital Control of Frequency, Impedance, Phase, and Analog Signal Gain

### Description

CD4066BMS is a quad bilateral switch intended for the transmission or multiplexing of analog or digital signals. It is pin for pin compatible with CD4016B, but exhibits a much lower on state resistance. In addition, the on-state resistance is relatively constant over the full input signal range.

The CD4066BMS consists of four independent bilateral switches. A single control signal is required per switch. Both the p and the n device in a given switch are biased on or off simultaneously by the control signal. As shown in Figure 1, the well of the n channel device on each switch is either tied to the input when the switch is on or to VSS when the switch is off. This configuration eliminates the variation of the switch transistor threshold voltage with input signal, and thus keeps the on-state resistance low over the full operating signal range.

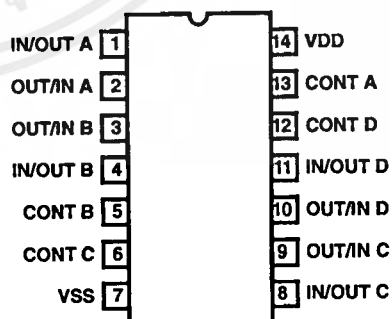
The advantages over single channel switches include peak input signal voltage swings equal to the full supply voltage, and more constant on-state impedance over the input signal range. For sample and hold applications, however, the CD4016B is recommended.

The CD4066BMS is supplied in these 14-lead outline packages:

Braze Seal DIP	H4Q
Frit Seal DIP	H1B
Ceramic Flatpack	H3W

### Pinout

CD4066BMS  
TOP VIEW



# Specifications CD4066BMS

## Absolute Maximum Ratings

DC Supply Voltage Range, (VDD) ..... -0.5V to +20V  
 (Voltage Referenced to VSS Terminals)  
 Input Voltage Range, All Inputs ..... -0.5V to VDD +0.5V  
 DC Input Current, Any One Input ..... ±10mA  
 Operating Temperature Range ..... -55°C to +125°C  
 Package Types D, F, K, H  
 Storage Temperature Range (TSTG) ..... -65°C to +150°C  
 Lead Temperature (During Soldering) ..... +265°C  
 At Distance 1/16 ± 1/32 Inch (1.59mm ± 0.79mm) from case for  
 10s Maximum

## Reliability Information

Thermal Resistance .....  $\theta_{ja}$   $\theta_{jc}$   
 Ceramic DIP and FRIT Package ..... 80°C/W 20°C/W  
 Flatpack Package ..... 70°C/W 20°C/W  
 Maximum Package Power Dissipation (PD) at +125°C  
 For TA = -55°C to +100°C (Package Type D, F, K) ..... 500mW  
 For TA = +100°C to +125°C (Package Type D, F, K) ..... Derate  
 Linearity at 12mW/°C to 200mW  
 Device Dissipation per Output Transistor ..... 100mW  
 For TA = Full Package Temperature Range (All Package Types)  
 Junction Temperature ..... +175°C

**TABLE 1. DC ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS (NOTE 1)	GROUP A SUBGROUPS	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS	
					MIN	MAX		
Supply Current	IDD	VDD = 20V, VIN = VDD or GND	1	+25°C	-	0.5	µA	
			2	+125°C	-	50	µA	
		VDD = 18V, VIN = VDD or GND	3	-55°C	-	0.5	µA	
Input Leakage Current	IIL	VC = VDD or GND	1	+25°C	-100	-	nA	
			2	+125°C	-1000	-	nA	
			3	-55°C	-100	-	nA	
Input Leakage Current	IIH	VC = VDD or GND	1	+25°C	-	100	nA	
			2	+125°C	-	1000	nA	
			3	-55°C	-	100	nA	
Input/Output Leakage Current (Switch OFF)	IOZL	VC = 0V, VIS = 18V, VOS = 0V, VIS = 0V, VOS = 18V	VDD = 20	1	+25°C	-100	-	nA
			2	+125°C	-1000	-	nA	
			VDD = 18V	3	-55°C	-100	-	nA
	IOZH		VDD = 20	1	+25°C	-	100	nA
			2	+125°C	-	1000	nA	
			VDD = 18V	3	-55°C	-	100	nA
On Resistance	RON5	VC = VDD, RL = 10kΩ returned to VDD - VSS/2	VDD = 5V	1	+25°C	1050	-	Ω
	RON10		VDD = 10V	1	+25°C	400	-	Ω
	RON15		VDD = 15V	1	+25°C	240	-	Ω
On Resistance	RON5	VDD = 5V	1, 2	+125°C	-	1300	Ω	
				-55°C	-	800	Ω	
On Resistance	RON10	VDD = 10V	1, 2	+125°C	-	550	Ω	
				-55°C	-	310	Ω	
On Resistance	RON15	VDD = 15V	1, 2	+125°C	-	320	Ω	
				-55°C	-	220	Ω	
Functional (Note 3)	F	VDD = 2.8V, VIN = VDD or GND	7	+25°C	VOH > VDD/2	VOL < VDD/2	V	
		VDD = 20V, VIN = VDD or GND	7	+25°C				
		VDD = 18V, VIN = VDD or GND	8A	+125°C				
		VDD = 3V, VIN = VDD or GND	8B	-55°C				
Switch Threshold RL = 100k to VDD	SWTHRHS	VDD = 5V, VC = 1.5V, VIS = GND	1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	4.1	-	V	
	SWTHRHS15	VDD = 15V, VC = 2V, VIS = GND	1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	14.1	-	V	
Threshold Voltage	VNTH	VDD = 10V, ISS = -10µA	1	+25°C	-2.8	-0.7	V	
Threshold Voltage	VPTH	VSS = 0V, IDD = 10µA	1	+25°C	0.7	2.8	V	

# Specifications CD4066BMS

**TABLE 1. DC ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS (NOTE 1)	GROUP A SUBGROUPS	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
					MIN	MAX	
Control Input Low Voltage (Note 2) $I_{IIS1} < 10\mu A$ , $V_{IS} = V_{SS}$ , $V_{OS} = V_{DD}$ and $V_{IS} = V_{DD}$ , $V_{OS} = V_{SS}$	VILC5	VDD = 5V	1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	-	1	V
	VILC15	VDD = 15V	1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	-	2	V
Control Input High Voltage (Note 2, Figure 2) $V_{IS} = V_{SS}$ and $V_{IS} = V_{DD}$	VIHC	VDD = 5V, $I_{IIS1} = .51mA$ , 4.6V < VOS < 0.4V	1	+25°C	3.5	-	V
		VDD = 5V, $I_{IIS1} = .36mA$ , 4.6V < VOS < 0.4V	2	+125°C	3.5	-	V
		VDD = 5V, $I_{IIS1} = .64mA$ , 4.6V < VOS < 0.4V	3	-55°C	3.5	-	V
	VIHC	VDD = 15V, $I_{IIS1} = 3.4mA$ , 13.5V < VOS < 1.5V	1	+25°C	11	-	V
		VDD = 15V, $I_{IIS1} = 2.4mA$ , 13.5V < VOS < 1.5V	2	+125°C	11	-	V
		VDD = 15V, $I_{IIS1} = 4.2mA$ , 13.5V < VOS < 1.5V	3	-55°C	11	-	V

NOTES: 1. All voltages referenced to device GND, 100% testing being implemented.  
 2. Go/No Go test with limits applied to inputs.  
 3. VDD = 2.8V/3.0V, RL = 100K to VDD  
 VDD = 20V/18V, RL = 10K to VDD

**TABLE 2. AC ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	GROUP A SUBGROUPS	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
					MIN	MAX	
Propagation Delay Signal Input to Signal Output	TPLH TPHL	VC = VDD = 5V, VSS = GND (Notes 2, 3)	9	+25°C	-	40	ns
			10, 11	+125°C, -55°C	-	54	ns
Propagation Delay Turn-On, Turn-Off	TPHZ/ZH TPLZ/ZL	VIS = VDD = 5V (Notes 1, 2)	9	+25°C	-	70	ns
			10, 11	+125°C, -55°C	-	95	ns

NOTES:  
 1. CL = 50pF, RL = 1K, Input TR, TF < 20ns.  
 2. -55°C and +125°C limits guaranteed, 100% testing being implemented.  
 3. CL = 50pF, RL = 200K, Input TR, TF < 20ns.

**TABLE 3. ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	NOTES	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
					MIN	MAX	
Supply Current	IDD	VDD = 5V, VIN = VDD or GND	1, 2	-55°C, +25°C	-	0.25	μA
				+125°C	-	7.5	μA
		VDD = 10V, VIN = VDD or GND	1, 2	-55°C, +25°C	-	0.5	μA
				+125°C	-	15	μA
		VDD = 15V, VIN = VDD or GND	1, 2	-55°C, +25°C	-	0.5	μA
				+125°C	-	30	μA
Control Input Low Voltage $I_{IIS1} < 10\mu A$ , $V_{IS} = V_{SS}$ , $V_{OS} = V_{DD}$ and $V_{IS} = V_{DD}$ , $V_{OS} = V_{SS}$	VILC10	VDD = 10V	1, 2	+25°C, +125°C, -55°C	-	2	V

## Specifications CD4066BMS

**TABLE 3. ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Continued)**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	NOTES	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
					MIN	MAX	
Control Input High Voltage (See Figure 2)	VIHC10	VDD = 10V, VIS = VDD or GND	2	+25°C, +125°C, -55°C	7	-	V
Propagation Delay Signal Input to Signal Output	TPLH	VDD = 10V	1, 2, 3	+25°C	-	20	ns
	TPHL	VDD = 15V	1, 2, 3	+25°C	-	15	ns
Propagation Delay Turn-On, Turn-Off	TPHZ/ZH	VDD = 10V	1, 2, 3	+25°C	-	40	ns
	TPLZ/ZL	VDD = 15V	1, 2, 3	+25°C	-	30	ns
Input Capacitance	CIN	Any Input	1, 2	+25°C	-	7.5	pF

**NOTES:**

1. All voltages referenced to device GND.
2. The parameters listed on Table 3 are controlled via design or process and are not directly tested. These parameters are characterized on initial design release and upon design changes which would affect these characteristics.
3. CL = 50pF, RL = 200K, Input TR, TF < 20ns.

**TABLE 4. POST IRRADIATION ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	NOTES	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
					MIN	MAX	
Supply Current	IDD	VDD = 20V, VIN = VDD or GND	1, 4	+25°C	-	25	μA
N Threshold Voltage	VNTH	VDD = 10V, ISS = -10μA	1, 4	+25°C	-2.8	-0.2	V
N Threshold Voltage Delta	ΔVTN	VDD = 10V, ISS = -10μA	1, 4	+25°C	-	±1	V
P Threshold Voltage	VTP	VSS = 0V, IDD = 10μA	1, 4	+25°C	0.2	2.8	V
P Threshold Voltage Delta	ΔVTP	VSS = 0V, IDD = 10μA	1, 4	+25°C	-	±1	V
Functional	F	VDD = 18V, VIN = VDD or GND	1	+25°C	VOH > VDD/2	VOL < VDD/2	V
		VDD = 3V, VIN = VDD or GND					
Propagation Delay Time	TPHL	VDD = 5V	1, 2, 3, 4	+25°C	-	1.35 x +25°C Limit	ns
	TPLH						

- NOTES: 1. All voltages referenced to device GND. 2. CL = 50pF, RL = 200K, Input TR, TF < 20ns. 3. See Table 2 for +25°C limit. 4. Read and Record

**TABLE 5. BURN-IN AND LIFE TEST DELTA PARAMETERS +25°C**

PARAMETER	SYMBOL	DELTA LIMIT
Supply Current - SSI	IDD	±0.1μA
ON Resistance	RONDEL10	± 20% x Pre-Test Reading

**TABLE 6. APPLICABLE SUBGROUPS**

CONFORMANCE GROUP	MIL-STD-883 METHOD	GROUP A SUBGROUPS	READ AND RECORD
Initial Test (Pre Burn-In)	100% 5004	1, 7, 9	IDD, IOL5, IOH5A, RONDEL10
Interim Test 1 (Post Burn-In)	100% 5004	1, 7, 9	IDD, IOL5, IOH5A, RONDEL10
Interim Test 2 (Post Burn-In)	100% 5004	1, 7, 9	IDD, IOL5, IOH5A, RONDEL10
PDA (Note 1)	100% 5004	1, 7, 9, Deltas	
Interim Test 3 (Post Burn-In)	100% 5004	1, 7, 9	IDD, IOL5, IOH5A, RONDEL10
PDA (Note 1)	100% 5004	1, 7, 9, Deltas	

# Specifications CD4066BMS

**TABLE 6. APPLICABLE SUBGROUPS (Continued)**

CONFORMANCE GROUP		MIL-STD-883 METHOD	GROUP A SUBGROUPS	READ AND RECORD
Final Test		100% 5004	2, 3, 8A, 8B, 10, 11	
Group A		Sample 5005	1, 2, 3, 7, 8A, 8B, 9, 10, 11	
Group B	Subgroup B-5	Sample 5005	1, 2, 3, 7, 8A, 8B, 9, 10, 11, Deltas	Subgroups 1, 2, 3, 9, 10, 11
	Subgroup B-6	Sample 5005	1, 7, 9	
Group D		Sample 5005	1, 2, 3, 8A, 8B, 9	Subgroups 1, 2, 3

NOTE: 1. 5% Parametric, 3% Functional; Cumulative for Static 1 and 2.

**TABLE 7. TOTAL DOSE IRRADIATION**

CONFORMANCE GROUPS	MIL-STD-883 METHOD	TEST		READ AND RECORD	
		PRE-IRRAD	POST-IRRAD	PRE-IRRAD	POST-IRRAD
Group E Subgroup 2	5005	1, 7, 9	Table 4	1, 9	Table 4

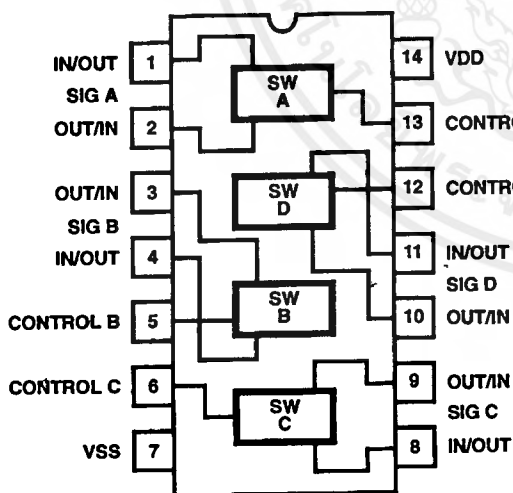
**TABLE 8. BURN-IN AND IRRADIATION TEST CONNECTIONS**

FUNCTION	OPEN	GROUND	VDD	9V ± -0.5V	OSCILLATOR	
					50kHz	25kHz
Static Burn-In 1 (Note 1)	2, 3, 9, 10	1, 4-8, 11-13	14			
Static Burn-In 2 (Note 1)	2, 3, 9, 10	7	1, 4-6, 8, 11-14			
Dynamic Burn-In (Note 1)	-	7	14	2, 3, 9, 10	5, 6, 12, 13	1, 4, 8, 11
Irradiation (Note 2)	2, 3, 9, 10	7	1, 4-6, 8, 11-14			

NOTE:

1. Each pin except VDD and GND will have a series resistor of  $10K \pm 5\%$ ,  $VDD = 18V \pm 0.5V$
2. Each pin except VDD and GND will have a series resistor of  $47K \pm 5\%$ ; Group E, Subgroup 2, sample size is 4 dice/wafer, 0 failures,  $VDD = 10V \pm 0.5V$

## Functional Diagram

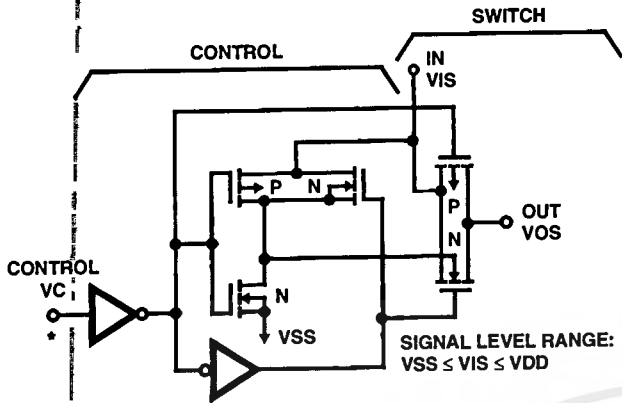


TRUTH TABLE EACH SWITCH		
INPUT		OUTPUT
VC	VIS	VOS
1	0	0
1	1	1
0	0	Open
0	1	Open

Positive Logic: Switch ON VC = "1"  
Switch OFF VC = "0"

# CD4066BMS

## Schematic



NORMAL OPERATION CONTROL  
LINE BIASING:  
SWITCH ON, VC "1" = VDD  
SWITCH OFF, VC "0" = VSS

\* ALL CONTROL INPUTS ARE PROTECTED BY THE CMOS PROTECTION NETWORK

NOTE:  
All "P" Substrates  
Connected to VDD

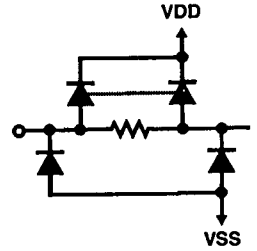


FIGURE 1. SCHEMATIC DIAGRAM OF 1 OF 4 IDENTICAL SWITCHES AND ITS ASSOCIATED CONTROL CIRCUITRY

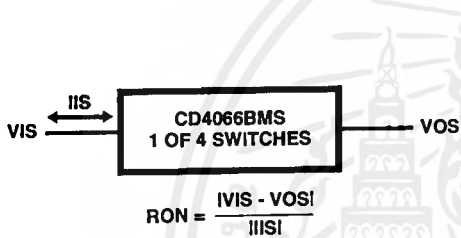


FIGURE 2. DETERMINATION OF RON AS A TEST CONDITION FOR CONTROL INPUT HIGH VOLTAGE (VIHC) SPECIFICATION

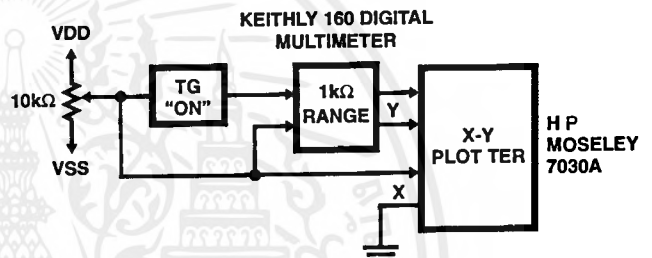


FIGURE 3. CHANNEL ON-STATE RESISTANCE MEASUREMENT CIRCUIT

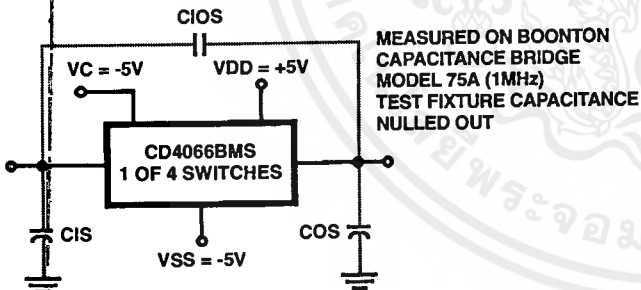


FIGURE 4. CAPACITANCE TEST CIRCUIT

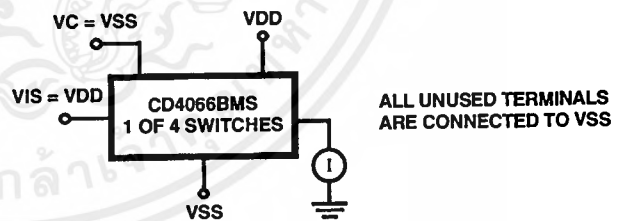


FIGURE 5. OFF SWITCH INPUT OR OUTPUT LEAKAGE

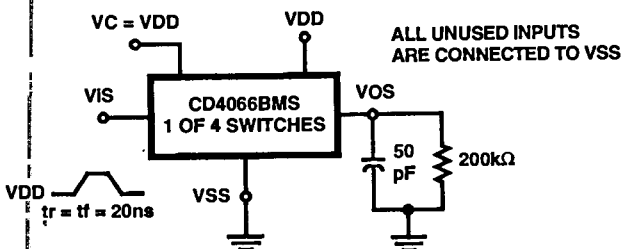


FIGURE 6. PROPAGATION DELAY TIME SIGNAL INPUT (VIS) TO SIGNAL OUTPUT (VOS)

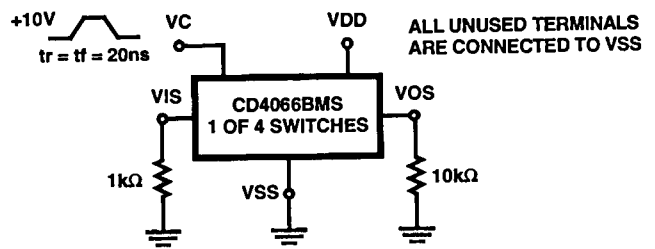


FIGURE 7. CROSTALK CONTROL INPUT TO SIGNAL OUTPUT

### 3.1.2. Coin validator module

The electronic validator in ROTOR 1 PLUS is able to validate up to 6 different coins according to the following parameters:

- diameter;
- alloy content;
- thickness.

The coin set programmed is stored in the PROM and comprises following coins:

- 1 Baht
- 5 Baht
- 10 Baht

For following description, please refer to the block diagram in fig. 3.1.2.

The validator is essentially composed of three oscillators HF2, LF and HF1 which oscillate, in absence of coins, at the so called "free" frequency. The latter is in the range of high frequencies for HF2 and HF1 (typically from 500 KHz and 1.500 KHz) and in the range of the low low frequency for LF oscillator 80 to 200 KHz). The oscillators are connected to the three inductive sensors mounted where the coin passes.

When the coin passes the runway (which is inclined at 10 degrees in order to improve the adherence), it makes the free frequency of the oscillator change and the shift will be measured by a CMOS LSI control circuit and by a PROM.

The function of the LSI is essentially to compare the frequency shift, measured for each oscillator, with preprogrammable limits in PROM (these limits are established after statistical sampling of a large number of coins).

The result of such an operation is the validation or the rejection of a coin.

After validation the "Type of Coin" is brought out on one of the six codes denominated A, B, C, D, E, F, while the signal "validated" (which enables the logic) is given on the "Accept" code.

When the ROTOR 1 PLUS is on-hook, the validator is switched off, and if a coin is introduced, it will be directly returned.

In order to consume less power, the validator goes into "standby mode" when there are no coins being validated. Only the HF2 sensor, and the LSI circuitry are active.

When a coin is inserted into the ROTOR 1 PLUS, the LSI control circuit will send a signal to the Power-up logic. This activates two oscillators HF1 and LF to validate coins.

The LSI control circuit measures the frequency shift as the coin passes.

As a result of the use of high frequencies, the oscillators HF1 and HF2, and the LSI circuit can measure the characteristics of the coin. The effective depth of penetration of the electromagnetic waves is dependent on the conductivity of the coin material. This is known as the "SKIN EFFECT".

The frequency of the LF oscillator, however, is very low, enough to permit the electromagnetic wave to go into the material. Thus the measurement will not be influenced by the SKIN EFFECT but by the conductivity and the permeability of the material.

As the frequency is low, the frequency shift cannot directly be measured. In this case the signal coming out from the LF oscillator is amplified and rectified and squared. At the output of this circuit there

will be an analogue signal which is proportional to the amplitude of the oscillation.

A V/F circuit will convert this signal into a frequency which will then be analyzed.

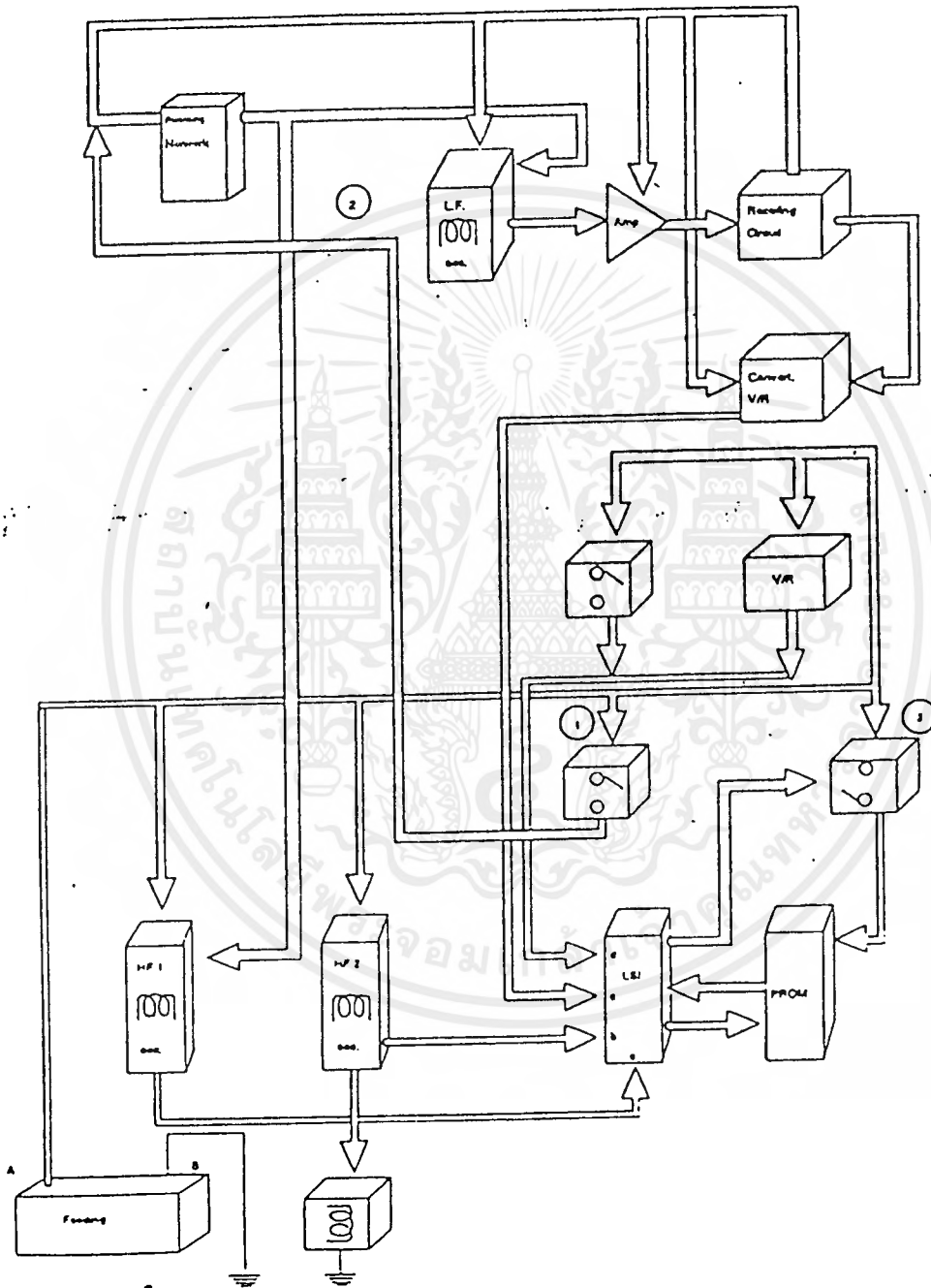
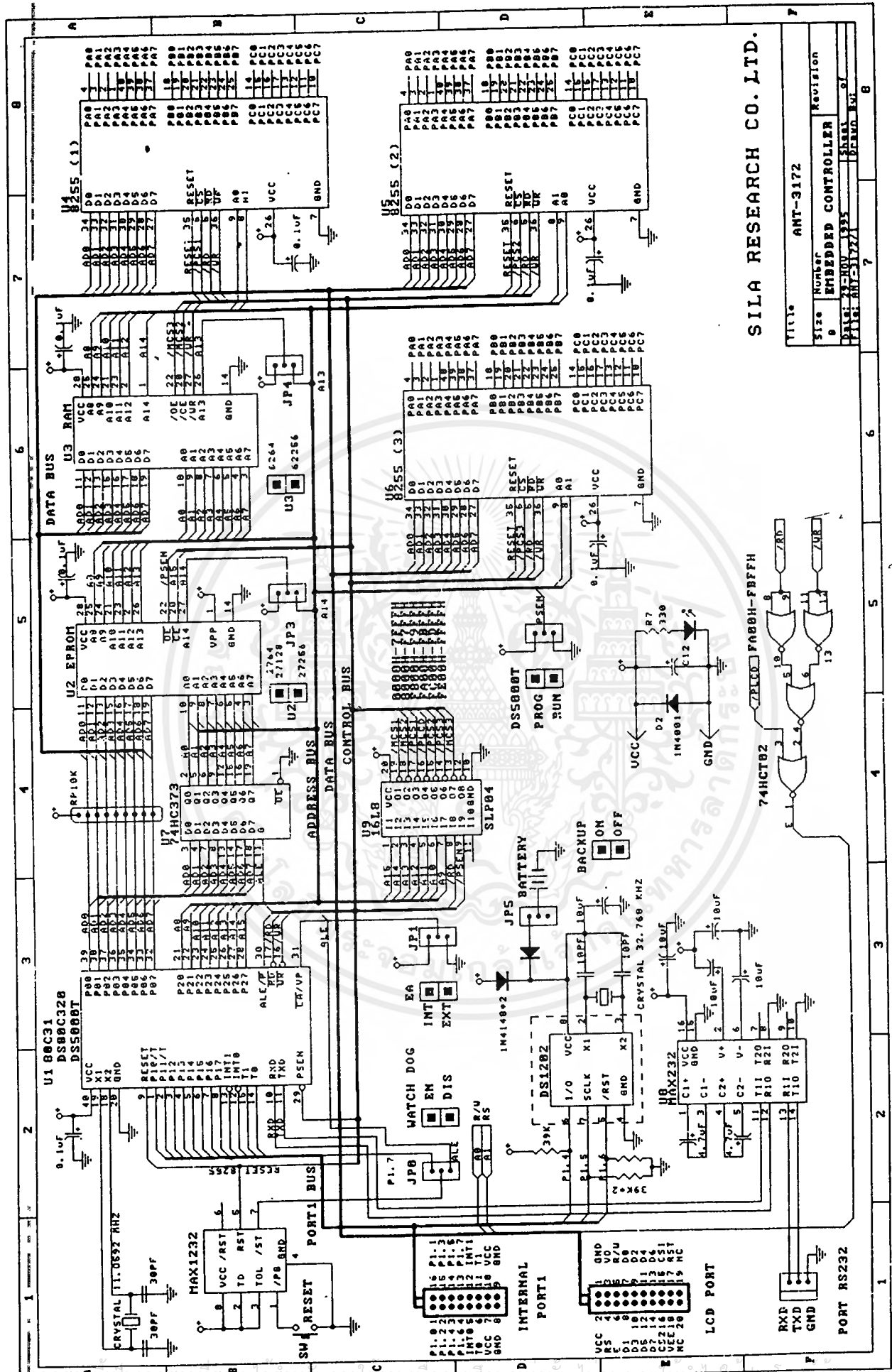
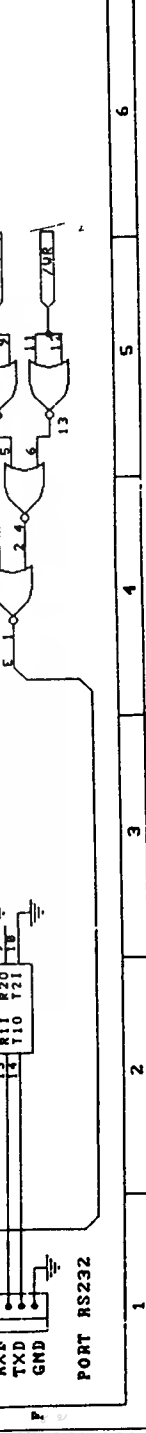


Fig. 3.1.2 - Validator -



SILA RESEARCH CO. LTD.

Size	Number	Revision
9	EMBEDDED CONTROLLER	
DATE:	23-MAY-1995	Sheet 9/
FILE:	ANT-3172	PC-BRD 5/1



## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานิพนธ์แลโครงการครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี เพราะได้รับการแนะนำข้อมูลเกี่ยวกับการดำเนินงาน การออกแบบและสร้างวงจร การเขียนโปรแกรม เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนความช่วยเหลือทั้งในด้านทุนทรัพย์ แรงงาน และ กำลังใจ จากบุคคลซึ่งมีรายนามดังต่อไปนี้

1. รศ. สมยศ จุณณะปิยะ ( อาจารย์ที่ปรึกษา )
2. นาย ทนง เชยกลิ่น
3. นาง สุนทรา เชยกลิ่น
4. นาย วิชญา เชยกลิ่น
5. นาย คุณากร วิจิตรสมบัติ
6. นาย ทวีชัย สุขเกษมรุ่งเรือง
7. นาย ขจรศักดิ์ กุศลภินันท์
8. นาย กรินทร์ กาญจนานนท์
9. นาย คณิศร อติสรศุภวัฒน์
10. นาย กิตติ นุญประธาน
11. นางสาว หัสนา พงษ์เกษมวิวัฒน์
12. นาย รักพงษ์ ภูริวิทยาธิระ
13. นางสาว พรลดา นาคะเกษ

ทางกลุ่มผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงในความช่วยเหลือครั้งนี้ ซึ่งส่งผลให้โครงการนี้สำเร็จ  
ดูล่วงไปได้ด้วยดี

นายกาญจนสิทธิ์ โภคพล  
นายทศิพล เชยกลิ่น

## บรรณานุกรม

- [1] รศ. สมยศ จุณณะปิยะ , “การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51” , กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 1994
- [2] ศุนทร วิทูสุนทรพจน์ , “การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051” , กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ซีเอ็ด ยูเคชั่น , 1994
- [3] รศ. กฤษดา วิศวธีรานนท์ , “เรียน/เล่น/ใช้ ไอซีดิจิตอล” , กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น , 1994
- [4] DOUGLAS V. HALL , “MICROPROCESSORS AND INTERFACING ” , SINGAPORE : MCGRAW-HILL , 1992

