



ปีการศึกษา 2532

เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอัตโนมัติ
(AUTOMATIC WEIGHT BALANCE)



รศ.ดร.โซอิน เปรมปราณีรัชต์

๕/๑

ปริญญาโทปีการศึกษา 2532

ภาควิชา ระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอัตโนมัติ (AUTOMATIC WEIGHT BALANCE)

ผู้จัดทำ

1. นาย ฐานันดร ธราภพ รหัส 291050
2. นาย บุญประเสริฐ ศิริชากวัฒน์ รหัส 291094



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัตน์)

เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอัตโนมัติ

บุญประเสริฐ ตรีธชาภิวัฒน์

ฐานันดร ธราภ

รศ.ดร.โยธิน เปรมปราณีรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอัตโนมัติ เป็นเครื่องชั่งน้ำหนักประเภทหนึ่งที่มีอาศัยหลักการสมดุลของคานมาใช้ในการชั่งน้ำหนักของวัตถุที่เราไม่ทราบค่า เกี่ยวกับน้ำหนักของวัตถุมาตรฐานที่เราชั่งค่าน้ำหนักแล้ว เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอัตโนมัติประกอบด้วยคานซึ่งเป็นตัวรับน้ำหนัก, สเต็ปปีงมอเตอร์ (STEPPING MOTOR) ซึ่งเป็นตัวเลื่อนน้ำหนักไปมาบนคานเพื่อหาโมเมนต์ (MOMENT), ออปโต อินเตอร์รัพเตอร์ โมดูล (OPTO INTERRUPTER MODULE) เป็นตัวตรวจจับความสมดุลของคาน โดยมีไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 ทำหน้าที่เป็นตัวอินพุทคอลโทรลเลอร์ (INPUT CONTROLLER) และซีควนเซอร์ (SEQUENCER) ใ้กับสเต็ปปีงมอเตอร์ สัญญาณตรวจจับความสมดุลที่ส่งจากออปโต อินเตอร์รัพเตอร์ โมดูลจะถูกอ่านเข้ามาให้กับไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อใช้ในการคำนวณหรือทฤษฎีคานสเต็ปปีงมอเตอร์ การทวนของสเต็ปปีงมอเตอร์แต่ละครั้งจะถูกบันทึกไว้เพื่อที่จะนำค่านี้ไปเป็นข้อมูลให้กับไมโครโปรเซสเซอร์นำไปใช้ในการคำนวณค่าน้ำหนักที่ได้จากการเปรียบเทียบกับโมเมนต์อีกด้วย โดยจะแสดงผลออกมามากทางหน่วยแสดงผล 7 ส่วน (7-SEGMENTS) บนน้ำหนักหน่วยเป็นกรัม

AUTOMATIC WEIGHT BALANCE

THANANDORN TARAOB

BOONPRASERID TREERAYAPIWAT

ASSOCIATE PROFESSOR YOTHIN PREMPRANEERACH. ADVISOR

1989

ABSTRACT

AUTOMATIC WEIGHT BALANCE IS A SIMPLE WEIGHTER THAT USED PRINCIPLE OF BALANCE ON A BEAM. IT COMPARES BETWEEN A WEIGHT OF AN UNKNOWN MASS AND A STANDARD MASS THAT KNOWS ITS WEIGHT. AUTOMATIC WEIGHT BALANCE IS COMPOSED OF A BEAM TO TAKE ALL LOAD, A STEPPING MOTOR TO SLIDE THE STANDARD MASS ALONG THE BEAM TO FIND MOMENT, OPTO INTERRUPTER MODULE TO DETECT BALANCE WHILE USED Z-80 MICROPROCESSOR AS AN INPUT CONTROLLER AND SEQUENCER FOR STEPPING MOTOR. DETECTED SIGNAL FROM OPTO INTERRUPTER MODULE IS SENT TO MICROPROCESSOR TO CHECK THE CONDITION FOR START OR STOP STEPPING MOTOR. EACH STEP OF EXCITING STEPPING MOTOR IS RECORDED AND USED TO BE DATA FOR MICROPROCESSOR TO CALCULATE THE WEIGHT OF MASS BY TAKE MOMENT. FINALLY DISPLAY RESULT BY 7-SEGMENTS IN GRAM.

เรื่อง	หน้า
สารบัญรูปภาพ	1
สารบัญตาราง	3
1. บทนำ	4
2. บาลานซ์ และ เวกเตอร์ (BALANCES AND WEIGHERS)	7
2.1 อนุบาลติกัล บาลานซ์ (ANALYTICAL BALANCE)	7
2.2 ความผิดพลาดในการวัดน้ำหนัก	9
2.3 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบสตีลชาร์ด	11
3. บททั่วไปเกี่ยวกับสเต็ปปีงมอเตอร์ (OUT LINE OF MODERN STEPPING MOTORS)	12
3.1 การควบคุมแบบลูปเปิด (OPEN-LOOP CONTROL SYSTEMS)	12
3.1.1 การติดตั้งระบบ (SYSTEM CONFIGURATION)	12
3.1.2 สเต็ปและอินครีเมนต์ (STEP AND INCREMENT)	14
3.1.3 คุณสมบัติเด่นของสเต็ปปีงมอเตอร์เมื่อพิจารณาจากลักษณะ การใช้งาน	15
3.2 การแบ่งประเภทของสเต็ปปีงมอเตอร์	19
3.3 โหมด (MODE) ของการกระตุ้น	24
3.3.1 การกระตุ้นแบบเฟสเดียว (SINGLE-PHASE EXCITATION)	24
3.3.2 การกระตุ้นแบบ 2 เฟส (TWO-PHASE EXCITATION)	25
3.3.3 การกระตุ้นแบบฮาล์ฟสเต็ป (HALF-STEP EXCITATION)	25
3.4 ข้อกำหนดคุณลักษณะของสเต็ปปีงมอเตอร์	27
3.4.1 คุณลักษณะทางสแตติก	27
3.4.2 คุณสมบัติทางไดนามิก	29
3.5 วงจรขับมอเตอร์ (DRIVES CIRCUITS)	30
4. ออปโต อินเตอร์รัพเตอร์ โมดูล	33
4.1 ลักษณะทั่วไป	33
4.2 การนำไปใช้งาน	33
4.3 วงจรที่ใช้ตรวจรับสัญญาณจากอินฟราเรด ออปติกัล อินเตอร์รัพเตอร์ (INFRARED OPTICAL INTERRUPTER)	33
4.4 ซอติ์ของออปโต อินเตอร์รัพเตอร์ โมดูล	34

<u>เรื่อง</u>	<u>หน้า</u>
5. ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน	
5.1 ส่วนกำหนดค่าเริ่มต้นให้แก่รีจิสเตอร์ (SET UP REGISTER)	38
5.2 การกำหนดพอร์ตให้กับ Z-80 PIO	38
5.3 การตรวจสอบความสมดุล	39
5.4 การกระตุ้นขดลวดของมอเตอร์	40
5.5 ส่วนแสดงผล	40
6. การทดลอง	41
6.1 กาน	41
6.2 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม	41
6.2.1 สูตรหลักที่ใช้ในการคำนวณค่าน้ำหนัก	41
6.2.2 การจำกัดการเคลื่อนที่ของน้ำหนักมาตรฐาน	41
7. ผลการทดสอบและบทสรุป	42
7.1 ความผิดพลาด	42
7.2 ข้อจำกัดในการแสดงผลทางหน่วยแสดงผล 7 ส่วน	42
7.3 การปิดแยกทศนิยม	42
7.4 ส่วนอื่นๆ	43
ภาคผนวก (A) : SOURCE LISTING PROGRAM	
ภาคผนวก (B) : SPEC. SHEET	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

สารบัญรูปภาพ

	<u>รูป</u>	<u>หน้า</u>
<u>รูปที่ 1.1</u>	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบกลาลานซ์	4
<u>รูปที่ 1.2</u>	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอัตโนมัติ	5
<u>รูปที่ 1.3</u>	บล็อกไดอะแกรมของเครื่องชั่งน้ำหนักแบบอัตโนมัติ	6
<u>รูปที่ 2.1</u>	รูปแสดงค่าตัวแปรทางกายภาพต่างๆ เมื่อคานไม่อยู่ในสมดุล	8
<u>รูปที่ 2.2</u>	รูปแสดงการทาค่าความไวของคานเมื่อจุด C.6. ของคานเปลี่ยนไป	9
<u>รูปที่ 2.3</u>	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบสตีลชาร์ด	11
<u>รูปที่ 3.1</u>	เครื่องเจาะกระดาษ	12
<u>รูปที่ 3.2</u>	บล็อกไดอะแกรมของระบบส่งกระดาษ	13
<u>รูปที่ 3.3</u>	ลำดับการกระตุ้นจากซีคอนเวอเตอร์กับทิศทางการหมุนของสเต็ปมอเตอร์	13
<u>รูปที่ 3.4</u>	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของโรเตอร์และพัลส์ที่ป้อนให้กับลอจิกซีคอนเวอเตอร์เมื่อมีการกระตุ้น 1 สเต็ปต่อการเคลื่อนที่ 1 ครั้ง	14
<u>รูปที่ 3.5</u>	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของโรเตอร์และพัลส์ที่ป้อนให้กับลอจิกซีคอนเวอเตอร์เมื่อมีการกระตุ้น 2 และ 3 สเต็ปต่อการเคลื่อนที่ 1 ครั้ง	15
<u>รูปที่ 3.6</u>	เครื่องอ่านสายเทป	16
<u>รูปที่ 3.7</u>	วงล้อตัวอักษรที่ใช้กับเครื่องพริ้นเตอร์หรือเครื่องพิมพ์ดีด	16
<u>รูปที่ 3.8</u>	โครงสร้างภายในของวีอาร์-มอเตอร์	20
<u>รูปที่ 3.9</u>	ภาพตัดขวางของวีอาร์-มอเตอร์ชนิด 3 เฟส	20
<u>รูปที่ 3.10</u>	ตำแหน่งสมดุลเมื่อเฟสที่ 1 ของมอเตอร์ถูกกระตุ้น	21
<u>รูปที่ 3.11</u>	เส้นแสดงสนามแม่เหล็กที่สร้างแรงบิด	21
<u>รูปที่ 3.12</u>	การเคลื่อนที่เมื่อมีการสวิตช์การกระตุ้นจากเฟส 1 ไปเฟส 2	22
<u>รูปที่ 3.13</u>	การเคลื่อนที่เมื่อมีการสวิตช์การกระตุ้นอย่างต่อเนื่อง	22
<u>รูปที่ 3.14</u>	การเปรียบเทียบเส้นแรงแม่เหล็กในช่องอากาศที่กว้างและแคบ	22
<u>รูปที่ 3.15</u>	ภาพตัดขวางของวีอาร์-มอเตอร์ 15 องศาต่อสเต็ป (a) มอเตอร์ 3 เฟส ซีสเตเตอร์ = 12 และซีโรเตอร์ = 8 (b) มอเตอร์ 4 เฟส ซีสเตเตอร์ = 8 และซีโรเตอร์ = 6	23
<u>รูปที่ 3.16</u>	สเตเตอร์และโรเตอร์ของวีอาร์-มอเตอร์ 4 เฟส 7.5 องศาต่อสเต็ป	23
<u>รูปที่ 3.17</u>	โครงสร้างของวีอาร์-มอเตอร์แบบหลายชั้น	24
<u>รูปที่ 3.18</u>	สเตเตอร์และโรเตอร์ของวีอาร์-มอเตอร์แบบ 5 ชั้น	24
<u>รูปที่ 3.19</u>	ความสัมพันธ์ระหว่างซีโรเตอร์และซีสเตเตอร์ในการกระตุ้นแบบ 2 เฟส	26
<u>รูปที่ 3.20</u>	การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กสำหรับการกระตุ้นแบบ 2 เฟส	26

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	<u>รูป</u>	<u>หน้า</u>
	ในวีอาร์-มอเตอร์	26
<u>รูปที่ 3.21</u>	ผลตอบสนองต่อการกระตุ้นแบบ (a) เฟสเดียว (b) 2 เฟส	27
<u>รูปที่ 3.22</u>	การกวัดแกว่งของโรเตอร์ในการกระตุ้นแบบ 2 เฟส	27
<u>รูปที่ 3.23</u>	ลูปปิดของกระแสที่กวัดแกว่ง	27
<u>รูปที่ 3.24</u>	การเปรียบเทียบการขับแบบบุเฟสเดียว แบบสองเฟส และแบบฮาสเต็ป	28
<u>รูปที่ 3.25</u>	กราฟแสดงคุณลักษณะของ T/	29
<u>รูปที่ 3.26</u>	ตัวอย่างของกราฟ T/I	29
	(a) 1.8 องศาต่อสเต็ป 4 เฟส วีอาร์-มอเตอร์	
	(b) 1.8 องศาต่อสเต็ป 4 เฟส ไฮบริดจ์ (HYBRID MOTOR)	
<u>รูปที่ 3.27</u>	คุณสมบัติทางไดนามิก	30
<u>รูปที่ 3.28</u>	วงจรขับ	31
<u>รูปที่ 3.29</u>	การเปรียบเทียบระหว่างวงจรขับเพรสเซอร์ (SUPPRESSOR) แบบต่างๆ	32
<u>รูปที่ 3.30</u>	การลดค่าโทรมคอนสแตนต์ของวงจร	32
<u>รูปที่ 4.1</u>	ลักษณะภายนอกของออปโต อินเตอร์รีเฟเตอร์ โมดูล	33
<u>รูปที่ 4.2</u>	วงจรที่ใช้ตรวจรับสัญญาณจากอินฟราเรด ออปติคัล อินเตอร์รีเฟเตอร์	34
<u>รูปที่ 4.3</u>	รูปแสดงพลของ R กับ C ที่ใช้ป้องกันระหว่างขา 1 กับ 8	35
<u>รูปที่ 5.2</u>	โพล์ชาร์ตแสดงการทำงานของระบบ	37
<u>รูปที่ 5.3</u>	ส่วนประกอบของคอนโทรลเวอร์ชันของ Z-80 P10	39

สารบัญตาราง

	ตาราง	หน้า
<u>ตารางที่ 3.1</u>	ตัวอย่างข้อมูลเพื่อกาไฟฟชีขัสมแนล แอคคูเรซีในวีอาร์-มอเตอร์ 15 องศาต่อสเด็ป	18
<u>ตารางที่ 3.2</u>	ตัวอย่างข้อมูลเพื่อกาสเด็ปไฟฟชีขั เออร์เรอร์ในวีอาร์-มอเตอร์ 15 องศาต่อสเด็ป	19
<u>ตารางที่ 3.3</u>	ลำดับการกระตุ้นแบบเฟส เด็ชวสักรัสมอเตอร์ 3 และ 4 เฟส	25
<u>ตารางที่ 3.4</u>	ลำดับการกระตุ้นแบบ 2 เฟสสักรัสมอเตอร์ 3 และ 4 เฟส	26
<u>ตารางที่ 3.5</u>	ลำดับการกระตุ้นแบบฮาฟสเด็ป	28



1. บทนำ

มวลและแรงนั้นเป็นปริมาณพื้นฐานทางฟิสิกส์ในการวัดทางวิศวกรรมศาสตร์ กล่าวคือ มวลหมายถึงปริมาณของเนื้อสารในวัตถุใดๆ หรืออีกนัยหนึ่งมวลก็คือปริมาณที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติของแรงเฉื่อยในวัตถุใต้นั้นเอง ในระบบ SI นั้น มวลมีหน่วยเป็น "กิโลกรัม" -มวลและแรงนั้นมีความสัมพันธ์กันตามกฎของนิวตัน คือ $F = ma$ ซึ่ง a หมายถึงความเร่งที่มีต่อวัตถุนั้น ส่วน "น้ำหนัก" นั้นเป็นผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุนั้นเมื่อวัตถุนั้นมีความเร่งเท่ากับค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ($g = 9.80665 \text{ ms}^{-2}$) เราสามารถวัดปริมาณน้ำหนักนี้ได้ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า "เวทตั้ง ดีไวซ์" (WEIGHTING DEVICES) ซึ่งใช้สำหรับวัดขนาดของน้ำหนัก แรง หรือแม้กระทั่งแรงบิด (TORQUE) ที่เกิดขึ้นต่อวัตถุได้ การวัดขนาดของน้ำหนักนี้มีกฎเกณฑ์พื้นฐานมาจากการเปรียบเทียบ การเท่ากันของแรงสองแรง การเปรียบเทียบนี้จะกระทำระหว่างแรงที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อมวลมาตรฐาน กับแรงที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อมวลที่เราไม่ทราบค่า

การวัดขนาดของน้ำหนักนั้นโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ การเปรียบเทียบทางตรง กับการเปรียบเทียบทางอ้อม การเปรียบเทียบทางอ้อมนั้นอาศัยตัวแปลงสัญญาณ (TRANSDUCERS) ซึ่งสามารถปรับค่าหรือชดเชยค่าที่เหมาะสมได้ ในขณะที่การเปรียบเทียบทางตรงนั้นอาศัยหลักการสมดุลของคานในการเปรียบเทียบมวลที่ไม่ทราบค่ากับมวลมาตรฐานที่ทราบค่าแล้ว โดยการทำให้คานสมดุล แต่ถ้าคานนั้นไม่เท่ากัน คือมีการทำให้สมดุลผ่านชุดหรือระบบคาน เราจะถือว่าการวัดขนาดของน้ำหนักวิธีนี้เป็น การเปรียบเทียบทางอ้อมซึ่งระบบต้องการการชดเชย (CALIBRATION) ด้วย

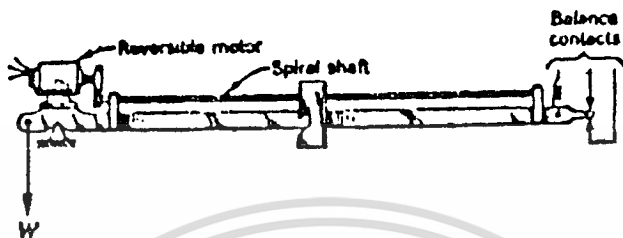


The Balance

รูปที่ 1.1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบบาลานซ์

เครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้หลักการสมดุลของคานนั้น ความเที่ยงตรงในการวัดจะขึ้นอยู่กับความมาตรฐานของน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ และเครื่องชั่งนั้นจะต้องอยู่ในสภาพที่มีความเที่ยงตรงสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จุดพิลครัม (FULCRUM) จะต้องคมและสะอาด ในการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งชนิดนี้ สามารถหาจุดสมดุลของคานได้ 2 วิธี คือ ใช้วิธีเปลี่ยนคัมน้ำหนักมาตรฐานจนคานอยู่ในสมดุล ก็จะทราบน้ำหนักของวัตถุที่เราต้องการทราบน้ำหนักได้ หรืออีกวิธีหนึ่งก็คือการเลื่อนคัมน้ำหนัก

มาตรฐานที่มีค่าคงที่ไปตามคานจนกระทั่งได้สมดุลของคาน เราจะสามารถคำนวณน้ำหนักของวัตถุได้ การเลื่อนตุ้มน้ำหนักมาตรฐานไปมานี้ เราสามารถเลื่อนด้วยมือ หรือจะสร้างวงจรในการเลื่อนตุ้มน้ำหนักนี้โดยอัตโนมัติก็ได้ ซึ่งเราจะเรียกเครื่องซึ่งประเภทหลังสุดนี้ว่า "เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอัตโนมัติ" (AUTOMATIC WEIGHT BALANCE) ซึ่งมีโครงสร้างแบบง่ายดังรูป



The Automatic Balance in Principle

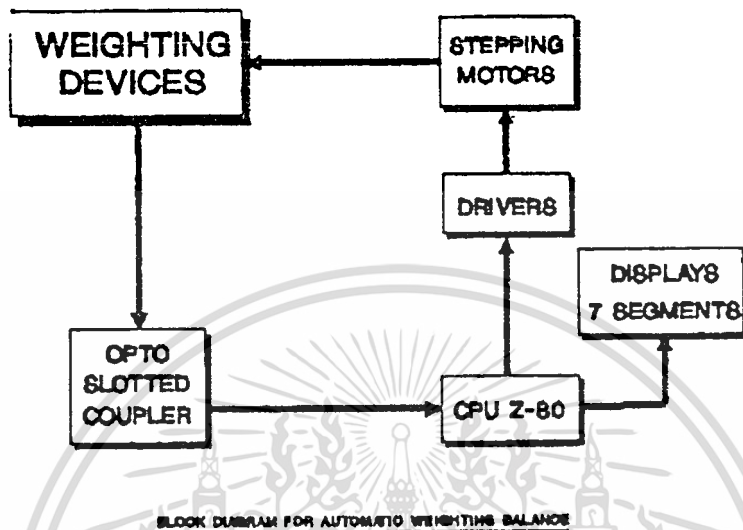
รูปที่ 1.2 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอัตโนมัติ

จากรูปเราจะเห็นได้ว่า เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอัตโนมัติของเรานี้จะประกอบด้วยคานเพียงชุดเดียว โดยอาศัยมอเตอร์ในการเลื่อนตุ้มน้ำหนักไปมาบนคาน ส่วนหน้าสัมผัสที่ใช้ในการตรวจจับสมดุล (BALANCE CONTACTS) ในรูปที่ใช้ในการตรวจจับความสมดุลของคานนั้น เราจะใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณที่เรียกว่า "ออปโต อินเตอร์รัฟเตอร์ โมดูล" แทน เนื่องจากออปโต อินเตอร์รัฟเตอร์ โมดูลนี้มีข้อได้เปรียบกว่าการใช้หน้าสัมผัสในการตรวจจับสมดุล ดังจะกล่าวต่อไปภายหลังจากนั้น ระบบรวมสามารถเขียนแทนได้ด้วยบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 1.3

หลักการทำงานก็คือ เมื่อน้ำหนักที่ต้องการชั่งลงบนเครื่องชั่ง จะทำให้คานเกิดการไม่สมดุล ดังนั้น ออปโต อินเตอร์รัฟเตอร์ โมดูลซึ่งเราใช้ในการตรวจจับความสมดุลของคานก็จะส่งสัญญาณไปให้ไมโครโปรเซสเซอร์รับทราบ ไมโครโปรเซสเซอร์ก็จะขับเตปป์มอเตอร์ให้เลื่อนน้ำหนักมาตรฐานไปมาบนคาน จนกระทั่งคานอยู่ในสมดุล ไมโครโปรเซสเซอร์ก็จะหยุดการหมุนของมอเตอร์ ระหว่างการหมุนของมอเตอร์นั้น ไมโครโปรเซสเซอร์ก็จะเก็บสถานะของการหมุนของมอเตอร์ไว้ด้วย ซึ่งไมโครโปรเซสเซอร์จะให้ค่านี้ในการคำนวณโมเมนต์ ให้ได้ค่าน้ำหนักที่ต้องการออกมา และแสดงค่าออกมาทางหน่วยแสดงผลเจ็ดส่วนของระบบ

โครงงานชิ้นนี้มีทั้งส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ (SOFTWARE) และฮาร์ดแวร์ (HARDWARE) ทางด้านฮาร์ดแวร์นั้นจะประกอบไปด้วยคานซึ่งทำด้วยอะลูมิเนียม ลักษณะของคานเป็นคานเดี่ยวไม่สมดุล คือมีความยาวจากจุดหมุนถึงปลายทั้งสองด้านไม่เท่ากัน เพื่อให้สามารถชั่งน้ำหนักได้มากขึ้น โดยคานมีความยาวไม่มากนัก จุดหมุนได้ใช้ตุ้มน้ำหนักเป็นจุดหมุน เพื่อลดความเลียดทานที่จะเกิดขึ้น บนคานจะมีแกนเกลียววางตามแนวนอนโดยมีน้ำหนักมาตรฐานคล้องอยู่ ปลายด้านหนึ่งของ

แกนเกลียวจะติดอยู่กับแกนของมอเตอร์ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะยึดติดอยู่กับแท่นโดยมีตลับลูกปืนลดแรงเสียดทานอยู่ มอเตอร์ที่ใช้ก็เป็น "สเต็ปปีงมอเตอร์" เพราะเราสามารถควบคุมตำแหน่งของ



รูปที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องชั่งน้ำหนักแบบอัตโนมัติ

การหมุนได้ง่ายและมีความแม่นยำค่อนข้างสูง ซึ่งเราสามารถใช้คอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยว (SINGLE BOARD) ที่มี Z-80 เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวคอนโทรลเลอร์ (CONTROLLER) และตัวซีเคานเซอร์ โดยต่อพ่วง (INTERFACE) ผ่านทาง Z-80 PIO ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณลำดับไปยังวงจรรับของสเต็ปปีงมอเตอร์ ในขณะที่เดียวกันก็ยังทำหน้าที่รับสัญญาณจากออปโต อินเตอร์เรเตอร์ โมดูลเพื่อตรวจจับความสมดุลของคานอีกด้วย

ส่วนทางด้านซอฟต์แวร์นั้นจะมีส่วนที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณลำดับให้กับซีเคานเซอร์ เพื่อให้สเต็ปปีงมอเตอร์หมุนไปจนกระทั่งคานอยู่ในสภาวะสมดุลเหมือนตอนเริ่มต้น ซึ่งในขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนนั้น จำนวนสเต็ปที่ใช้ในการหมุนนั้นจะถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำ ซึ่งในที่สุด จำนวนสเต็ปนี้จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่าน้ำหนักของวัตถุในภายหลัง สำหรับรายละเอียดของแต่ละส่วนนั้น จะได้อธิบายในบทต่อไปของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยจะเริ่มตั้งแต่ส่วนที่สำคัญที่สุดของโครงการชิ้นนี้ คือ "ทฤษฎีเกี่ยวกับการชั่งน้ำหนักด้วยคาน"

2. บาลานซ์ และ เวกเตอร์ (BALANCES AND WEIGHTERS)

2.1 อนุไลติกัล บาลานซ์ (ANALYTICAL BALANCE)

เครื่องชั่งน้ำหนัก หรือที่บางทีเราเรียกกันว่า "สเกลส์" (SCALES) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเปรียบเทียบน้ำหนักสำหรับวัดแรง (FORCE) และ แรงบิด หลักการเบื้องต้นก็คือการพยายามทำให้เกิดความเท่ากันระหว่างแรงสองแรง

สเกลส์ที่นิยมใช้กันก็คือ

- ประเภทคานโยก
- ประเภทลูกตุ้ม
- ประเภทสปริง
- ประเภทไฮดรอลิกส์

เครื่องชั่งน้ำหนักประเภทคานโยกและสปริงนิยมใช้กันมาก ในขณะที่เครื่องชั่งน้ำหนักประเภทลูกตุ้มและไฮดรอลิกส์จะใช้ในงานเฉพาะเท่านั้น

เครื่องชั่งน้ำหนักประเภทคานโยกนิยมใช้กันมากที่สุด และรูปแบบของมันแทบจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงเลยตลอดหลายพันปีที่ผ่านมา บาลานซ์เป็นตัวอย่างของเครื่องชั่งประเภทนี้ บาลานซ์ที่ดี จะต้อง

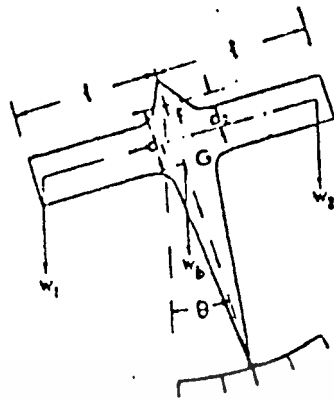
1. มีความเที่ยงตรง (TRUTH) เมื่อไม่มีภาวะ หรือมีภาวะน้ำหนักเท่ากันกระทำลงบน ปลายคานทั้งสองด้าน คานจะต้องวางตัวในแนวราบขนาดก้นพื้นโลกเมื่อหยุดนิ่ง
2. มีความเสถียร (STABILITY) ถ้ามีการรบกวนสมดุลของคานจากจุดหยุดนิ่ง คานจะ ต้องกลับสู่จุดหยุดนิ่งและวางตัว เหมือนกับก่อนที่จะถูกรบกวน
3. มีความไว (SENSITIVITY) ความแตกต่างเพียงเล็กน้อยระหว่างภาวะจะต้องทำให้เกิดการ เบี่ยงเบนของคานจากจุดสมดุล

ความไวของบาลานซ์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งความไวนี้สามารถกำหนดได้ด้วยมุม ที่เปลี่ยนไปต่อหน่วยที่ไม่สมดุล จากรูป 2.1 เมื่อ จุดพัลลกรมอยู่ที่จุด F, C.G. ของคานอยู่ที่จุด G, d_1 คือระยะระหว่าง F กับ G, d_2 คือระยะระหว่าง F กับเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดรับน้ำหนัก ของภาวะทั้งสองด้าน, l เป็นความยาวของคาน, และ w_1 เป็นมุมที่เบี่ยงเบนเมื่อภาวะมีน้ำหนัก ต่างกัน $w_1 - w_2$ ดังนั้น ความไว (S) สามารถกำหนดได้ คือ

$$S = \frac{\theta}{w_1 - w_2} \quad (2.1)$$

ซึ่งเราสามารถแสดงให้เห็นว่าความไวนี้จะขึ้นอยู่กับตัวแปรทางกายภาพของคานได้ จากรูป 2.1 สมการที่แสดงเงื่อนไขของการสมดุลสามารถเขียนได้ ดังนี้

$$w_1(l \cos\theta - d_2 \sin\theta) = w_2 d_1 \sin\theta + w_2(l \cos\theta + d_2 \sin\theta) \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.1 รูปแสดงค่าตัวแปรทางกายภาพต่างๆ เชื่อกันไม่อยู่ในสมดุล

หรือ

$$\tan \theta [(w_1 + w_2)d_1 + w_2 d_2] = (w_1 - w_2)l$$

ให้

$$\frac{\tan \theta}{w_1 - w_2} = \frac{l}{d_1(w_1 + w_2) + w_2 d_2} \quad (2.3)$$

สำหรับค่า \$\theta\$ เล็กๆ, \$\tan \theta \approx \theta\$, และ \$w_1 \approx w_2\$, ดังนั้น \$w_1 + w_2 = 2w\$, ดังนั้น ความไวสามารถกำหนดได้โดย

$$S = \frac{l}{d_1(w_1 + w_2) + w_2 d_2} \quad (2.4)$$

โดยปกติแล้ว บาลานซ์มักจะสร้างในลักษณะที่จุดผลลัพธ์จะวางอยู่บนเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดรับน้ำหนักของภาระทั้งสองด้าน ดังนั้น \$d_2 = 0\$ ดังนั้น

$$S = \frac{l}{w_1 d_1} \quad (2.5)$$

กล่าวคือ ยิ่งทำคานมีน้ำหนักน้อยลงและมีความยาวมาก โดยที่มีจุดรวมน้ำหนักใกล้กับจุดผลลัพธ์ ค่าความไวก็จะยิ่งมาก

ความละเอียดและความเที่ยงตรงของคานเราสามารถทำให้มากขึ้นถึง \$10^{-5}\$ กรัม และ หนึ่งใน \$10^3\$ ตามลำดับ

ตัวอย่าง จงหาความยาวของคานเมื่อกำหนดให้มีความไวเท่ากับ 5 เรเดียน/กรัม จุดผลลัพธ์อยู่ที่ 0.1 ซม. เหนือจุด C.G. และน้ำหนักสูงสุดที่คานจะรับได้เท่ากับ 100 กรัม

- การออกแบบ และ การสร้างประกอบที่ดี

ความผิดพลาดที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการเปรียบเทียบน้ำหนักด้วยคานก็คือแรงยกตัวของอากาศ โดยปกติแล้ว การเปรียบเทียบจะกระทำกันระหว่างมวลที่รู้ค่ากับมวลมาตรฐาน ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นนี้จะมีทั้งแรงที่เกิดจากน้ำหนักและแรงที่เกิดจากแรงยกตัวของอากาศ สำหรับมวลที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าที่มีปริมาตรเท่ากัน แรงยกตัวของอากาศทั้งสองข้างของคานจะหักล้างกันจนหมด มิฉะนั้นแล้ว จะต้องมีการเพิ่มตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณเพื่อแก้ไขผลที่จะเกิดขึ้นนี้ ให้

- ρ_1 = ความหนาแน่นของมวลที่ไม่ทราบค่า
- ρ_2 = ความหนาแน่นของมวลมาตรฐาน
- ρ_3 = ความหนาแน่นของอากาศรอบๆ
- V_1 = ปริมาตรของมวลที่ไม่ทราบค่า
- V_2 = ปริมาตรของมวลมาตรฐาน
- W_1 = น้ำหนักของมวลที่ไม่ทราบค่าที่ต้องการวัด
- $W_{c,1}$ = น้ำหนักจริงของมวลที่ไม่ทราบค่าที่ต้องการวัด
- W_2 = น้ำหนักของมวลมาตรฐาน
- $W_{c,2}$ = น้ำหนักจริงของมวลมาตรฐาน

ดังนั้น

$$W'_1 = (\rho_1 - \rho_3)V_1 \quad (2.7)$$

$$W'_2 = (\rho_2 - \rho_3)V_2 \quad (2.7a)$$

$$W''_1 = \rho_1 V_1 \quad (2.8)$$

$$W''_2 = \rho_2 V_2 \quad (2.9)$$

ดังนั้น ที่ภาวะสมดุล $W_1 = W_2$

หรือ
$$W''_1 = W''_2 + \rho_3(V_1 - V_2) = W''_2 \left[1 + \frac{\rho_3(V_1 - V_2)}{\rho_1 V_1} \right] \quad (2.10)$$

ให้
$$W''_1 = W''_2 \left[1 + \frac{\rho_3 V_2}{\rho_1 V_1} \left(\frac{V_1}{V_2} - 1 \right) \right]$$

จากสมการ 2.6 และ 2.7

$$W''_1 = W''_2 \left[1 + \frac{\rho_3}{\rho_1} \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 - \rho_3} \right) \right] \quad (2.11)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี-10-ไปใช้

ถ้ารู้ค่า ρ_1 , ρ_2 และ ρ_3 ค่าน้ำหนักที่ถูกต้องจริงก็สามารรถคำนวณได้

ไม่ยาก

ตัวอย่าง

วัสดุชนิดหนึ่งหนักกว่าอากาศ 1040 เท่าถูกนำมาซึ่งหาน้ำหนักโดยใช้น้ำหนักมาตรฐานที่หนักกว่าอากาศ 6890 เท่า กำหนดให้น้ำหนักของมวลทั้งสองด้านมีค่าเท่ากับ 100 กรัม จงคำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการวัดเมื่อทำการวัดในห้องเปิด

วิธีทำ

$$\rho_2 = \frac{p}{RT} = (15 \times 144) / (53 \times 530) \approx 1/13 \text{ lb}_m / \text{ft}^3$$

$$\text{เมื่อ} = 80 \text{ lb}_m / \text{ft}^3$$

$$\text{และ} = 530 \text{ lb}_m / \text{ft}^3$$

เพราะฉะนั้น

$$W_{true} = 100 [1 + (1/13 \times 530) \times (530 - 80) / (80 - 1/13)]$$

$$= 100 + 100/1250 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น เปอร์เซนต์ความผิดพลาด = $100/1250 = 0.08 \%$

2.3 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบสตีลยาร์ด (STEELYARD)

สตีลยาร์ดเป็นบาลานซ์ที่มีแขนทั้งสองข้างยาวไม่เท่ากัน ใช้ในงานชั่งน้ำหนักแบบไม่เฉพาะเจาะจง หลักการทำงานเบื้องต้นแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบสตีลยาร์ด

จุด i, f, s, p ในสตีลยาร์ด i คือจุดต่อภาชนะ, จุดปลั๊กควัม, จุด C.G. และจุดต่อน้ำหนัก ตามลำดับ จุดต่อน้ำหนักถูกเลื่อนไปมาด้วยค่าน้ำหนัก w แขนทั้งหมดถูกกระทำการรบกวนกระทำกันอยู่ในสมดุล ค่าน้ำหนัก W จึงหาได้จาก

$$W' = W'' \frac{x}{x'} + w \frac{y}{x} = m + ny \quad (2.12)$$

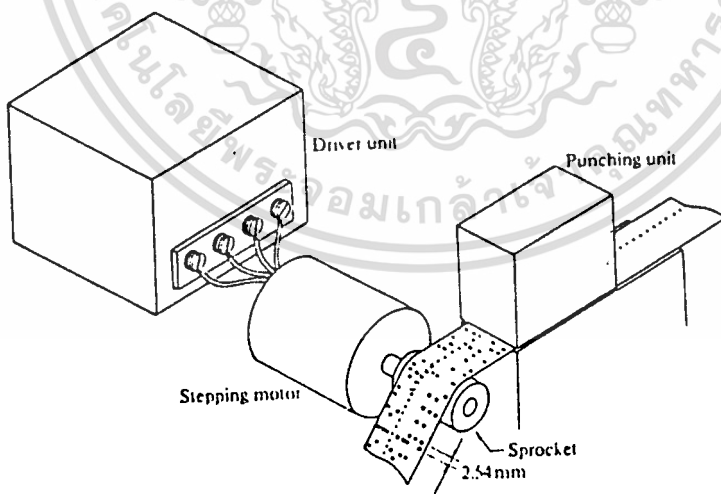
3. บททั่วไปเกี่ยวกับสเต็ปปีงมอเตอร์

3.1 การควบคุมแบบลูปเปิด (OPEN-LOOP CONTROL SYSTEMS)

โดยทั่วไป สเต็ปปีงมอเตอร์ทำงานด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ซึ่ง สเต็ปปีงมอเตอร์นี้จะเป็นมอเตอร์ชนิดที่ต่างจากมอเตอร์ทั่วไป ซึ่งมักจะขับเคลื่อนจากแหล่งจ่ายไฟโดยตรง ยิ่งไปกว่านั้น สเต็ปปีงมอเตอร์จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านการควบคุมความเร็วและตำแหน่งโดยไม่ต้องอาศัยลูปปิดที่มีราคาแพง ที่เราเรียกว่า "การควบคุมแบบลูปเปิด" นั่นเอง การควบคุมแบบลูปเปิดนี้ แม้จะเป็นวิธีการที่ประหยัด แต่ก็ยังมีข้อจำกัดบางอย่าง ตัวอย่างเช่น การหมุนของโรเตอร์ (ROTOR) จะกวัดแกว่ง (OSCILLATE) และ ไม่เสถียร (UNSTABLE) ที่ความเร็วแน่นอนช่วงหนึ่ง และด้วยเหตุนี้ ความเร็วและอัตราเร่งของ สเต็ปปีงมอเตอร์ ที่ควบคุมแบบลูปเปิดจะต่ำกว่ามอเตอร์ไฟตรง (DC MOTORS) ที่ขับเคลื่อนแบบลูปปิด ซึ่งในการพยายามที่จะขยายช่วงของการใช้งานออกไป การลดการกวัดแกว่งเป็นปัญหาแรกที่จะต้องแก้ไข

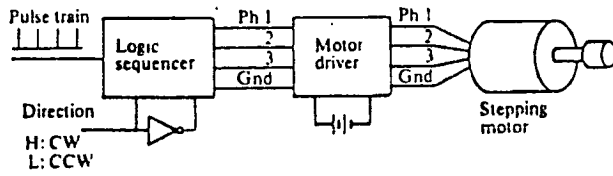
3.1.1 การติดตั้งระบบ (SYSTEM CONFIGURATION)

เพื่อที่จะทำความเข้าใจต่อการติดตั้งระบบของ สเต็ปปีงมอเตอร์ เราจะทำการยกตัวอย่างการขับเคลื่อนของเครื่องเจาะกระดาษ (PERFORATOR) ซึ่งอาศัย สเต็ปปีงมอเตอร์ในการส่งสายเทปเข้าเครื่อง (ดูรูป 3.1) ชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของนิวเมอริกัลลี คอลโทรล แมชชีน



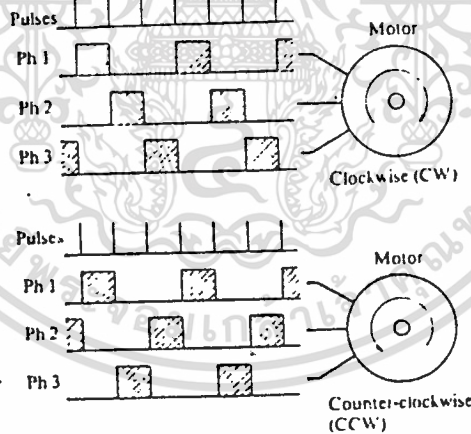
รูปที่ 3.1 เครื่องเจาะกระดาษ

(NUMERICALLY CONTROLLED MACHINES) จะถูกเก็บในรูปแบบของรูนกระดาษที่สร้างโดยเครื่องนี้ ระบบส่งกระดาษสามารถพิจารณาในรูปของบล็อกไดอะแกรม (BLOCK DIAGRAM) ดังแสดงในรูป 3.2 ซึ่งจะกล่าวในภายหลัง สเต็ปปีงมอเตอร์ ที่ใช้สำหรับงานประเภทนี้มักจะใช้มอเตอร์ 3 หรือ 4 เฟส ในตัวอย่างนี้เราจะพิจารณามอเตอร์ 3 เฟสซึ่งมีขดลวด 3 ชุด



รูปที่ 3.2 ब्ल็อกไดอะแกรมของระบบส่งกระแส

(PULSES) แต่ละลูกที่ป้อนให้กับลอจิกซีควเอนเซอร์ (LOGIC SEQUENCER) หลังจากได้รับพัลส์ควบคุมสเต็ปแล้ว ลอจิกซีควเอนเซอร์จะเป็นตัวกำหนดว่าเฟสใดจะถูกกระตุ้นหรือหยุดกระตุ้น และส่งสัญญาณไปที่วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งจะเป็นส่วนที่ควบคุมกระแสที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ลอจิกซีควเอนเซอร์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยวงจรรวม (INTEGRATED CIRCUIT) ประเภท TTL หรือ CMOS เมื่อค่าความต่างศักย์ของเอาต์พุตของใดของลอจิกซีควเอนเซอร์เป็น 1 ขดลวดของมอเตอร์เฟสนั้นก็จะถูกกระตุ้น ในทางกลับกัน ถ้า เอาต์พุตเป็น 0 เฟสเดิมนั้นก็จะหยุดการถูกกระตุ้น ดังแสดงในรูป 3.3 ถ้ามอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา การกระตุ้นก็จะ เป็นไปตามลำดับ 1 -> 2 -> 3 -> 1



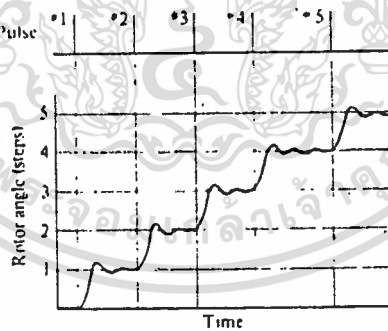
รูปที่ 3.3 ลำดับการกระตุ้นจากซีควเอนเซอร์กับทิศทางการหมุนของสเต็ปป์มอเตอร์

และจะมีการหมุนทวนเข็มนาฬิกาถ้ามีการป้อนกลับลำดับกัน คือ 1 -> 3 -> 2 -> 1 ในระบบเครื่องเจาะรูกระดาษมักจะกำหนดลำดับของการกระตุ้นไว้ตายตัว เพื่อให้ส่งสายเทปได้ในทิศทางเดียว อันที่จริงไม่มีกฎใดที่กำหนดไว้ว่า ทิศทางไหนเป็นการหมุนทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกา การหมุนตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากปลายด้านหนึ่งของมอเตอร์จะกลายเป็นการหมุนทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากปลายอีกด้านหนึ่ง ทิศทางของการหมุนนี้จะต้องกำหนดให้สอดคล้องกับอุปกรณ์อื่นที่เกี่ยวข้องด้วย

การกระตุ้นชนิดลวดของมอเตอร์ตามรูป 3.3 เป็นการกระตุ้นแบบเฟสเดียว (ONE-PHASE EXCITATION) ซึ่งหมายความว่า เฟสหนึ่งในสามเฟสโคเฟสหนึ่งเท่านั้นที่จะถูกกระตุ้นในแต่ละครั้ง การกระตุ้นแบบเฟสเดียวนี้นักจะถูกใช้อธิบายหลักการทำงานของ สเต็ปมอเตอร์ แต่ไม่จำเป็นเสมอไปที่วิธีนี้จะเป็นการขับมอเตอร์ที่ดีที่สุด

3.1.2 สเต็ปและอินครีเมนต์ (STEP AND INCREMENT)

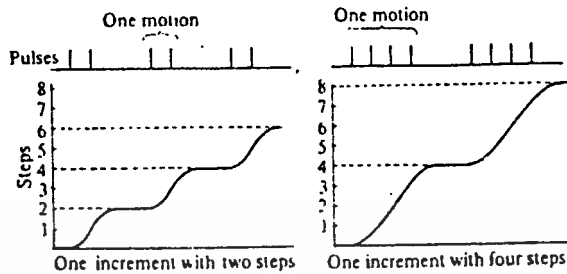
ในปัจจุบัน นิวเมอริกัลลี คอลโทรล แมชชีนและอุปกรณ์ต่อพ่วงกับเครื่องคอมพิวเตอร์จะมีการบันทึกข้อมูล 8 ร่อง (TRACKS) บนเส้นเทป (TAPE) ซึ่งก็คือน่าจะมี 8 รูลัญญานต่อบรรทัด ที่จริงแล้วระหว่างแถวที่ 3 และแถวที่ 4 ของรูลัญญานจะมีรูนำร่องเพื่อช่วยในการส่งสายเทปอยู่ด้วย แต่ละบรรทัดจะถูกวางเรียงห่างกัน 1/10 นิ้ว (2.54 ม.ม.) เมื่อสายเทปถูกบันทึกข้อมูล ไม่ว่าจะด้วยการเจาะรูด้วยเครื่องเจาะรูด้วยมือหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ก็ตาม สายเทปจะถูกส่งไปเป็นระยะทาง 2.54 ม.ม. แล้วหยุดเพื่ออ่านรู แล้วจึงเลื่อนสายเทปไปอีก 2.54 ม.ม. แล้วหยุดเพื่ออ่านรูอีกครั้ง และทำดังนี้ต่อไป วิธีที่ง่ายที่สุดในการเคลื่อนกระดาษไป 1 บรรทัดด้วยระยะทางที่แน่นอนคือป้อนพัลส์ 1 ลูกให้กับบล็อกจิกซีแควนเซอร์ เพื่อหมุนมอเตอร์ไป 1 สเต็ปเพื่อเลื่อนสายกระดาษไป 2.54 ม.ม. มีอีกวิธีหนึ่งก็คือการขับสเต็ปมอเตอร์หลายมุมสเต็ป เพื่อเลื่อนสายกระดาษไป 1 บรรทัด ตัวอย่างเช่น มอเตอร์ 4 เฟส 1.8 องศาต่อสเต็ปถูกใช้ในการเลื่อนสายเทปไป 1 บรรทัดใน 4 สเต็ป เส้นผ่านศูนย์กลางของแป้นหมุนจะลดลง 1 ใน 4 ซึ่งมีผลทำให้แรงเฉื่อยของแป้นหมุนลดลงไป $(1/4)^2 = 1/256$ เท่าของแรงเฉื่อยที่ใช้ 1 สเต็ปในการหมุน



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของโรเตอร์และพัลส์ที่ป้อนให้กับบล็อกจิกซีแควนเซอร์ เมื่อมีการกระตุ้น 1 สเต็ปต่อการเคลื่อนที่ 1 ครั้ง

ในรูปที่ 3.4 และ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสเต็ปและการทำงานด้วยจำนวนสเต็ปต่างกัน รูป 3.4 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของโรเตอร์และพัลส์ที่ป้อนให้กับบล็อกจิกซีแควนเซอร์ ถ้าสมมุติให้ความถี่ของพัลส์ต่ำ และในกรณีนี้การเคลื่อนที่ 1 ครั้งถูกกระทำด้วยการกระตุ้นเพียง 1 สเต็ป รูป 3.5 แสดงให้เห็นถึงกรณีที่การเคลื่อนที่ 1 ครั้งถูกกระทำด้วยการกระตุ้น 2 หรือ 4 สเต็ป ผลตอบสนองต่อการเคลื่อนที่ 1 ครั้งด้วย 1 สเต็ปมักจะกวัดแกว่ง ดังแสดง

ในรูป 3.4 ถ้าการเคลื่อนที่ 1 ครั้งจำนวนพัลส์หลายลูกในช่วงเวลาที่เหมาะสม ผลตอบสนองก็จะไม่เกิดการกวัดแกว่งได้หรือเราสามารถกำจัดการกวัดแกว่งในการกระตุ้นแบบ 1 สเต็ปโดยอาศัย



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของโรเตอร์และพัลส์ที่ป้อนให้กับลอจิกซีแควนเซอร์
เมื่อมีการกระตุ้น 2 และ 3 สเต็ปต่อการเคลื่อนที่ 1 ครั้ง

การใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ช่วยได้

จำนวนของสเต็ปต่อการเคลื่อนที่ 1 ครั้งมักจะใช้มากกว่า 4 สเต็ป ตัวอย่างเช่นในเครื่องอ่านสายเทป (TAPE-READER, รูป 3.6) เมื่อสายของข้อมูลถูกส่งไปยังตัวเครื่องเป็นช่วงๆ แต่ละช่วงของข้อมูลประกอบด้วยจำนวนบรรทัดที่แน่นอน หรือที่เราเรียกว่าไบต์ (BYTES) เช่น 32, 48 หรือ 64 บรรทัด ตัวเลขนี้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระบบ ก่อนที่เครื่องจะเริ่มทำงาน ช่วงของข้อมูลจะถูกอ่านเข้าไปในหน่วยความจำของตัวควบคุม เพื่อให้เครื่องมีทำงานตามชุดคำสั่งที่ได้เตรียมไว้ เมื่อเสร็จสิ้นแล้ว ข้อมูลชุดถัดไปก็จะถูกอ่านเข้ามาใหม่ ถ้าระบบถูกออกแบบมาให้เคลื่อนที่ 1 บรรทัดใน 1 สเต็ป และช่วงของข้อมูลประกอบด้วย 32 ไบต์ การเคลื่อนที่ 1 ครั้งจะประกอบด้วย 32 สเต็ป ถ้าระยะห่างต่อ 1 บรรทัดใช้การป้อน 4 สเต็ป ดังนั้น การเคลื่อนที่ 1 ครั้งจะประกอบด้วย 128 สเต็ป เราจะต้องเพิ่มขึ้นตอนในการทำงานลงไปก่อนหน้าลอจิกซีแควนเซอร์ ถ้าการเคลื่อนที่ 1 ครั้งประกอบด้วยหลาย สเต็ป ซึ่งการทำงานส่วนนี้จะเรียกว่า "อินพุทคอนโทรลเลอร์" อินพุทคอนโทรลเลอร์ส่งขบวนของพัลส์ที่มีจำนวนแน่นอนในช่วงที่เหมาะสมหลังจากที่ได้รับการป้อนสัญญาณเข้ามา

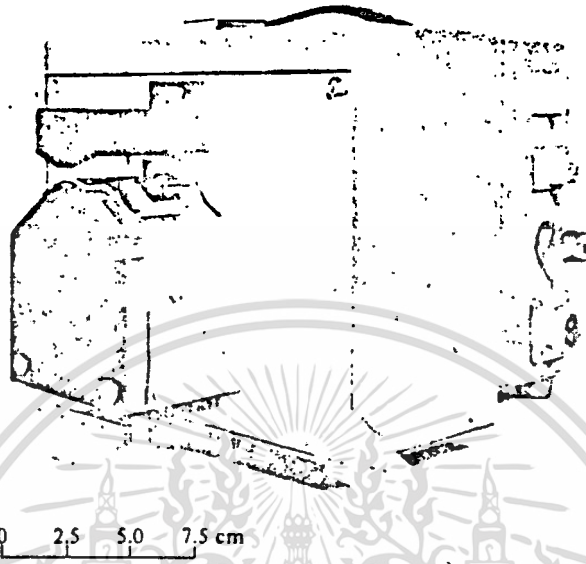
3.1.3 คุณสมบัติเด่นของ สเต็ปปีงมอเตอร์เพื่อพิจารณาจากลักษณะการใช้งาน

ลักษณะการควบคุมแบบเปิดของ สเต็ปปีงมอเตอร์และคั่นที่ที่ควรรอบบางค่าจะถูกอธิบายในหัวข้อนี้

(1) มุมสเต็ป (STEP ANGLE) มีค่าเล็ก

สเต็ปปีงมอเตอร์หมุนด้วยมุมที่ตายตัวต่อพัลส์แต่ละลูกดังที่ได้อธิบายมาแล้ว อัตราส่วนของค่านี้เราเรียกว่า "มุมสเต็ป" ซึ่งมีหน่วยเป็นองศา ยิ่งค่ามุมสเต็ปมีค่าเล็กเท่าไร ความละเอียดในการควบคุมตำแหน่งก็จะยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น ลักษณะเด่นของสเต็ปปีงมอเตอร์อีกอย่างหนึ่งก็คือมันสามารถทำให้มีมุมสเต็ปเล็กกว่าได้ จำนวนสเต็ปต่อการหมุน 1 รอบเราเรียกว่า "สเต็ปนัมเบอร์"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

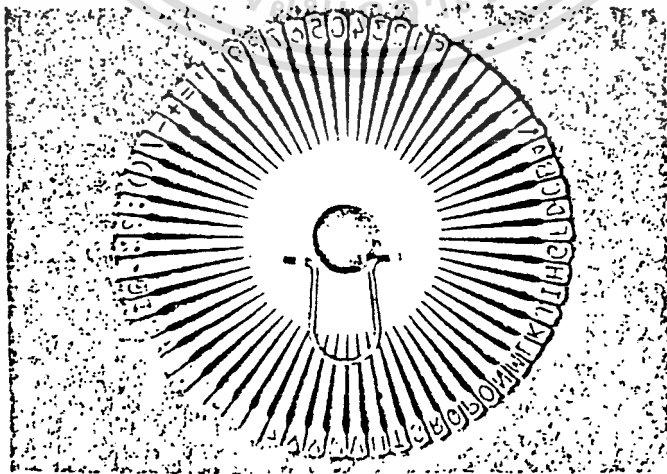


รูปที่ 3.6 เครื่องอ่านสาขาเกบ

(STEP NUMBER) ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสลับ, θ_s , และ สลับปัมเบอร์, S, คือ

$$S = 360/\theta_s \quad (3.1)$$

มอเตอร์ที่ถูกออกแบบมาใช้สำหรับวงล้อตัวอักษร (รูป 3.7) ที่ใช้กับเครื่องพริ้นเตอร์ (PRINTER) หรือเครื่องพิมพ์ดีดมี 96, 128 หรือ 132 สลับต่อการหมุน 1 รอบ มอเตอร์มาตรฐาน 4 เฟสมีสลับปัมเบอร์เท่ากับ 200 มอเตอร์บางอย่างที่มีความละเอียดสูงจะถูก



รูปที่ 3.7 วงล้อตัวอักษรที่ใช้กับเครื่องพริ้นเตอร์หรือเครื่องพิมพ์ดีด

ออกแบบให้การหมุน 1 รอบมีจำนวนล Teeth เท่ากับ 500 หรือ 1000 Teeth อย่างไรก็ตามมุมส Teeth ในมอเตอร์ธรรมดาบางชนิดอาจใหญ่ถึง 90, 45 หรือ 15 องศาก็ได้

(2) มีความแม่นยำในการควบคุมตำแหน่งสูง

ความแม่นยำในการควบคุมตำแหน่ง เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการพิจารณาคุณภาพของ ส Teeth บังมอเตอร์ ส Teeth บังมอเตอร์ถูกออกแบบมาให้ใช้ในการหมุนด้วยค่ามุมส Teeth ที่กำหนดไว้และหยุดที่ตำแหน่งที่แน่นอน ซึ่งความเที่ยงตรงในขณะที่ไม่มีการระขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงทางโครงสร้างของตัวโรเตอร์และสเตเตอร์เอง ส Teeth บังมอเตอร์ถูกสร้างอย่างประณีต อย่างไรก็ตาม ส Teeth บังมอเตอร์จะมีค่าแรงบิดที่เกิดจากการเคลื่อนที่จากตำแหน่งหยุดที่เกิดจากแรงบิดที่เกิดจากภาระจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำให้ช่องอากาศ (AIR GAP) ระหว่างโรเตอร์และซีฟันของ สเตเตอร์ถูกออกแบบให้เล็กที่สุดเท่าที่จะเล็กได้ ดังนั้น ความแม่นยำของการควบคุมตำแหน่งจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางกลและวงจรขับเคลื่อน ในขณะที่ตัวแปรทางอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ไม่มีผลต่อความแม่นยำในการควบคุมตำแหน่งเลย

ต่อไปเป็นศัพท์เฉพาะที่ควรทราบก่อนที่จะได้กล่าวถึง เรื่องอื่นต่อไป

- (a) โฮลด์ทอร์ก (HOLDING TORQUE) หมายถึง ค่าสแตติกทอร์ก (STATIC TORQUE) สูงที่สุดที่บ่อนให้กับแกนหมุนของมอเตอร์ที่ถูกกระตุ้นแล้ว โดยที่ยังไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่(หมุน)
- (b) ดีเทนทอร์ก (DETENT TORQUE) หมายถึง ค่าสแตติกทอร์กสูงที่สุดที่บ่อนให้กับแกนหมุนของมอเตอร์ในขณะที่ยังไม่ถูกกระตุ้น โดยที่ยังไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่(หมุน)
** โดยทั่วไป ค่าโฮลด์ทอร์กยิ่งมาก ค่าผิดพลาดของการควบคุมตำแหน่งที่เกิดจากภาระจะยิ่งมีค่าน้อย และดีเทนทอร์กจะเกิดขึ้นกับมอเตอร์ที่มีแม่เหล็กถาวรประกอบอยู่ด้วยเท่านั้น **
- (c) ตำแหน่งหยุด หรือ จุดสมดุล (REST POSITION OR EQUILIBRIUM POSITION) คือตำแหน่งหยุดของมอเตอร์ที่ถูกกระตุ้นแล้วและไม่มีภาระ
- (d) ดีเทนโพสิชัน (DETENT POSITION) คือตำแหน่งหยุดของมอเตอร์ที่มีแม่เหล็กถาวรอยู่ที่โรเตอร์หรือสเตเตอร์ในขณะที่ยังไม่ถูกกระตุ้น และไม่มีภาระ
** ในมอเตอร์บางอย่าง ดีเทนโพสิชันจะใช้ในการควบคุมตำแหน่ง โดยไม่มีการกระตุ้นขดลวดเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ตำแหน่งหยุดกับดีเทนโพสิชันไม่จำเป็นจะต้องเท่ากัน **
- (e) สเต็ปโพสิชันเออร์เรอร์ (STEP POSITION ERROR) คือค่ามุมบวกหรือลบที่มากที่สุดที่ผิดพลาดไปจากค่ามุมส Teeth ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อโรเตอร์หมุนจากจุดสมดุลจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง
- (f) โพสิชันแนลเอคคูเรซี (POSITIONAL ACCURACY) หมายถึง ค่าสูงที่สุดที่เกิดจากความผิดพลาดของแองกิวลาร์โพสิชันเออร์เรอร์ (ANGULAR POSITION ERROR)

ที่ทำให้ตำแหน่งของจุดสมมูลอันเกิดจากมุมสลับที่หลายสลับที่มีการผิดพลาดไป ซึ่งจะเกิดขึ้นในระหว่างที่มีการหมุนครบรอบของโรเตอร์จากจุดสมมูลอ้างอิงจุดหนึ่งจุดใด ตัวอย่างของการกำหนดค่าเหล่านี้ได้ให้ไว้ในตารางที่ 3.1 และ 3.2 สำหรับ 15 องศาอาร์-มอเตอร์ เมื่อพิจารณาโพสิชันแนลแอกคูเรซีและสลับโพสิชันเออร์เรอร์ จากตาราง 3.1 ค่าผิดพลาดจะอยู่ในช่วง +0.08 ถึง -0.03 องศา โพสิชันแนล

Number of steps (n)	Theoretical angle (nθ _i)	Measured angle (α _n)	Error (α _n - nθ _i)
0	0	0	0
1	15.00	15.06	+0.06
2*	30.00	29.97	-0.03
3	45.00	45.07	+0.07
4	60.00	60.00	0
5	75.00	75.06	+0.06
6	90.00	89.97	-0.03
7	105.00	105.07	+0.07
8	120.00	120.01	+0.01
9	135.00	135.05	+0.05
10	150.00	149.97	-0.03
11	165.00	165.07	+0.07
12	180.00	180.01	+0.01
13	195.00	195.05	+0.05
14	210.00	209.97	-0.03
15	225.00	225.08	+0.08
16	240.00	240.00	0
17	255.00	255.05	+0.05
18	270.00	269.97	-0.03
19	285.00	285.08	+0.08
20	300.00	300.00	0
21	315.00	315.05	+0.05
22	330.00	329.97	-0.03
23	345.00	345.07	+0.07
24	360.00	360.00	0

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างข้อมูลเพื่อหาโพสิชันแนล แอกคูเรซีในวีอาร์-มอเตอร์ 15 องศาต่อสลับแอกคูเรซีหาได้โดย $0.08 + 0.03 = 0.11$ องศา เมื่อค่าผิดพลาดนับจากจุดอ้างอิงตำแหน่งที่ 3 ที่แสดงไว้ด้วย * ในตาราง ค่าผิดพลาดสูงสุดก็คือ +0.11 องศา ค่านี้บางทีจะแสดงไว้เป็น +0.055 องศา เราอาจจะหาจุดสมมูลอ้างอิงที่จะทำให้ค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง +0.055 ถึง -0.055 องศาได้ ดังที่แสดงให้เห็นในตาราง 3.2 ค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง +0.11 ถึง -0.08 องศา สลับโพสิชันเออร์เรอร์คือ 0.11 องศา

(3) อัตราส่วนระหว่างแรงบิดกับแรงเฉื่อยมีค่าสูง

ในการออกแบบนั้น สลับปิ้งมอเตอร์จะต้องหมุนให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเร็วได้ในการตอบสนองต่อพัลส์ที่ป้อนเข้ามา ไม่เพียงแต่ต้องเริ่มหมุนด้วยความรวดเร็วเท่านั้น แต่สลับปิ้งมอเตอร์ต้องหยุดได้ในทันทีที่ต้องการด้วย ถ้าขบวนการพัลส์ถูกขัดจังหวะในขณะที่มอเตอร์กำลังวิ่งด้วยความเร็วค่าหนึ่ง มอเตอร์จะต้องหยุดที่ตำแหน่งที่กำหนดด้วยพัลส์สุดท้าย ด้วยเหตุนี้ ค่าอัตราส่วนระหว่างแรงบิดกับแรงเฉื่อยของสลับปิ้งมอเตอร์จะต้องมีค่าสูงเมื่อเทียบกับมอเตอร์ธรรมดาทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

Number of steps (n)	Measured step angle (β_n)	Error ($\beta_n - 15^\circ$)
0	0	0
1	15.06	+0.06
2	14.91	-0.09
3	15.10	+0.10
4	14.93	-0.07
5	15.06	+0.06
6	14.91	-0.09
7	15.10	+0.10
8	14.94	-0.06
9	15.04	+0.04
10	14.92	-0.08
11	15.10	+0.10
12	14.94	-0.06
13	15.04	+0.04
14	14.92	-0.08
15	15.11	+0.11
16	14.92	-0.08
17	15.05	+0.05
18	14.92	-0.08
19	15.11	+0.11
20	14.92	-0.08
21	15.05	+0.05
22	14.92	-0.08
23	15.11	+0.11
24	14.93	-0.07

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลเพื่อทดสอบสเต็ปมอเตอร์ในวีอาร์-มอเตอร์ 15 องศาต่อสเต็ป

(4) สเต็ปปริงเรท (STEPPING RATE) กับความถี่ของพัลส์

ความเร็วของสเต็ปมอเตอร์กำหนดในรูปของจำนวนสเต็ปต่อวินาที ซึ่งก็คือสเต็ปปริงเรทนั่นเอง ในสเต็ปมอเตอร์โดยทั่วไป จำนวนพัลส์ที่ป้อนให้กับลอจิกซีแควนเซอร์มีค่าเท่ากับจำนวนสเต็ป ดังนั้น ความเร็วของสเต็ปมอเตอร์สามารถกำหนดในรูปของความถี่ของพัลส์ได้ เป็นที่น่าสังเกตว่า สเต็ปปริงเรทไม่ได้เป็นตัวที่กำหนดค่าความเร็วสมบูรณ์ ความเร็วนี้คือ "ความเร็วรอบ" ของมอเตอร์ทั่วไปและอยู่ในรูปของรอบ/นาที ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับสเต็ปปริงเรทหาได้จาก

$$n = 60f/s \tag{3.2}$$

เมื่อ n = ความเร็วรอบ (r.p.m.)

f = สเต็ปปริงเรท (เฮิรตซ์)

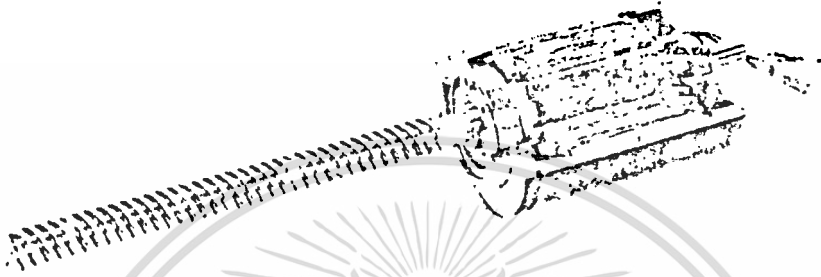
s = สเต็ปนัมเบอร์

3.2 การแบ่งประเภทของสเต็ปมอเตอร์

สเต็ปมอเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท เช่น วีอาร์-มอเตอร์ (VR-MOTOR), พีเอ็มมอเตอร์ (PM-MOTOR), เฮอร์เตอร์-โรเตอร์ สเต็ปมอเตอร์ (OUTER-ROTOR STEPPING MOTOR), ลิเนียร์สเต็ปมอเตอร์ (LINEAR STEPPING MOTOR) ฯลฯ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและหลักการทำงานพื้นฐานของมอเตอร์แต่ละชนิด ใน

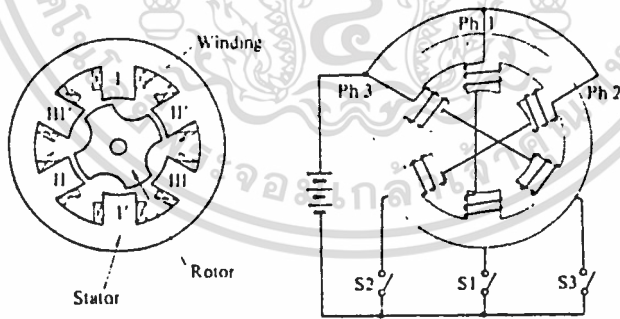
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะขอกล่าวถึงวีอาร์-มอเตอร์เท่านั้น เพราะวีอาร์-มอเตอร์เป็นลเต็ปปึงมอเตอร์ที่ใช้กันมากในปัจจุบัน และเป็นมอเตอร์ที่ใช้ในโรงงานขึ้นนี้ด้วย

วีอาร์-มอเตอร์



รูปที่ 3.8 โครงสร้างภายในของวีอาร์-มอเตอร์

วีอาร์-มอเตอร์ (VARIABLE-RELUCTANCE STEPPING MOTOR) เป็นลเต็ปปึงมอเตอร์ที่เป็นชนิดพื้นฐานที่สุด โครงสร้างภายในของวีอาร์-มอเตอร์แสดงดังในรูปที่ 3.8 โคอะแกรมของภาพตัดขวางแสดงดังรูปที่ 3.9 เพื่อใช้ในการอธิบายถึงหลักการพื้นฐานของมอเตอร์ชนิดนี้ จาก

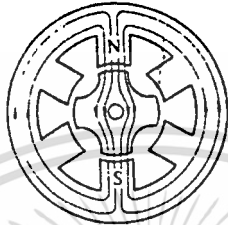


รูปที่ 3.9 ภาพตัดขวางของวีอาร์-มอเตอร์ชนิด 3 เฟส

รูปเป็นมอเตอร์ 3 เฟส มีสเตเตอร์ 6 ซี่ ซึ่งของสเตเตอร์ที่อยู่ตรงข้ามกัน (ต่างกันเป็นมุม 180 องศา) คือเฟสเดียวกัน ซึ่งหมายความว่าขดลวดที่พันอยู่บนซี่ตรงข้ามกันจะต่อกันในลักษณะอนุกรมหรือขนาน (ในรูปต่อแบบอนุกรม) โรเตอร์มี 4 ซี่ สเตเตอร์กับโรเตอร์โดยทั่วไปจะทำจากแผ่นโลหะผสมซิลิกอนที่ถูกทำให้เป็นแผ่นบางๆแล้วนำมาประกบกัน วัสดุที่ใช้ทำทั้งสเตเตอร์และโรเตอร์จะต้องมีค่าเพอร์เมียบิลิตี (PERMEABILITY) สูง และยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านได้มาก แม้มักจะมีการป้อนสนามแม่เหล็กเพียงเล็กน้อย

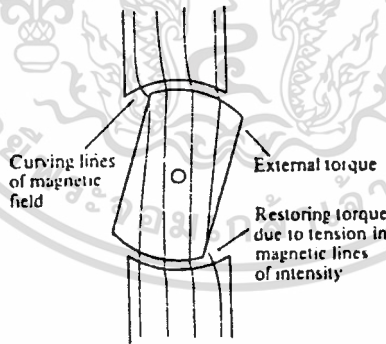
เราจะเห็นได้ว่า ซึ่งของสเตเตอร์ที่อยู่ในเฟสเดียวกันจะต้องมีขั้วเหมือนกันหรือต่างกัน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี-20-ไปใช้

เมื่อเทียบกับอีกอันหนึ่ง เราสมมุติว่าซี่ของสเตเตอร์ทั้งสองมีซี่ตรงข้ามกัน ดังนั้น ในรูป 3.9 ที่ 1, II และ III เป็นซี่เหนือ และซี่ I', II' และ III' เป็นซี่ใต้เมื่อมีการกระตุ้นเกิดขึ้น กระแสในแต่ละเฟสถูกควบคุมให้ปิด/เปิดด้วยสวิตช์ ถ้ามีการป้อนกระแสให้ขดลวดของ เฟล 1 หรืออีกนัยหนึ่งเฟล 1 ถูกกระตุ้น เส้นแรงแม่เหล็กจะเกิดขึ้นดังรูป 3.10 โรเตอร์ก็จะ



รูปที่ 3.10 ตำแหน่งสมมูลเมื่อเฟสที่ 1 ของมอเตอร์ถูกกระตุ้น

เคลื่อนที่เพื่อวางตัวให้คู่ I I', II II', และ III III' วางตัวเป็นเส้นตรง เมื่อซี่ของสเตเตอร์กับโรเตอร์วางตัวเป็นเส้นตรง แรงเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กจะน้อยที่สุด และจุดนี้เองที่เป็นจุดสมมูลตั้งที่เคยกล่าวถึงมาแล้ว ถ้าโรเตอร์ถูกทำให้เคลื่อนที่จากจุดสมมูล หรือกล่าวว่ามีแรงบิดมากกระทำต่อแกนของโรเตอร์ แรงเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดแรงบิดต้านกลับ ดังแสดงในรูป

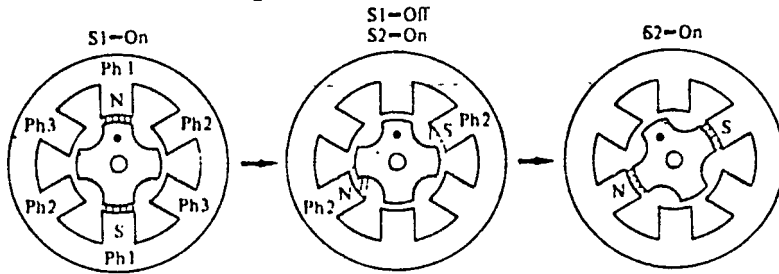


รูปที่ 3.11 เส้นแรงแม่เหล็กที่สร้างแรงบิด

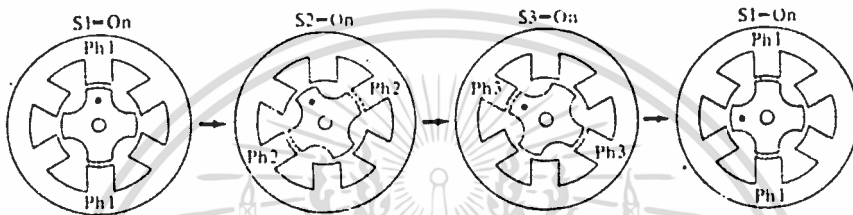
3.11 จากรูปเดียวกันนี้ เมื่อซี่ของสเตเตอร์กับโรเตอร์วางตัวไม่เป็นเส้นตรงขณะที่มีการกระตุ้นแรงเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กจะมีค่าสูง โรเตอร์-มอเตอร์จะพยายามทำให้ค่าแรงเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กมีค่าต่ำที่สุด ดังนั้น ถ้าเฟล 1 หยุดการกระตุ้นและเฟล 2 ถูกกระตุ้นดังแสดงในรูป 3.12 โรเตอร์จะหมุนไปเป็นมุม 30 องศาในทิศตามเข็มนาฬิกาเพื่อวางตัวในแนวที่ทำให้แรงเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กมีค่าน้อยที่สุด การเคลื่อนที่ดังกล่าวนี้เราเรียกว่า การเคลื่อนที่ 1 สเต็ป ถ้าเราเปิด/ปิดสวิตช์ตามลำดับ มอเตอร์ก็จะหมุนไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ดังแสดงในรูป 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารนำร่องของโครงการวิจัยของ สวทช. เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่เป็น 21- นำไปใช้

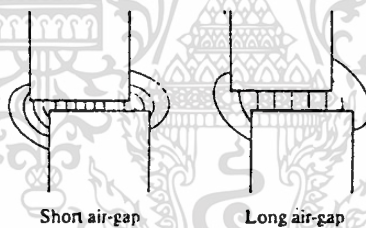
(๑) ช่องอากาศจะต้องเล็กที่สุดเท่าที่จะเล็กได้ ช่องอากาศบริเวณซี่ของสเตเตอร์



รูปที่ 3.12 การเคลื่อนที่เมื่อมีการสวิตซ์การกระตุ้นจากเฟส 1 ไปเฟส 2



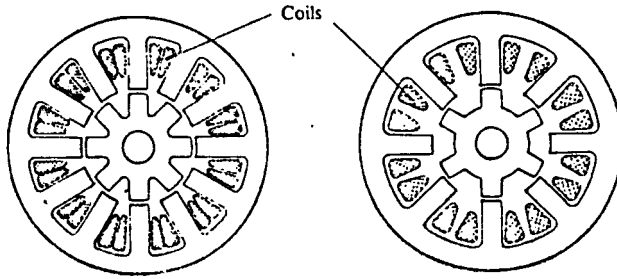
รูปที่ 3.13 การเคลื่อนที่เมื่อมีการสวิตซ์การกระตุ้นอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 3.14 การเปรียบเทียบเส้นแรงแม่เหล็กในช่องอากาศที่กว้างและแคบ

กับโรเตอร์ในสเต็ปป์มอเตอร์จะต้องเล็กที่สุดเท่าที่จะเล็กได้ เพื่อให้แรงบิดมีค่าสูงๆ ในโรเตอร์ที่มีปริมาตรเล็กๆ และเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมตำแหน่งให้สูงขึ้นด้วย การเปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์ที่มีช่องอากาศมากและน้อยดังแสดงในรูป 3.14 ถ้าสนามแม่เหล็กมีปริมาณเท่ากัน มอเตอร์ที่มีช่องอากาศเล็กจะให้เส้นแรงแม่เหล็กมากกว่ามอเตอร์ที่มีช่องอากาศมาก จึงมีผลทำให้แรงบิดต้านกลับมีค่ามากกว่า แสดงให้เห็นว่าสำหรับมอเตอร์ที่มีช่องอากาศเล็ก ระยะทางที่เบนไปจากจุดสมดุลเมื่อมีแรงบิดภายนอกมากกระทำที่แกนของโรเตอร์จะน้อยกว่ามอเตอร์ที่มีช่องอากาศมาก ขนาดของช่องอากาศในปัจจุบันมีค่าประมาณ 30 ถึง 100 ไมโครเมตร

(๒) มุมสเต็ปมีค่าเล็ก ลักษณะพิเศษอย่างหนึ่งของสเต็ปป์มอเตอร์ก็คือสามารถทำให้มุมสเต็ปมีค่าเล็กได้ มุมสเต็ป 30 องศาที่เห็นในรูป 3.10 ยังไม่ใช่มุมที่เล็ก รูป 13.15(a) แสดงถึงมอเตอร์ 3 เฟสที่มี 12 ซี่สเตเตอร์และ 8 ซี่โรเตอร์ ซึ่งมีมากเป็น 2 เท่าของรูป 3.10 รูป 13.15(b) แสดงถึงมอเตอร์ 4 เฟส 8 ซี่สเตเตอร์และ 6 ซี่โรเตอร์ มุมสเต็ปของโครง



รูปที่ 3.15 (a)

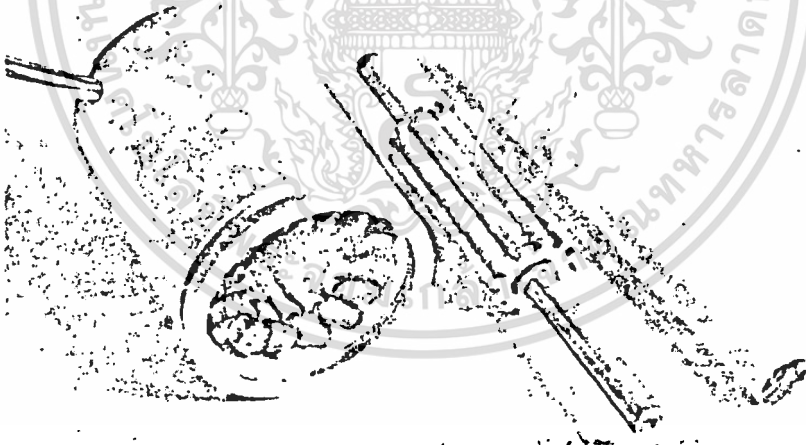
(b)

ภาพตัดขวางของวีอาร์-มอเตอร์ 15 องศาต่อสเต็ป (a) มอเตอร์ 3 เฟส

ซีสเตเตอร์ = 12 และซีโรเตอร์ = 8 (b) มอเตอร์ 4 เฟส ซีสเตเตอร์

= 8 และซีโรเตอร์ = 6

สร้างทั้งสองแบบคือ 15 องศา รูป 3.16 แสดงถึงมอเตอร์ 4 เฟส 7.5 องศาต่อสเต็ป (มุมสเต็ป = 7.5) มี 16 ซีสเตเตอร์ และ 12 ซีโรเตอร์ ดังที่เห็นในรูป โรเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์จะถูกทำให้บางมากขึ้นเพื่อเป็นการลดแรงเฉื่อยของโรเตอร์



รูปที่ 3.16 สเตเตอร์และโรเตอร์ของวีอาร์-มอเตอร์ 4 เฟส 7.5 องศาต่อสเต็ป

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสเต็ป θ_s , จำนวนเฟส m , จำนวนซี่ของโรเตอร์ N_r และ สเต็ปนัมเบอร์ s คือ

$$s = 360/\theta_s = mN_r$$

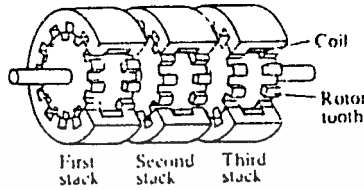
(c) สเต็ปมอเตอร์ชนิดหลายชั้นและชั้นเดียว (MULTI-STACK TYPE AND SINGLE-STACK TYPE) วีอาร์-มอเตอร์ที่กล่าวมาทั้งหมดตั้งแต่ต้นนั้นเป็นแบบชั้นเดียว หรือกล่าว

อีกนัยหนึ่งว่า เฟสของมอเตอร์เรียงตัวกันเพียงชั้นเดียว (ระนาบเดียว) วีอาร์-มอเตอร์แบบที่มี

หลายชั้นหรือที่เราเรียกว่า "แบบคาสเคด" (CASCADE) ก็มีรูปตัดขวางของมอเตอร์ 3 ชั้นแสดง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

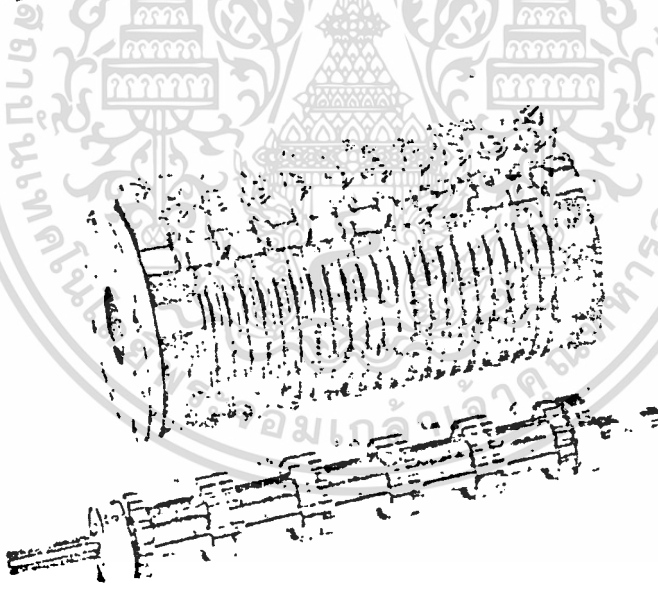
ในรูป 3.17 ตามรูป แต่ละชั้นจะเป็นของแต่ละเฟส โดยมีจำนวนของขีลสเตเตอร์และโรเตอร์เท่ากัน เราสมมุติว่าเฟสที่ 3 ถูกกระตุ้น และซี่ของสเตเตอร์กับโรเตอร์วางตัวเป็นเส้นตรง ดังนั้น ซี่ของสเตเตอร์กับโรเตอร์ในเฟสอื่นก็จะวางตัวเหลื่อมกันเป็นระยะ $1/3$ ของระยะห่างของแต่ละซี่



รูปที่ 3.17 โครงสร้างของวีอาร์-มอเตอร์แบบหลายขั้ว

(TOOTH PITCH) ดังแสดงในรูป ทิศทางของการเคลื่อนจะตรงข้ามกันในเฟส 2 และ 3 ถ้ามีการกระตุ้นเปลี่ยนจากเฟส 3 เป็นเฟส 1 โรเตอร์จะหมุน 1 สเล็ปในทิศตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากทางด้านซ้าย แต่ถ้าการกระตุ้นเปลี่ยนจากเฟส 3 เป็นเฟส 2 โรเตอร์ก็จะหมุน 1 สเล็ปในทิศทวนเข็มนาฬิกา

รูป 3.18 แสดงรูปของสเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์แบบ 5 ขั้ว



รูปที่ 3.18 สเตเตอร์และโรเตอร์ของวีอาร์-มอเตอร์แบบ 5 ขั้ว

3.3 โหมด (MODE) ของการกระตุ้น

การกระตุ้นสเล็ปมอเตอร์เพื่อให้สเล็ปมอเตอร์หมุนในทิศทางที่เราต้องการนั้น สามารถกระตุ้นได้หลายแบบ แต่ในที่นี้จะขอเลือกกล่าวเพียง 3 แบบเท่านั้น คือ

3.3.1 การกระตุ้นแบบเฟสเดียว (SINGLE-PHASE EXCITATION)

ตาราง 3.3 แสดงลำดับของการกระตุ้นในโมดนี้สำหรับมอเตอร์ 3 เฟสและ 4 เฟส ส่วนที่เอเรกว่าในตารางแสดงภาวะของการถูกกระตุ้น ถ้ามีการหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกาด้วยการกระตุ้น ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี-24-ไปใช้

ตามลำดับเฟส 1 → 2 → 3 → 1 → ... มันจะหมุนในทิศทางเข็มนาฬิกาด้วยการเพียง
 แต่กลับลำดับการกระตุ้นเป็น 3 → 2 → 1 → 3 → ...

(1) Three-phase motor

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	■			■			■		
Phase 2		■			■			■	
Phase 3			■			■			■

(2) Four-phase motor

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	■				■				■
Phase 2		■				■			
Phase 3			■				■		
Phase 4				■				■	

Pulses									
--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Note: Symbol 'R' indicates 'reset'.

ตารางที่ 3.3 ลำดับการกระตุ้นแบบเฟสเดี่ยวสำหรับมอเตอร์ 3 และ 4 เฟส

3.3.2 การกระตุ้นแบบ 2 เฟส (TWO-PHASE EXCITATION)

จากตาราง 3.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการกระตุ้นเปลี่ยนจากเฟสหนึ่งไปยังอีกเฟสหนึ่ง (แสดงตามลูกศรในตาราง 3.4(1), เฟส 2 หยุดกระตุ้น และเฟส 1 ถูกกระตุ้น) เฟสที่ 3 (เฟส 3 ตามรูปบน) ยังคงถูกกระตุ้นอยู่

ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของสี่สเตเตอร์กับซีโรเตอร์ที่จุดสมดุลแสดงในรูปที่ 3.19 ที่ของสเตเตอร์กับโรเตอร์ไม่ได้เรียงตัวกันเป็นเส้นตรงเหมือนกับการกระตุ้นแบบเฟสเดี่ยว การเคลื่อนที่ของมอเตอร์ 3 เฟสแสดงไว้ด้วยรูปภาพตัดขวางในรูป 3.20

ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างการกระตุ้นแบบเฟสเดี่ยวและ 2 เฟสจะปรากฏในผลตอบสนองช่วงเริ่มต้น (TRANSIENT RESPONSE) ดังแสดงในรูป 3.21 ในการกระตุ้นแบบ 2 เฟส การกวัดแกว่งจะลดลงอย่างรวดเร็วกว่าการกระตุ้นแบบเฟสเดี่ยว ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นชัดได้ด้วยรูป 3.22 และ 3.23

3.3.3 การกระตุ้นแบบฮาล์ฟสเต็ป (HALF-STEP EXCITATION)

เป็นการกระตุ้นที่ผสมกันระหว่างการกระตุ้นแบบเฟสเดี่ยวและแบบ 2 เฟส ซึ่งมีลำดับการกระตุ้นแสดงในตาราง 3.5 จำนวนพัลส์ที่ป้อนเป็นได้ 2 แบบ คือ แบบ (A) กับแบบ (B) ในแบบ (A) การเปลี่ยนตำแหน่งจะเกิดขึ้นในขณะที่มีการกระตุ้นแบบเฟสเดี่ยวเท่านั้น ส่วนการเคลื่อนที่ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) Three-phase motor

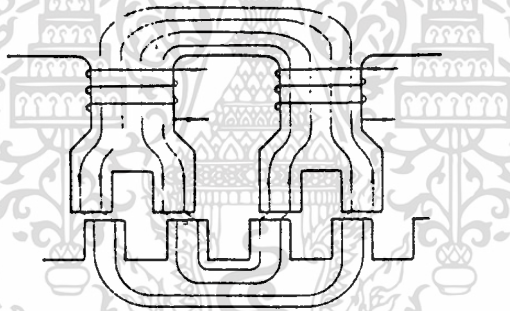
Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	■	■	→	■	■	■	■	■	■
Phase 2	■	■	→	■	■	■	■	■	■
Phase 3	■	■	■	■	■	■	■	■	■

↑ 3
↓ 1 → 2
↓ 2
↓ 3

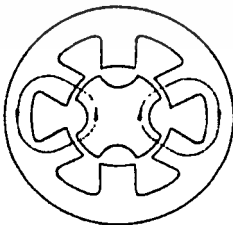
(2) Four-phase motor

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Phase 2	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Phase 3	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Phase 4	■	■	■	■	■	■	■	■	■

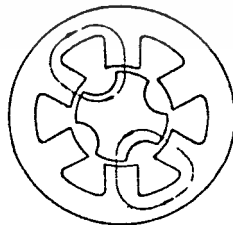
ตารางที่ 3.4 ลำดับการกระตุ้นแบบ 2 เฟสสำหรับมอเตอร์ 3 และ 4 เฟส



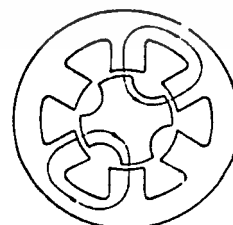
รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของซีโรเตอร์และซีสเตเตอร์ในการกระตุ้นแบบ 2 เฟส



(R)

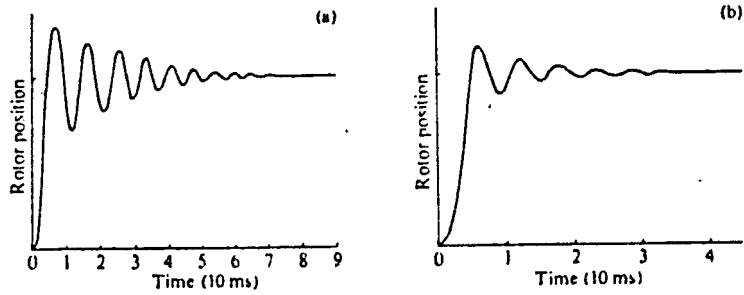


(1)

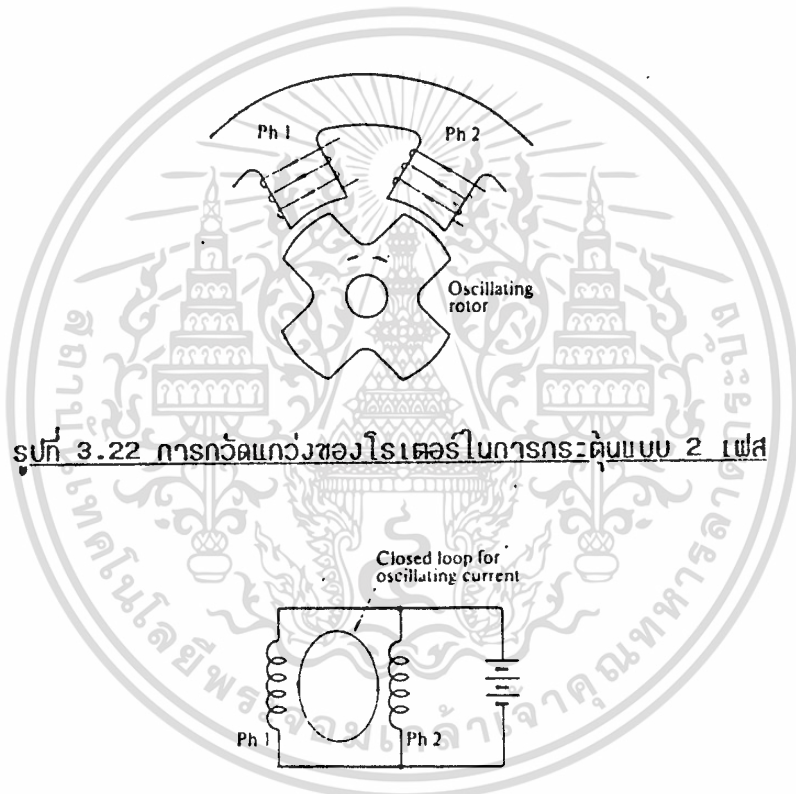


(2)

รูปที่ 3.20 การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กสำหรับการกระตุ้นแบบ 2 เฟสในวีอาร์-มอเตอร์ ที่จากจุดสมมูลจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจะเป็นการกระตุ้นแบบ 2 เฟสเพื่อลดการกักแวง หรืออีกทีหนึ่งการเปลี่ยนจุดสมมูลจะเกิดขึ้นจากการกระตุ้นทั้งสองแบบ (แบบ (B)) * ซึ่งจะมีผลทำให้



รูปที่ 3.21 ผลตอบสนองต่อการกระตุ้นแบบ (a) เฟสเดียว (b) 2 เฟส



รูปที่ 3.22 การกวัดแกว่งของโรเตอร์ในการกระตุ้นแบบ 2 เฟส

รูปที่ 3.23 สวิตช์ของกระแสที่กวัดแกว่ง

มุมสแต็ปลดลงครึ่งหนึ่ง

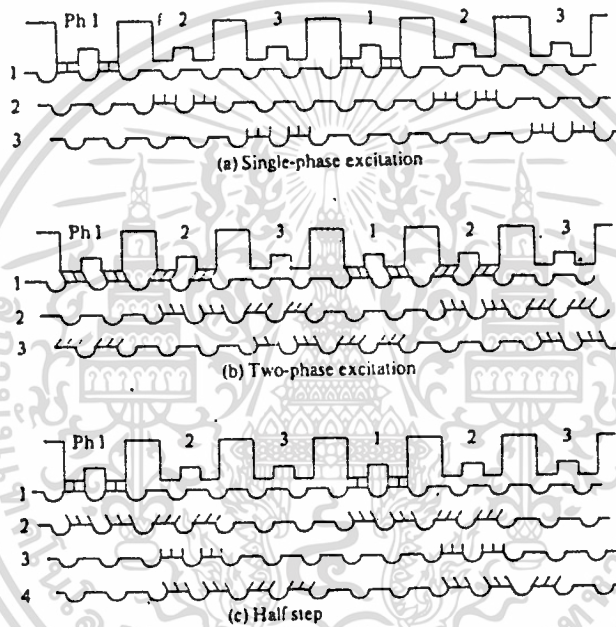
การเปรียบเทียบระหว่างการกระตุ้นแบบ 1 เฟส , 2 เฟส และ การกระตุ้นแบบฮาล์ฟสแต็ปในการเลื่อนมอเตอร์แบบ 3 เฟสแสดงไว้ในรูป 3.24 ในมอเตอร์ที่มีมากกว่า 4 เฟส การขับเคลื่อนฮาล์ฟสแต็ปสามารถทำได้โดยการกระตุ้น 2 และ 3 เฟส หรือ 3 และ 4 เฟสต่อการกระตุ้นแต่ละครั้ง

3.4 ชื่อค่าคุณสมบัติของสเต็ปมอเตอร์

3.4.1 **คุณลักษณะทางสแต็ป** ซึ่งหมายถึง คุณลักษณะของมอเตอร์ที่ได้รับการกระตุ้นแล้ว แต่ยังไม่

Clock state (A)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Clock state (B)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Phase 1		■	■			■	■	■		
Phase 2			■	■				■	■	■
Phase 3				■	■	■				■

ตารางที่ 3.5 ลำดับการกระตุ้นแบบสเฟสเต็ม

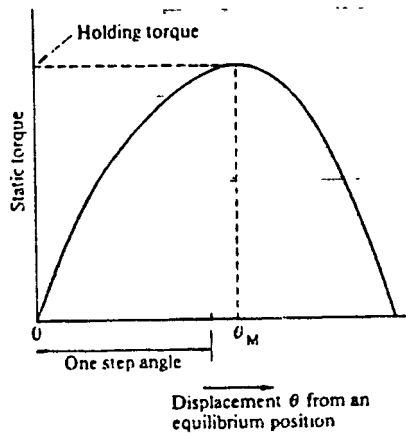


รูปที่ 3.24 การเปรียบเทียบการขับแบบเฟสเดียว แบบสองเฟส และแบบสเฟสเต็ม

การเคลื่อนที่ใด

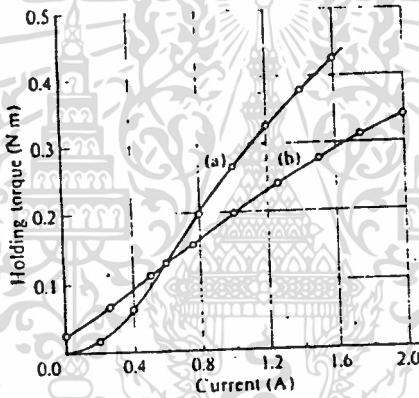
(1) T/θ สเต็มปิ้งมอเตอร์ที่หยุด ณ จุดสมมูล ถ้ามีแรงบิดภายนอกกระทำ จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่เป็นมุมเกิดขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดภายนอกกับระยะทางสามารถแสดงได้ดังรูป 3.25 กราฟรูปนี้เราเรียกว่า "กราฟแสดงคุณลักษณะของ T/θ " ค่าสแตติกทอร์คสูงสุดก็คือค่า "โวลติงทอร์ค" นั่นเองที่ปรากฏที่ $\theta = \theta_m$ ดังรูป 3.25 ที่ตำแหน่งมากกว่า ค่าสแตติกทอร์คไม่ได้กระทำในทิศเข้าหาจุดสมมูล แต่กลับกระทำออกไปสู่จุดสมมูลถัดไป มุมที่ทำให้เกิดโวลติงทอร์คไม่จำเป็นที่จะต้องห่างจากจุดสมมูล 1 มุมสเต็มเสมอไป

(2) T/I ค่าโวลติงทอร์คเพิ่มค่าตามกระแส ทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสเกิดขึ้น รูปที่ 3.26 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของแรงบิดกับกระแสของไฮบริดจ์-มอเตอร์กับวีอาร์-มอเตอร์ซึ่งมอเตอร์ทั้งสองมีมุมสเต็มเท่ากับ 1.8 องศา ค่าสแตติกทอร์คสูงสุดที่ปรากฏของ



รูปที่ 3.25 กราฟแสดงคุณลักษณะของ T/θ

สถิติกอมอเตอร์ขณะที่ไม่มีกระแสก็คือค่า "ดีเทนทอร์ก" นั่นเอง



รูปที่ 3.26 ตัวอย่างของกราฟ T/I (a) 1.8 องศาต่อสเต็ป 4 เฟส วีอาร์-มอเตอร์

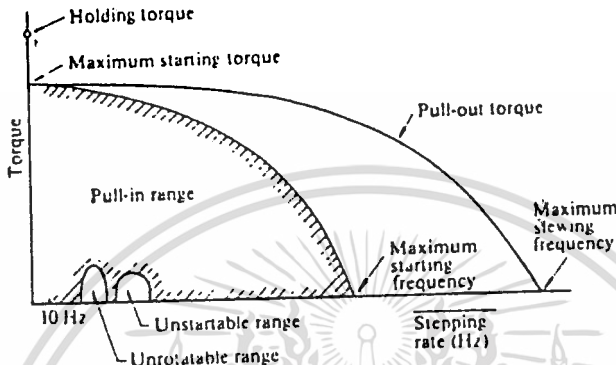
(b) 1.8 องศาต่อสเต็ป 4 เฟส ไฮบริด-มอเตอร์

(HYBRID MOTOR)

3.4.2 คุณสมบัติทางไดนามิก หมายถึง คุณสมบัติของมอเตอร์ขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนหรือเคลื่อนที่

(1) คุณสมบัติของแรงบิดพูลอิน (PULL-IN TORQUE CHARACTERISTIC) นี้คือชื่อเรียกคุณสมบัติการเริ่มหมุนของมอเตอร์เมื่อเทียบกับช่วงของความผิดที่เกิดจากแรงบิดของภาระในขณะที่ยังไม่สามารถหมุนและหยุดหมุนโดยที่ยังไม่สูญเสียการควบคุมได้ด้วยความถี่ของขบวนพัลส์ต่างกัน จำนวนของพัลส์ที่ใช้ในการทดสอบคือ 100 ที่ใช้คำว่า "ช่วง" แทนที่จะใช้คำว่า "ค่าสูงสุด" เพราะมอเตอร์ไม่สามารถเริ่มหมุนหรือรักษาการหมุนตามปกติที่ความผิดของภาระมีค่าเล็กน้อยในช่วงความถี่ที่แน่นอนดังแสดงในรูป 3.27 เมื่อกล่าวถึงแรงบิดพูลอิน ก็จำเป็นที่จะต้องกำหนดให้ชัดเจนลงไปถึงวงจรที่ใช้ขับมอเตอร์, วิธีการวัด และแรงเฉื่อยที่ประกับที่ติดกับแกนหมุน โดยทั่วไปช่วงการเริ่มหมุนด้วยตัวเองจะลดลงถ้าแรงเฉื่อยมีการเพิ่มขึ้น

(2) คุณสมบัติของแรงบิดพูลเอจท์ (PULL-OUT TORQUE CHARACTERISTIC) คือชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งของอัตราสลูว์ริง (SLEWING RATE) หลังจากการทดสอบให้มอเตอร์เริ่มหมุนด้วยตัวเอง ด้วยวางจรรยาที่แน่นอนในโมดของการกระตุ้นที่กำหนด ถ้าให้ความถี่ของพัลส์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ มอเตอร์จะหลุดจากการควบคุม ความล้มพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างแรงบิดของภาระกับค่าความถี่ของพัลส์สูงสุดที่มอเตอร์ได้รับและยังอยู่ในการควบคุมได้ เรียกว่า คุณสมบัติของแรงบิดพูลเอจท์ (ดูรูป 3.27)



รูปที่ 3.27 คุณสมบัติทางไดนามิก

กราฟนี้จะขึ้นอยู่กับบางจรรยา, คลัปปิง (COUPLING), เครื่องมีอวัต และเงื่อนไขอื่น ๆ

(3) ค่าความถี่เริ่มต้นสูงสุด (THE MAXIMUM STARTING FREQUENCY) คือการกำหนดความถี่ควบคุมสูงสุดที่มอเตอร์ที่ยังไม่มีภาระ สามารถหมุนและหยุดหมุนได้โดยไม่สูญเสียการควบคุม

(4) อัตราพูลเอจท์สูงสุด (MAXIMUM PULL-OUT RATE) คือการกำหนดค่าความถี่สูงสุด (STEPPING RATE) ที่มอเตอร์ที่ยังไม่มีภาระ สามารถหมุนและหยุดหมุนได้โดยไม่สูญเสียการควบคุม หรือที่เราเรียกว่า "ความถี่สลูว์ริงสูงสุด"

(5) แรงบิดเริ่มต้นสูงสุด (MAXIMUM STARTING TORQUE) หรืออีกนัยหนึ่งคือ "แรงบิดพูลอินสูงสุด" (MAXIMUM PULL-IN TORQUE) คือการกำหนดค่าความถี่ที่เกิดจากแรงบิดของภาระสูงสุดที่มอเตอร์สามารถเริ่มหมุนและยังสามารถควบคุมได้ด้วยขบวนพัลส์ที่มีความถี่ต่ำถึง 10 เฮิรตซ์ได้

3.5 วงจรขับมอเตอร์ (DRIVES CIRCUITS)

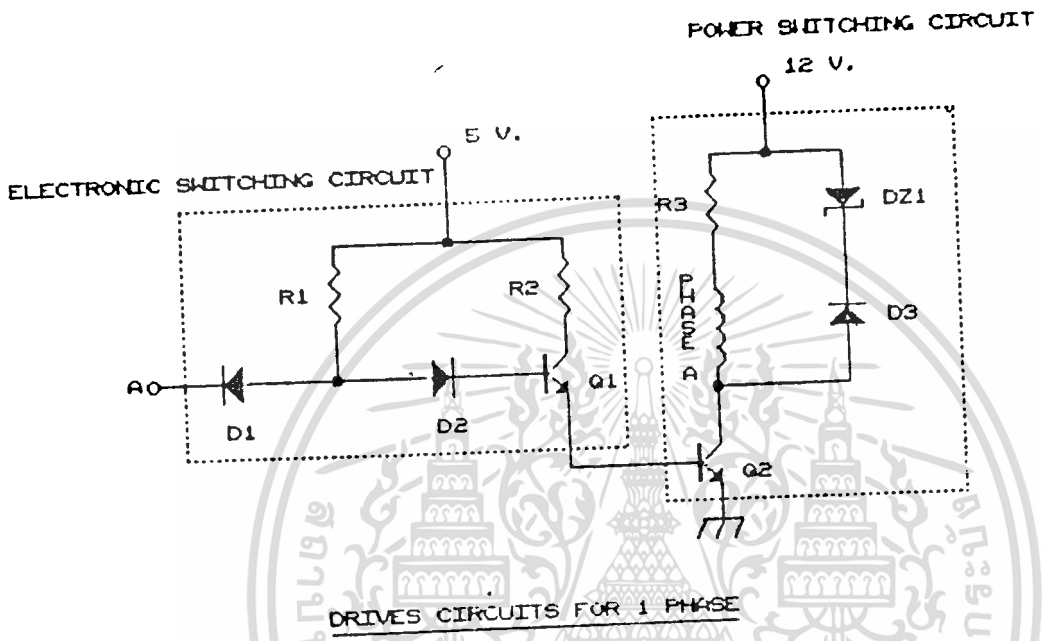
สัญญาณเอจท์ที่มาจากซีเคานเซอร์ถูกส่งมาที่อินพุทของวงจรรขับเพื่อที่จะเป็นการกระตุ้นขดลวดของสเต็ปมิ่งมอเตอร์ วิธีที่ง่ายที่สุดก็คือต่อเอจท์ที่มาจากซีเคานเซอร์เข้ากับอินพุทของวงจรรขับโดยตรง แต่ถ้ากระแสที่ออกจากเอจท์ที่มาจากซีเคานเซอร์ไม่เพียงพอที่จะขับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ก็จำเป็นที่จะต้องต่อบัฟเฟอร์สำหรับเพิ่มกระแสสำหรับขับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังแสดงในรูป

3.28

จากรูปจะเห็นได้ว่า ขณะที่เฟลนนี้ยังไม่ได้รับการกระตุ้น คือมีโวลิจคูนธ์จากเอจท์ที่มาจากซีเคานเซอร์มาเข้าที่อินพุทของเพาเวอร์แอมป์ลิไฟเออร์ จะมีกระแสไหลผ่าน R1 ผ่านไดโอด D1 ทำให้ Q1 ปิด, เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q2 ก็จะไม่ปิดด้วย ทำให้เฟลนนี้ไม่ได้รับการกระตุ้น แต่ถ้า

เมื่อไรก็ตามที่เฟสนี้ได้รับโวลิจหนึ่งจากซีเควนเซอร์ จะทำให้มีกระแสไหลผ่าน R1 ผ่านไดโอด D2 ไปสวิตช์ให้ Q1 เปิด ก็จะมีกระแสคอลเลคเตอร์ไหลผ่าน R2 ไปสวิตช์ให้ Q2 เปิด ขดลวดของ สเต็ปปิ้งมอเตอร์ของเฟสนี้ก็จะได้รับการกระตุ้น

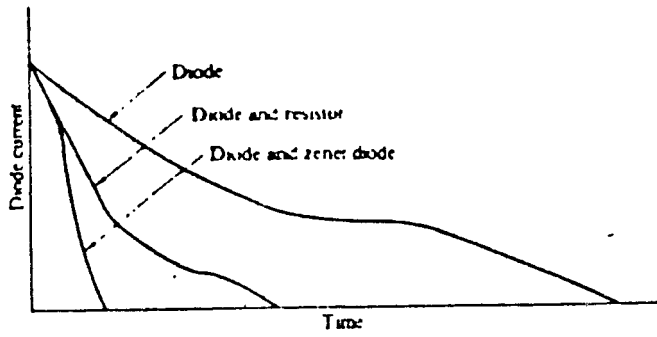
เมื่อ Q2 ปิด จะทำให้เกิดค่าความต่างศักย์สูงขึ้นค่าหนึ่งอันเนื่องมาจาก $L(di/dt)$ และอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อ Q2 ได้ มีหลายวิธีที่จะกันสไปร์คโวลต์เตจ (SPIKE)



รูปที่ 3.28 วงจรขับ

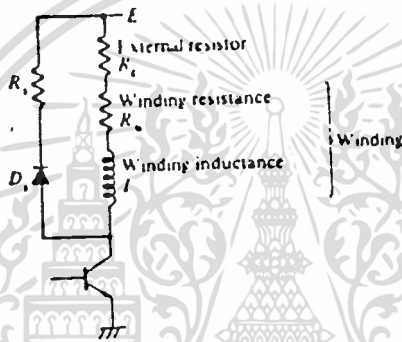
VOLTAGE) และทรานซิสเตอร์ สำหรับบางจรงตังรูป เราใช้วิธีป้องกันโดยใช้ไดโอดกับซินเนอร์ไดโอด (DIODE AND ZENER DIODE SUPPRESSOR) ในการลดค่ากระแสไหลวนที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งเมื่อเทียบกับวิธีอื่นแล้ว จะได้คุณสมบัติในการลดกระแสไหลวนได้ในเวลาอันรวดเร็วกว่า ดังรูปที่ 3.28

เมื่อทรานซิสเตอร์เปิดเพื่อกระตุ้นเฟสผลของตัวเหนี่ยวนำจะพยายามต้านกระแสที่แหล่งจ่ายไฟจะจ่ายมา กระตุ้นขดลวดในทิศทางตรงกันข้าม ยิ่งมีการสวิตช์ซึ่งที่ความถี่สูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการสลายพลังงานก็ยิ่งจะมีค่ามากขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้แรงบิดมีค่าลดลง ผลตอบสนองก็จะลดลงด้วยวิธีที่ง่ายที่สุดที่จะลดเวลาในการสลายพลังงานก็คือต่อ R อนุกรมกับขดลวด ค่าไทม์คอนสแตนท์ของวงจรจะลดลงจาก L/R_w ไปเป็น $L/(R_w + R_s)$ ดังรูปที่ 3.30 วิธีนี้ถึงแม้จะเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด แต่ก็ยังมีข้อเสียอยู่อย่างหนึ่งก็คือจะมีการสูญเสียพลังงานที่เกิดจาก R ที่เพิ่มเข้าไปนั้นสูง



Comparison of effects of various suppressor schemes.

รูปที่ 3.29 การเปรียบเทียบระหว่างวงจรซัพเพรสเซอร์ (SUPPRESSOR) แบบต่างๆ



Improving build-up by putting R_e in series with the winding and raising supply potential E

รูปที่ 3.30 การลดค่าไค์ก่อนสแตนท์ของวงจร

4. ออปโต อินเตอร์รัพเตอร์ โมดูล

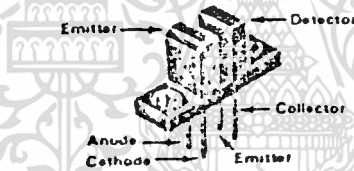
ออปโต อินเตอร์รัพเตอร์ โมดูลเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ (SENSOR) ประเภทหนึ่ง อุปกรณ์ชนิดนี้ประกอบด้วยกัลเลียมอาร์เซไนด์อินฟราเรดอิมิตติ้งไดโอด (GALLIUM ARSENIDE INFRARED EMITTING DIODE) กับซิลิกอนทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็น-พี-เอ็น ช่องที่ปรากฏอยู่บนตัวอุปกรณ์ที่อยู่ระหว่างอิมิตเตอร์กับดีเทคเตอร์จะเป็นส่วนที่ใช้เป็นที่สำหรับการจัดสัญญาณ อุปกรณ์ชนิดนี้มักจะใช้กับเครื่องมือประเภทเครื่องชี้ตำแหน่งหรืออุปกรณ์สำหรับบอกการเคลื่อนที่, เครื่องชี้ตำแหน่งหยุดของเทป หรือ เครื่องควบคุมการป้อนกระดาษ เป็นต้น

4.1 ลักษณะทั่วไป

- ความกว้างของลำแสงอินฟราเรดแคบ (1 ม.ม.)
- ง่ายต่อการประกอบลงบนแผ่นปริ้นเซอร์กิตบอร์ด (PCB)
- ราคาถูก
- การติดตั้งตรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม
- ใช้ LPE อินฟราเรดที่มีอายุการใช้งานยาวนาน

อุปกรณ์ในตระกูลนี้มีหลายเบอร์ แต่ที่เลือกใช้สำหรับโครงการนี้คือเบอร์ MOC7811

ซึ่งมีลักษณะภายนอกดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะภายนอกของออปโต อินเตอร์รัพเตอร์ โมดูล

สำหรับค่าต่างๆประจำตัวอุปกรณ์ สามารถหาอ่านได้จากใบแจ้งคุณสมบัติในภาคผนวก

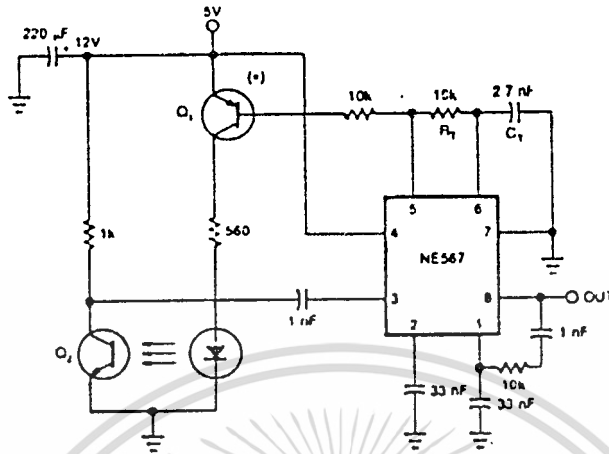
(B) ทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

4.2 การนำไปใช้งาน

ข้อดีอย่างหนึ่งของอุปกรณ์ประเภทนี้ก็คือ มันสามารถนำไปใช้งานได้ง่ายโดยไม่ต้องต่อกับอุปกรณ์อื่นใดมากนัก สำหรับการใช้งานโดยทั่วไปแล้ว เราสามารถใช้อุปกรณ์ประเภทนี้หนึ่งตัว ประกอบกับความต้านทานภายนอกเพียงไม่กี่ตัว เราก็จะสามารถนำสัญญาณที่ได้ไปใช้งานได้แล้ว ซึ่งสำหรับโครงการชิ้นนี้ก็จะใช้วิธีนี้ แต่จะขอแนะนำเทคนิคเพิ่มเติมที่เราสามารถจะนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆได้อีก โดยในที่นี้จะใช้อุปกรณ์ประเภทโทนดีโคเดอ (TONE DECODER) มาใช้ร่วมด้วย ดังที่จะอธิบายในหัวข้อต่อไป

4.3 วงจรที่ใช้ตรวจจับสัญญาณจากอินฟราเรด ออปติคัล อินเตอร์รัพเตอร์ (INFRARED OPTICAL INTERRUPTER)

เราสามารถใช้อิซซี 8 ขาและอุปกรณ์อีกเพียงไม่กี่ตัว ก็จะสามารถสร้างวงจรที่ใช้

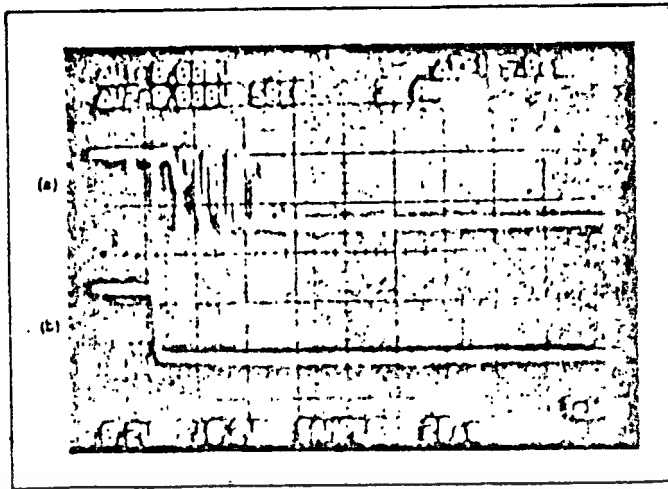


รูปที่ 4.2 วงจรที่ใช้ตรวจจับสัญญาณจากอินฟราเรด ออปติคัล อินเตอร์รัพเตอร์

NE567 โทนีโคเดเตอร์มีอุปกรณ์ที่จำเป็นทั้งหมด คือแหล่งกำเนิดความถี่ภายใน, เฟสล็อคคูปดีโคเดเตอร์ และความสามารถในกับขั้วเอาต์พุต 100 มิลลิแอมป์ แหล่งกำเนิดความถี่ภายในที่ถูกตั้งให้มีค่าที่ 40 กิโลเฮิรตซ์โดย R_T และ C_T , Q_1 เป็นซิลิกอน พี-เอ็น-พี ทรานซิสเตอร์ กำลังต่ำ เช่น 2N3906, BC559 หรือ ZTX500 Q_2 ทำหน้าที่เป็นตัวขับของ อินฟราเรด อิมิตติ้ง ไดโอด (IR-emitting DIODE) ของออปโต อินเตอร์รัพเตอร์ โมดูล (OPTO INTERRUPTER MODULE) โฟโตทรานซิสเตอร์ Q_2 ต่ออยู่กับอินพุตของเฟสล็อคคูปของตัวไอซีที่ขา 3 เมื่อ Q_2 ได้รับแสงที่เป็นความถี่จากอินฟราเรดไดโอด สัญญาณ 40 กิโลเฮิรตซ์จะปรากฏที่ขา 3 ของตัวไอซี ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว เฟสล็อคคูปจะล็อคและเอาต์พุตของตัวไอซีจะมีค่าเป็น 1 เมื่อมีอะไรก็ตามมาขวางระหว่าง LED กับ Q_2 สัญญาณ 40 กิโลเฮิรตซ์ก็จะไปไม่ถึงอินพุตของเฟสล็อคคูป เอาต์พุตของไอซีก็จะมีค่าเป็น 0 ส่วน RC ที่ใช้ป้องกันระหว่างขา 1 กับขา 8 มีไว้ป้องกันเอาต์พุตจากการกระเพื่อมของสัญญาณ ดังรูปที่ 4.3

4.4 ข้อดีของออปโต อินเตอร์รัพเตอร์ โมดูล

ออปโต อินเตอร์รัพเตอร์ โมดูลนี้มีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ชนิดอื่น เช่น ถ้าเปรียบเทียบกับตัวตรวจจับสัญญาณแบบหน้าสัมผัสแล้ว อายุการใช้งานของออปโต อินเตอร์รัพเตอร์ โมดูลจะยาวนานกว่า เนื่องจากไม่มีส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสที่จะทำให้เกิดการสึกหรอได้ ซึ่งในอุปกรณ์ประเภทที่มีหน้าสัมผัสนั้น อายุการใช้งานจะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการที่หน้าสัมผัสนั้นถูกใช้งาน ซึ่งโอกาสที่จะมีการสึกหรอเร็วถ้ามีการใช้งานบ่อยๆก็มิได้ ซึ่งต่างกับอุปกรณ์ประเภทที่ไม่ต้องใช้น้ำสัมผัส อีกทั้งการติดออปโต อินเตอร์รัพเตอร์ โมดูลก็ง่ายและใช้อุปกรณ์น้อยดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อต้นๆ

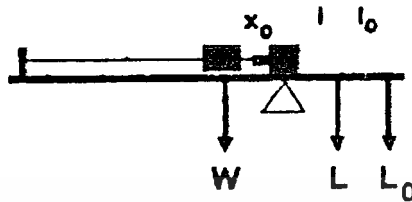


รูปที่ 4.3 รูปแสดงผลของ R กับ C ที่ใช้ป้อนกลับระหว่างขา 1 กับ 8



5. ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน

ในตอนต้นของบทนี้จะขอกล่าวถึงส่วนที่จะต้องคำนวณก่อน เพื่อจะนำค่าที่ได้นี้ไปใช้ประกอบการเขียนโปรแกรมในภายหลัง จากที่ได้กล่าวไว้ตั้งแต่ตอนต้นแล้วว่า เราสามารถที่จะหาค่าน้ำหนักของวัตถุที่เราต้องการทราบได้จากการหาโมเมนต์ของแรงทั้งหมดรอบจุดผลลัพธ์ ดังนั้น จากรูปที่ 5.1(a) จะได้ว่า



รูปที่ 5.1(a)

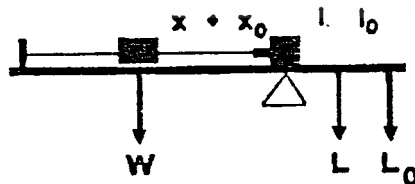
(5.1)

- โดย
- $Wx_0 = Ll + L_0l_0$
 - $W =$ น้ำหนักของน้ำหนักมาตรฐาน
 - $L =$ น้ำหนักของวัตถุที่ต้องการซึ่ง
 - $L_0 =$ น้ำหนักของน้ำหนักถ่วงสมดุล
 - $x_0 =$ ระยะทางของ W จากจุดผลลัพธ์
 - $l =$ ระยะทางของ L จากจุดผลลัพธ์
 - $l_0 =$ ระยะทางของ L_0 จากจุดผลลัพธ์

ในสภาพนี้คานจะอยู่ในสมดุล (โดย $L = 0$) ซึ่งถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของเรา เพราะฉะนั้นจะได้ว่า

$Wx_0 = L_0l_0$ (5.2)

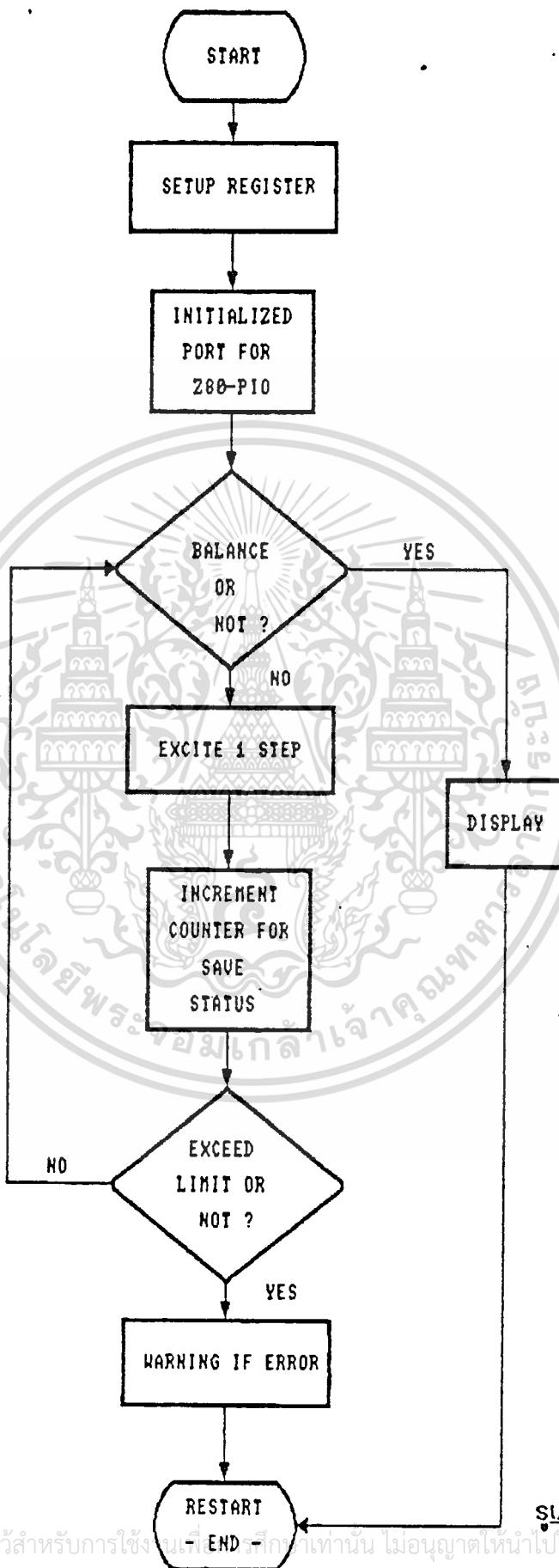
หลังจากที่ทำการวางวัตถุลงบนเครื่องซึ่งแล้ว คานจะเกิดการไม่สมดุลขึ้น มอเตอร์จะเริ่มหมุนเพื่อเลื่อนน้ำหนัก W ไปทางซ้ายเพื่อทำการเปลี่ยนโมเมนต์ของระบบให้เข้าสู่สมดุล จะได้ว่า ถ้าให้ x เท่ากับระยะซึ่งมอเตอร์เคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งหยุดนิ่ง (ดูรูป 5.1(b)) จะได้สมการที่ต้องการ คือ



รูปที่ 5.1(b)

$W(x + x_0) = Ll + L_0l_0$
 $Wx + Wx_0 - L_0l_0 = Ll$

SYSTEM FLOWCHART



รูปที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น จากสมการ 5.2 จะได้ว่า

$$L = wx/1 \quad (5.3)$$

เมื่อ w และ 1 เป็นค่าที่เราทราบอยู่แล้ว ดังนั้น คำน้่านัก (L) สามารถหาได้จากเราทราบค่า x ค่า x นี้เราสามารถหาได้ดังนี้

จากระยะห่างของแกนเกลียวที่ใช้จะได้ว่า ถ้าแกนเกลียวหมุนครบ 1 รอบ (360 องศา) น้่านักจะเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 1 ม.ม. ดังนั้น ถ้าแกนเกลียวหมุนไป 0.9 องศา (1 สเล็ป) น้่านักจะเคลื่อนที่ได้ระยะทางเท่ากับ $0.9/360$ ม.ม.
$$= 2.5 \times 10^{-3} \text{ ม.ม.}$$

ดังนั้น

$$x = 2.5 \times 10^{-3} \times \text{จำนวนของสเล็ปของมอเตอร์ที่หมุนไป} \quad (5.4)$$

โปรแกรมของส่วนที่ได้อกล่าวมาทั้งหมดนี้ สามารถดูได้ในภาคผนวก (A) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สมบูรณ์แล้วโดยมีคำอธิบายไว้ในส่วนที่จำเป็นด้วย ซึ่งจะขออธิบายในบางส่วนเพิ่มเติม ดังนี้ โดยอาศัยแผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม (FLOW CHART) ตามรูป 5.2 ประกอบด้วย

5.1 ส่วนกำหนดค่าเริ่มต้นให้รีจิสเตอร์ (SET UP REGISTER)

ส่วนนี้จะเป็นการกำหนดค่าต่างๆ ให้กับรีจิสเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ในโปรแกรม ดังนี้

รีจิสเตอร์	ค่า	กำกับที่
H	07H	กำกับการหมุนค่านี้เพื่อส่งออกทางพอร์ตของ Z-80 PIO เพื่อกำกับที่ เป็นตัวชี้แควนเซอร์ให้กับสเล็ปปีงมอเตอร์ที่หมุนในฮาล์ฟสเล็ปไบต
B, C, D	00H	รีจิสเตอร์ทั้งสามตัวถูกใช้เป็นตัวนับในการบันทึกจำนวนสเล็ปที่มอเตอร์ใช้ในการหมุน ซึ่งค่านี้ต่อไปจะถูกใช้ในการคำนวณค่าค่านักของวัตถุที่ต้องการ :

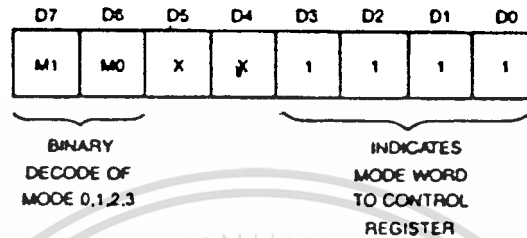
5.2 การกำหนดพอร์ตให้กับ Z-80 PIO

การโปรแกรมพอร์ตให้กับ Z-80 PIO นั้น สามารถทำได้โดยการเขียนค่าคอนโทรลเวิร์ด (CONTROL WORD) ไปที่คอนโทรลพอร์ต (CONTROL PORT) ของ Z-80 PIO ค่าของคอนโทรลเวิร์ดที่จะเขียนลงไปในนั้น แสดงได้ดังรูปที่ 5.3

จากรูปจะเห็นได้ว่า ค่า 4 บิตล่างจะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 1 หมดเพื่อเป็นการกำหนดว่าค่าที่จะเขียนต่อไปนี้จะ เป็นค่าคอนโทรลเวิร์ด ส่วนบิต D7 และ D6 จะเป็นตัวกำหนดโหมดของ Z-80 PIO ทำให้ได้ค่าคอนโทรลเวิร์ดเป็น 0FH (โหมด 0 เอาทันท์โหมด), 4FH (โหมด 1 อินพุทโหมด).

8FH (โหมด 2 ทิศทาง) และ CFH (คอนโทรลโหมด) ถ้าบิต D3-D0 ถูกกำหนดให้เป็น 1 และบิต +ไม่สนใจบิต D4 และ D5

สำหรับคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวที่ใช้ในโครงการงานชิ้นนี้ กำหนดค่าคอนโทรล คาตาพอร์ตและคอนโทรลพอร์ตไว้ดังนี้



รูปที่ 5.3 ส่วนประกอบของคอนโทรลเวิร์ดของ Z-80 PIO

A	คาตาพอร์ต	หมายเลขพอร์ต	40
B	คาตาพอร์ต	หมายเลขพอร์ต	41
A	คอนโทรลพอร์ต	หมายเลขพอร์ต	42
B	คอนโทรลพอร์ต	หมายเลขพอร์ต	43

เราต้องการให้พอร์ต A เป็นเอาต์พุตพอร์ตเพื่อทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปที่วงจรขับของมอเตอร์ (สัญญาณของซีควเอนเซอร์ที่ได้จากการหมุนค่าในรีจิสเตอร์ H) ดังนั้น เราสามารถโปรแกรมพอร์ต A ให้เป็นเอาต์พุตพอร์ตได้โดยการเขียนค่า 0FH ไปที่พอร์ตหมายเลข 42 เพราะฉะนั้น เราสามารถส่งสัญญาณไปที่วงจรขับของมอเตอร์โดยผ่านทางพอร์ตหมายเลข 40H

ในทำนองเดียวกัน เราต้องการให้พอร์ต B เป็นอินพุตพอร์ตเพื่อทำหน้าที่รับสัญญาณจากอปโต อินเตอร์รัพเตอร์ โมดูลเพื่อตรวจสอบเงื่อนไขของการสมมูลดังได้กล่าวมาแล้วในบทก่อนๆ ดังนั้น เราสามารถโปรแกรมพอร์ต B ให้เป็นอินพุตพอร์ตได้โดยการเขียนค่า 4FH ไปที่พอร์ตหมายเลข 43 เพราะฉะนั้น เราสามารถตรวจสอบเงื่อนไขของการสมมูลได้ด้วยการอ่านค่าจากพอร์ตหมายเลข 41H

5.3 การตรวจสอบความสมมูล

สามารถตรวจสอบได้โดยการอ่านค่าจากพอร์ตหมายเลข 41 ถ้ามีค่าลอจิกเป็น 1 แสดงว่าคานยังไม่อยู่ในสมมูล แต่ถ้าพอร์ตนั้นมีค่าลอจิกเป็น 0 แสดงว่าคานอยู่ในสภาวะสมมูลแล้ว

5.4 การกระตุ้นขดลวดของมอเตอร์

ในการตรวจสอบความสมมูลนั้น ถ้าผลลัพธ์ปรากฏว่าคานยังไม่อยู่ในสมมูล ไมโครโปรเซส

เซอร์ต้องทำการกระตุ้นตลาดของมอเตอร์ไป-1-สลับแล้วทำการบันทึกค่านี้ไว้ ในตอนนี้จะมีการตรวจสอบคู่ควยว่าการเคลื่อนที่ของมอเตอร์นั้น เกินขีดจำกัดที่เรากำหนดไว้แล้วหรือยัง ถ้ายังก็ให้กลับไปส่วนที่ตรวจสอบความสมดุลเพื่อตรวจสอบอีกครั้ง แต่ถ้ามอเตอร์เคลื่อนที่ถึงขีดที่เราจำกัดเอาไว้แล้ว ก็ให้ทำการส่งสัญญาณเตือน แล้วจึงทำการหมุนมอเตอร์เพื่อเลื่อนน้ำหนักกลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้นใหม่อีกครั้งหนึ่ง แต่ถ้าการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ยังอยู่ในขีดจำกัดที่เรากำหนด และมีการดำเนินการไปจนกระทั่งคานอยู่ในสมดุล เราก็จะส่งการทำงานไปยังส่วนแสดงผลทันที

5.5 ส่วนแสดงผล

ที่โปรแกรมในส่วนนี้ จะมีการนำค่าที่เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ B, C และ D ไปคำนวณเพื่อหาค่าน้ำหนักคั่งที่แสดงไว้ในตอนต้นของบทนี้แล้ว ส่วนการแสดงผลทางหน่วยแสดงผล 7 ส่วนโดยอาศัยโปรแกรมย่อยที่มีอยู่ในมอนิเตอร์รวมได้แสดงรายละเอียดไว้ในส่วนโปรแกรมในภาคผนวก (A) แล้ว หลังจากแสดงผลแล้วจะรอรับการกดคีย์เพื่อที่จะทำการเคลื่อนน้ำหนักกลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง



6. การทดลอง

จากทฤษฎีที่กล่าวมาตั้งแต่ต้นทั้ง 5 บทนั้น เราสามารถนำมาใช้ในการสร้างต้นแบบของเครื่องชั่งน้ำหนักแบบอัตโนมัติขึ้นมาได้ ซึ่งในบทนี้ จะขอกล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องต้นแบบและตัวแปรต่างๆทางกายภาพดังนี้

6.1 ถาด

ตัวถาดทำจากอะลูมิเนียมซึ่งมีน้ำหนักเบา จากบทที่ 2 ทำให้เราทราบว่า ถาดานที่ใช้ยังมีน้ำหนักเบาเท่าไร ความไวของถาดก็ยิ่งจะมีมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้น สำหรับโครงการชิ้นนี้ เราจะไม่นำน้ำหนักของถาดมาพิจารณาในการคำนวณ

สำหรับการลดแรงเสียดทานของจุดที่มีหน้าสัมผัสต่างๆ ซึ่งมีอยู่ที่ตลับลูกปืนที่เราใช้เป็นจุดสมดุลและจุดรองรับแกนหมุนของแกนเกลียว กับหน้าสัมผัสระหว่างแกนเกลียวขณะที่หมุนกับน้ำหนักมาตรฐาน เราจะใช้การลดแรงเสียดทานด้วยน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งสามารถจะช่วยให้บ้าง แต่ความฝืดก็ยังมีอยู่ ซึ่งเราจะต้องนำไปชดเชยในส่วนของ การเขียนโปรแกรมด้วย

6.2 ตัวแปรต่างๆที่จำเป็นในการเขียนโปรแกรม

6.2.1 สูตรหลักที่ใช้ในการคำนวณถาดน้ำหนัก

จากสมการที่ 5.1 - 5.4 ในบทที่ 5 เมื่อเราแทนค่าตัวแปรต่างๆลงไปแล้ว จะได้สูตรหลักที่ใช้ในการคำนวณถาดน้ำหนัก คือ

$$\begin{aligned} L &= Wx/1 && \text{กิโลกรัม} \\ &= Wx2.5 \times 10^{-3} \times \text{จำนวนสแต็ป} / 1 \\ &= [(2.5/2.2) \times (2.5) \times 10^{-3} / 150] \times \text{จำนวนสแต็ป} \\ &= 0.018939393 \times \text{จำนวนสแต็ป} && \text{กรัม} \end{aligned}$$

6.2.2 การจำกัดการเคลื่อนที่ของน้ำหนักมาตรฐาน

สำหรับในกรณีทั่วๆไปที่เราต้องการหาว่าน้ำหนักหนักเกินกว่าขีดจำกัดการชั่งของเครื่องชั่งนี้ ก็หมายความว่า เมื่อเราเคลื่อนน้ำหนักมาตรฐานไปบนถาดจนถึงระยะทางไกลที่สุดค่าหนึ่งก็จะต้องมีการป้องกันไม่ให้มีการเคลื่อนน้ำหนักมาตรฐานเกินกว่าค่านี้ ซึ่งในที่นี้เรากำหนดไว้ว่าไม่ให้น้ำหนักมาตรฐานเคลื่อนที่เกิน 300 ม.ม. จากจุดเริ่มต้น หรือคิดเป็นจำนวนสแต็ปได้ 120000 สแต็ป ซึ่งเราจะต้องนำค่านี้ไปใช้เป็นเงื่อนไขสำหรับตรวจสอบในโปรแกรม

**** สำหรับรายละเอียดของโปรแกรมสามารถดูได้ในภาคผนวก (A) ****

7. ผลการทดสอบระบบสรุป

การทดลองเครื่องต้นแบบของเครื่องซึ่งอัตโนมัตินี้ ผลปรากฏว่าได้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจนัก คำน้่านักที่แสดงบนหน่วยแสดงผล 7 ส่วนให้ค่าที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ตั้งสามารถอธิบายสรุปได้ดังนี้

7.1 ความผิดพลาด ความผิดพลาดเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดของโครงการชิ้นนี้ ถึงแม้ว่าจะมีการหล่อลื่นด้วยน้ำมันเครื่องแล้วก็ตาม โดยเฉพาะจุดผลลัพธ์เป็นจุดที่สำคัญที่สุด เพราะจากการทดลอง เราไม่สามารถปรับให้ค่าน้อยในลมคูลได้ในช่วงแคบที่สุดตามที่เรต้องการ ช่วงลมคูลของคานจะมีค่ามาก ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากความผิดพลาดที่จุดผลลัพธ์นี้เอง

7.2 ข้อจำกัดในการแสดงผลทางหน่วยแสดงผล 7 ส่วน จากสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าค่าน้ำหนักที่ต้องการ การที่นำค่าที่ได้แสดงออกทางหน่วยแสดงผล 7 ส่วนนั้น เราจะอาศัยโปรแกรมย่อยในมอนิเตอร์โปรแกรม (MONITOR PROGRAM) ช่วยเพื่อความสะดวก ดังนั้น ข้อจำกัดของการแสดงผลจะขึ้นอยู่กับโปรแกรมหดงกล่าว ก่อนจะมาพิจารณาข้อจำกัดดังกล่าว จะขอกล่าวสั้นๆถึงขั้นตอนการแสดงผลดังนี้

1. ทำการนำค่าที่คำนวณได้ซึ่งอยู่ในรูปเลขฐานสิบหกมาแปลงให้เป็นเลขฐานสิบก่อน โดยอาศัยซิลเต็มคอลล (SYSTEM CALL) ที่ใช้โคด (CODE) 0AH (รายละเอียดเกี่ยวกับซิลเต็มคอลลของโคดหมายเลขต่างขนั้นสามารถหาอ่านจากคู่มือการใช้คอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยว Z-80 ทั่วไป) โดยโปรแกรมย่อยจะนำเอาเลขฐานสิบหก 2 ไบท์ (4 หลัก) มาเปลี่ยนเป็นเลขฐานสิบ (5 หลัก) ในแอดเดรสที่กำหนด
2. นำค่าที่ได้ไปเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ (BUFFER) แล้วทำการเปลี่ยนค่าในบัฟเฟอร์ให้เป็นค่าเซกเมนต์โคด (SEGMENT CODE) แล้วนำไปเก็บไว้ในดิสเพลย์บัฟเฟอร์ (DISPLAY BUFFER) ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดสามารถทำได้โดยการใช้ซิลเต็มคอลล โคด 07H
3. นำค่าที่ได้ออกแสดงผล ด้วยซิลเต็มคอลล โคด 02H
4. จะต้องมีส่วนหนึ่งของโปรแกรมทำการสงวนดิสเพลย์บัฟเฟอร์ไว้สำหรับการแสดงหน่วยของน้ำหนัก (กรัม) ด้วย หน่วยแสดงผล 7 ส่วนของคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวที่ใช้มี 6 หลัก ใช้แสดงหน่วยเสีย 2 หลัก ดังนั้น จะเหลือจำนวนหลักไว้แสดงค่าน้ำหนักที่เหลือ 4 หลัก คือสามารถจะแสดงผลได้ไม่เกิน 9999 กรัม

จากข้อจำกัดดังกล่าว จะได้ว่า ไม่ว่าจะค่าที่คำนวณได้จะมีความละเอียดเท่าไรค่าที่เราสามารถนำไปแสดงผลได้เมื่อคิดเป็นเลขฐานสิบหกต้องมีความยาวเพียง 2 ไบท์เท่านั้น ดังนั้น ส่วนที่เกิน 2 ไบท์ไปต้องตัดทิ้งหรือคิดให้เป็น 0 ไป และจากขีดจำกัดในการเคลื่อนที่ของน้ำหนักมาตรฐานในหัวข้อ 6.2.2 และจากสมการหลักสำหรับการคำนวณค่าน้ำหนัก จะได้ค่าน้ำหนักที่สามารถวัดได้คือ

$$0.018939393 \times 120000 = 2272 \text{ กรัม} \quad (7.1)$$

7.3 การปรับเบี่ยงเบน น้ำหนักมาตรฐานที่ใช้มีหน่วยเป็นปอนด์ เมื่อเราต้องการแสดงค่าน้ำหนัก

มีหน้าเป็นกรัม ดังนั้น จะต้องมีการเปลี่ยนหน่วยเสียก่อน คือ น้ำหนักมาตรฐานที่ใช้หนัก 2.5 ปอนด์ หรือเท่ากับ $2.5/2.2 = 1136.363636$ กรัม การที่ต้องมีการคำนวณเลขทศนิยมต้องมีการปัดจุด จึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้ ...

7.4 ส่วนอื่นๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีสาเหตุอื่นอีกที่อาจทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการวัดขึ้นได้ เช่น เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำหนักมาตรฐาน แกนเกลียวซึ่งมีความยาวนั้นจะเกิดการแกว่ง ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้การเข้าสู่สมมูลของคานาคลาดเคลื่อนไปจากปกติ หรือจากสาเหตุอื่นอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น ลม หรือการสั่นสะเทือนจากภายนอก ล้วนเป็นปัจจัยที่จะทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการวัดได้ทั้งสิ้น

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่า ปัญหาบางอย่างเราสามารถแก้ได้ แต่ปัญหาบางอย่างก็ไม่สามารถแก้ได้ ดังนั้น เราต้องมีการปรับค่าตัวแปรต่างๆ หรือมีการชดเชยบางประการ เพื่อให้ผลที่ออกมาอยู่ในเกณฑ์ที่เราสามารถยอมรับได้ สำหรับโครงการชิ้นนี้ งานที่สร้างมาเป็นเพียงต้นแบบเท่านั้น ยังมีส่วนที่ต้องแก้ไขปรับปรุงอีกมาก จึงจะสามารถนำไปใช้งานจริงได้





```

0000      CPU  "Z80.TBL"
0000      HOF  "INT8"
4000      ORG  4000H

```

```

;::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::

```

```

;:                                                                 :

```

```

;:      Start program      :

```

```

;:                                                                 :

```

```

;::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::

```

```

4000      NEW:

```

```

4000 3615      LD  A,15H      ;Title sound
4002 D7       BST  10H
4003 3E0D      LD  A,00H      ;Display 'ready' for start
4005 D7       RST  10H
4006 2G07      LD  H,07H      ;Use to drive stepped motor in HALF-STEP mode
4008 1600      LD  D,00H
400A 010000    LD  BC,0000H      ;Counter for calculate moment
400D 3E0F      LD  A,0FH      ;Port A is 'OUT'
400F D342      OUT (42H),A
4011 3E4F      LD  A,4FH      ;Port B is 'IN'
4013 D343      OUT (43H),A

4015      AGAIN:
4015 DB41      IN  A,(41H)      ;Balance or not?
4017 CB47      BIT  00H,A
4019 CA5D44    JP  Z,DISPLAY      ;Balance -> Go to Display routine
401C 7C       LD  A,H          ;If not -> excite one step and
401D D340      OUT (40H),A      ;      increment counter to
401F CDEA44    CALL WAIT        ;      keep status
4022 CB0C      RRC  H
4024 03       INC  BC

```

```

;::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::

```

```

;:                                                                 :

```

```

;:      Compare routine      :

```


4040 C31540

JP AGAIN

;XX

;# #

;# Multiple-Precision Binary Multiplication #

;# Routine #

;# #

;# ----- #

;# HL = Base address of multiplicand #

;# DS = Base Address of multiplier #

;# B = Length of the arrays #

;# #

;# Multiplicand replaced by multiplicand #

;# times multiplier #

;# #

;# #

;XX

4043 MPBMUL:

4043 78 LD A,B

4044 A7 AND A

4045 C8 RET Z

4046 48 LD C,B

4047 0600 LD B,0

4049 09 ADD HL,BC

404A 8B EX DE,HL

404B 22AE40 LD (MULTER),HL

404E 21B040 LD HL,HIPROD

4051 09 ADD HL,BC

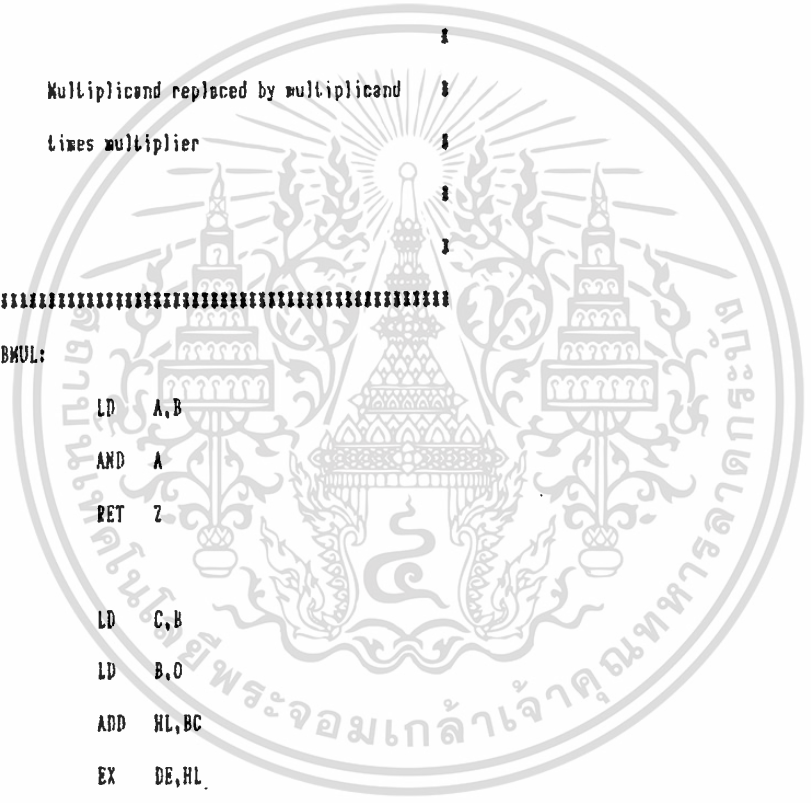
4052 22AC40 LD (ENDHP),HL

4055 69 LD L,C

4056 60 LD H,B

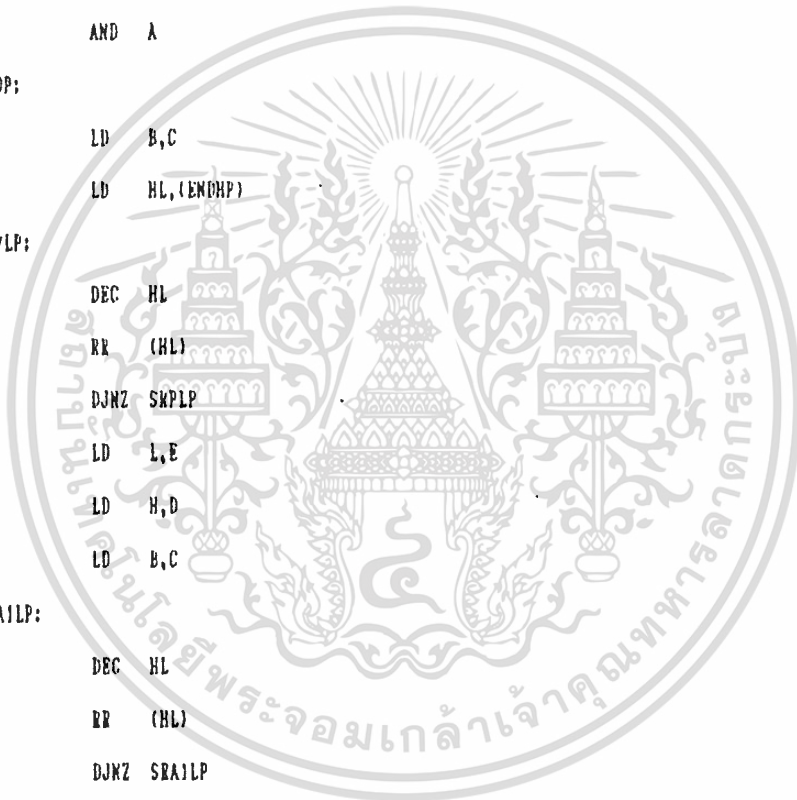
4057 29 ADD HL,HL

4058 29 ADD HL,HL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4059 29		ADD HL,HL
405A 23		INC HL
405B 22AA40		LD (COUNT),HL
405E	ZEROPD:	
405E 41		LD B,C
405F 21B040		LD HL,HIPROD
4062	ZEROLP:	
4062 3600		LD (HL),0
4064 23		INC HL
4065 10FB		DJNZ ZEROLP
4067 A7		AND A
4068	LOOP:	
4068 41		LD B,C
4069 2AAC40		LD HL,(ENDHP)
406C	SKPLP:	
406C 2B		DEC HL
406D CB1E		RR (HL)
406F 10FB		DJNZ SKPLP
4071 6B		LD L,E
4072 62		LD H,D
4073 41		LD B,C
4074	SRA1LP:	
4074 2B		DEC HL
4075 CB1E		RR (HL)
4077 10FB		DJNZ SRA1LP
4079 D28E40		JP NC,DECCNT
407C D5		PUSH DE
407D ED5B40		LD DE,(MLIER)
4081 21B040		LD HL,HIPROD
4084 41		LD B,C
4085 A7		AND A
4086	ADDLP:	
4086 1A		LD A,(DE)



```

4087 8E      ADC  A,(HL)
4088 77      LD   (HL),A
4089 -13     INC  DE
408A 23      INC  HL
408B 10F9    DJNZ ADDLP
408D D1      POP  DE
408E      DECCNT:
408E 3AAA40   LD   A,(COUNT)
4091 3D      DEC  A
4092 32AA40   LD   (COUNT),A
4095 C26840   JP   NZ,LOOP
4098 F5      PUSH AF
4099 3AAB40   LD   A,(COUNT+1)
409C A7      AND  A
409D CAA840   JP   Z,EXIT
40A0 3D      DEC  A
40A1 32AB40   LD   (COUNT+1),A
40A4 F1      POP  AF
40A5 C36840   JP   LOOP
40A8      EXIT:
40A8 F1      POP  AF
40A9 C9      RET

40AA      COUNT:  DFS  2
40AC      ENDHP:   DFS  2
40AE      MLLEN:   DFS  2
40B0      HIPROD: DFS  255

```

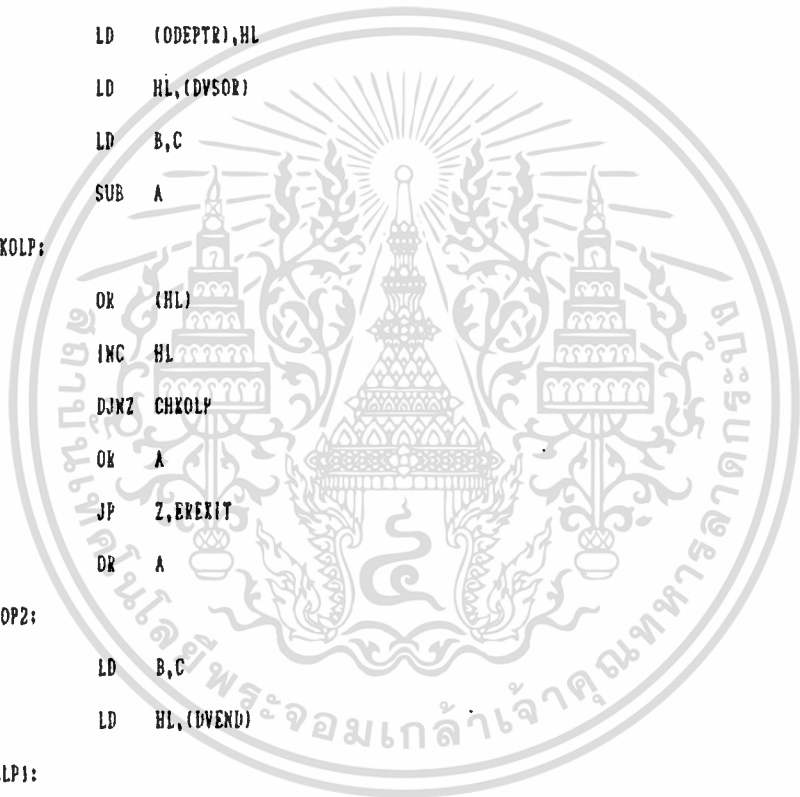
```

;::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::
;
; Multiple-Precision Binary Division
;
; Routine
;

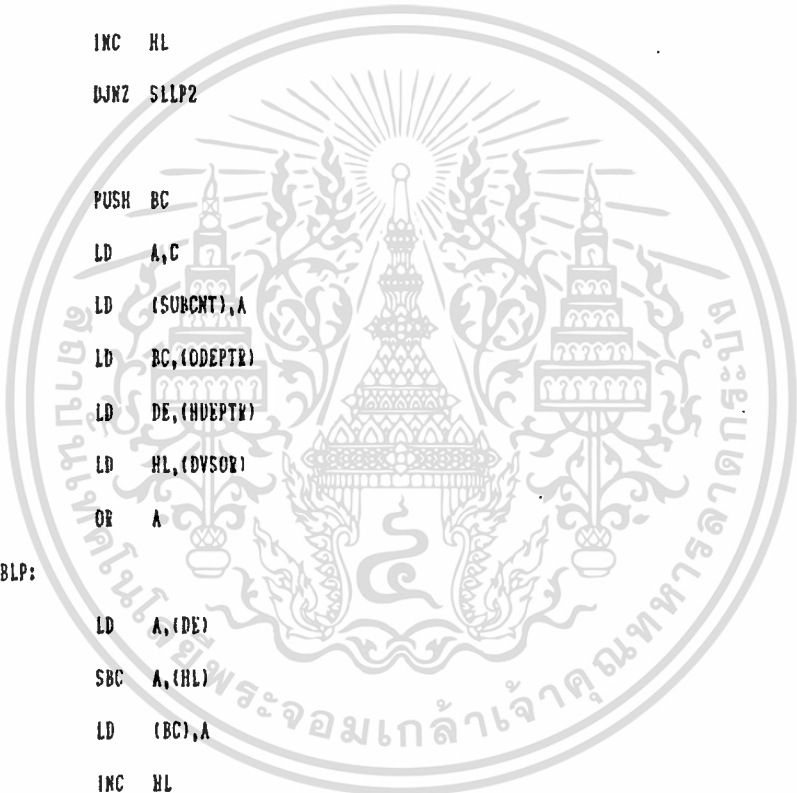
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

41CD 97		SUR	A
41CE	ZEROLP2:		
41CE 77		LD	(HL);A
41CF 12		LD	(DE),A
41D0 23		INC	HL
41D1 13		INC	DE
41D2 10FA		DJNZ	ZEROLP2
41D4 215F42		LD	HL,HIDE1
41D7 225042		LD	(HDEPTR),HL
41DA 215E43		LD	HL,HIDE2
41DD 225A42		LD	(ODEPTR),HL
41E0 2A5642		LD	HL,(DVSOR)
41E3 41		LD	B,C
41E4 97		SUB	A
41E5	CHKOLP:		
41E5 B6		OR	(HL)
41E6 23		INC	HL
41E7 10FC		DJNZ	CHKOLP
41E9 B7		OR	A
41EA CA4B42		JP	Z,EREXIT
41ED B7		OR	A
41EE	LOOP2:		
41EE 41		LD	B,C
41EF 2A5442		LD	HL,(DVEND)
41F2	SLLP1:		
41F2 CB16		RL	(HL)
41F4 23		INC	HL
41F5 10FB		DJNZ	SLLP1
41F7	DECCNT2:		
41F7 3A5C42		LD	A,(COUNT2)
41FA 3D		DEC	A
41FB 325C42		LD	(COUNT2),A



41FE C20B42	JP	NZ,CONT
4201 3A5D42	LD	A,(COUNT2+1)
4204 3D	DEC	A ~
4205 325D42	LD	(COUNT2+1),A
4208 FA4F42	JP	M,OKEXIT
420B	CONT:	
420B 2A5842	LD	HL,(HDEPTK)
420E 41	LD	B,C
420F	SLLP2:	
420F CB16	RL	(HL)
4211 23	INC	HL
4212 10FB	DJNZ	SLLP2
4214 C5	PUSH	BC
4215 79	LD	A,C
4216 325E42	LD	(SUBCNT),A
4219 ED4B5A42	LD	BC,(CODEPTR)
421D ED5B5842	LD	DE,(HDEPTV)
4221 2A5642	LD	HL,(DVSOR)
4224 B7	OR	A
4225	SUBLP:	
4225 1A	LD	A,(DE)
4226 9E	SBC	A,(HL)
4227 02	LD	(BC),A
4228 23	INC	HL
4229 13	INC	DE
422A 03	INC	BC
422B 3A5E42	LD	A,(SUBCNT)
422E 8D	DEC	A
422F 325F42	LD	(SUBCNT),A
4232 C22542	JP	NZ,SUBLP
4235 C1	POP	BC
4236 3F	CCF	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

4237 D2BB41      JP   NC, LOOP2
423A 2A5842      LD   HL, (HDEPTR)
423D ED5B5A42    LD   DE, (ODEPTR)
4241 225A42      LD   (ODEPTR), HL
4244 BD535842    LD   (HDEPTR), DE
4248 C3EE41      JP   LOOP2
424B            EXEXIT:
424B 37          SCF
424C C35042      JP   EXIT2
424F            OKEXIT:
424F B7          OR   A
4250            EXIT2:
4250 2A5842      LD   HL, (HDEPTR)
4253 C9          RET

4254            DVEND:   DFS  2
4256            DVSOR:   DFS  2
4258            HDEPTR:  DFS  2
425A            ODEPTR:  DFS  2
425C            COUNT2:  DFS  2
425E            SURCNT:  DFS  1
425F            HIDE1:   DFS  255
435E            HIDE2:   DFS  255

```

```

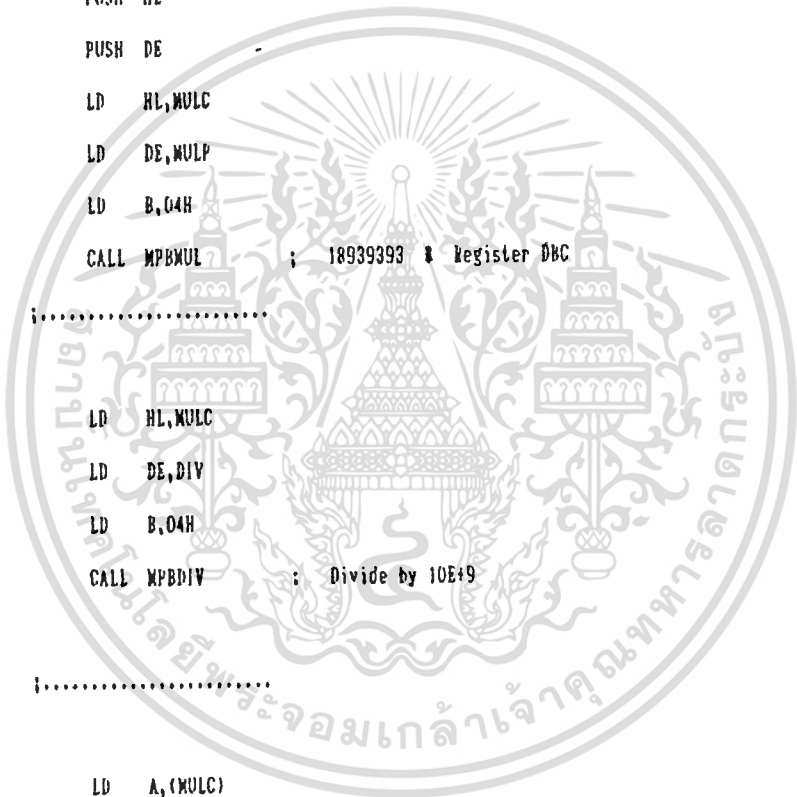
;#####
;
; Calculate & Display Weight Routine
; -----
;
; Load = 0.018939393 # number of steps
;
;#####

```

```

445D          DISPLAY:
445D 79       LD   A,C
445E 32BE44   LD   (MULC),A
4461 78       LD   A,B
4462 32BF44   LD   (MULC+1),A
4465 7A       LD   A,D
4466 32C044   LD   (MULC+2),A
4469 97       SUB  A
446A 32C144   LD   (MULC+3),A
446D C5       PUSH BC
446E E5       PUSH HL
446F D5       PUSH DE
4470 21BE44   LD   HL,MULC
4473 11B644   LD   DE,MULP
4476 0604     LD   B,04H
4478 CD4340   CALL MPBWUL ; 18939393 & Register 0BC
;.....
447B 21BE44   LD   HL,MULC
447E 11B644   LD   DE,DIV
4481 0604     LD   B,04H
4483 CD4F41   CALL MPBDIV ; Divide by 10E+9
;.....
4486 3ABE44   LD   A,(MULC)
4489 32F25F   LD   (5FF2H),A
448C 3ABF44   LD   A,(MULC+1)
448F 32F35F   LD   (5FF3H),A
4492 350A     LD   A,0AH
4494 D7       RST 10H ; Hex TO Dec(10)
;.....

```



```

4495 3AF45F      LD  A,(5FF4H)
4498 32EF5F      LD  (5FEFH),A
449B 3AF55F      LD  A,(5FF5H)
449E 32F05F      LD  (5FF0H),A
44A1 3E07        LD  A,07H
44A3 07          RST 10H      ; Move data to display buffer

```

.....

```

44A4 97          SUB  A
44A5 32EB5F      LD  (5FERH),A ; ( To show unit in gram l g. )
44A8 3EEF        LD  A,0EFH
44AA 32EC5F      LD  (5FECH),A

```

.....

```

44AD 3E02        LD  A,02H      ; - D I S P L A Y -
44AF 07          RST 10H      ; and wait for keypress

```

```

44B0 01          POP DE
44B1 01          POP HL
44B2 01          POP BC
44B3 03C844      JP  BACK

```

```

44B6 01      MULP:  DFB 01H
44B7 0B      DFB 0FEH
44B8 20      DFB 20H
44B9 01      DFB 01H

```

```

44BA 00      DIV:   DFB 00H
44BB CA      DFB 0CAH

```

44BC 9A DFB 9AH

44BD 3B DFB 3BH

44BE MVLCL DFS 4

;::

;: ::

;: Display error routine ::

;: ::

;::

44C2 ERROR:

44C2 3E0E LD A,0EH

44C4 D7 RST 10H

44C5 C3C844 JP BACK

;::

;: ::

;: Routine to Home Position ::

;: ::

;::

44C8 BACK:

44C8 7C LD A,H

44C9 B340 OUT (40H),A

44CB CDEA44 CALL WAIT

44CE CB04 RLC H

44D0 0B DEC .BC

44D1 DD210000 LD IX,0000H

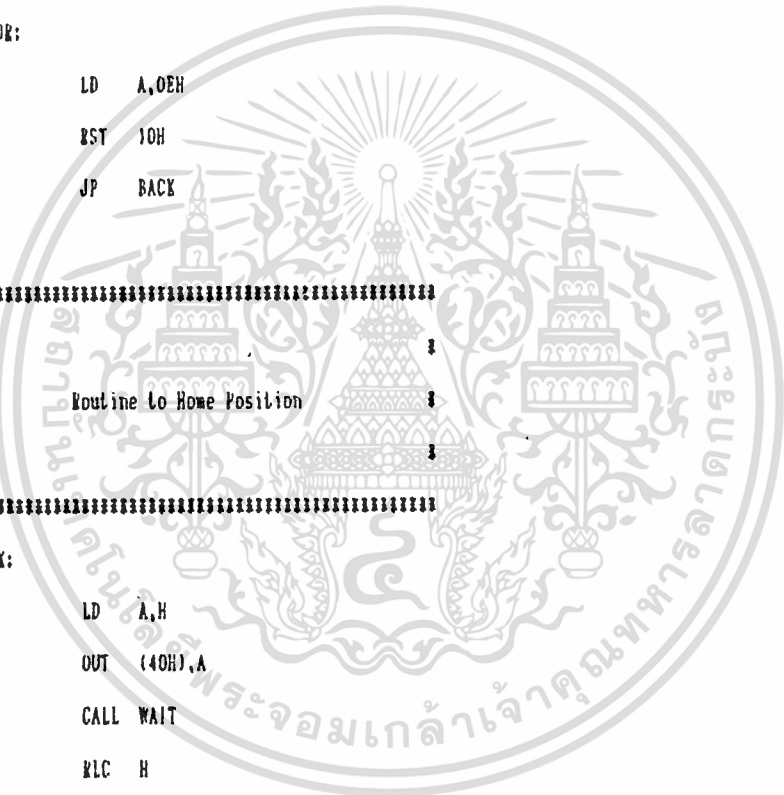
44D5 E5 PUSH HL

44D6 3B1C LD A,16H

44D8 D7 RST 10H

44D9 E1 POP HL

44DA C2C844 JP NZ,BACK



4080 HIPROD	4068 LOOP	418E LOOP2
40AE MLIER	41AF MPBDIV	4043 MPRMUL
44BE MULC	4486 MULP	4000 MEM
425A ODEPTR	424F OREXIT	41F2 SLLP1
42DF SLLP2	4074 SKA1LP	406C SRPLP
425E SUBCNT	4225 SUBLP	4034 TJ
44EA WAIT	4062 ZEKOLP	41CE ZEKOLP2
405E ZEROPD		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MOTOROLA

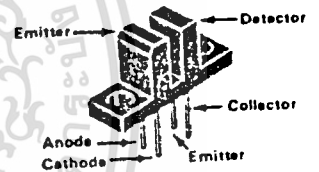
MOC7811 MOC7821
MOC7812 MOC7822
MOC7813 MOC7823

OPTO SLOTTED COUPLER/INTERRUPTER MODULES

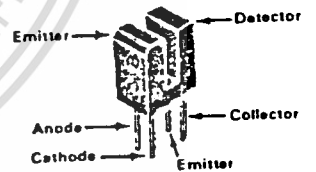
These devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode facing a silicon NPN phototransistor in a molded plastic housing. A slot in the housing between the emitter and the detector provides a means of interrupting the signal. They are widely used in position and motion indicators, end of tape indicators, paper feed controls and arcless switches.

- 1.0 mm Aperture
- Easy PCB Mounting
- Cost Effective
- Industry Standard Configuration
- Uses Long-Lived LPE IRED

**OPTO SLOTTED COUPLER
 TRANSISTOR OUTPUT**



(MOC7811, 12, 13 only)
 CASE 354A-01



(MOC7821, 22, 23 only)
 CASE 354A-01

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS: (25°C)

Rating	Symbol	Value	Unit
TOTAL DEVICE			
Storage Temperature	T_{stg}	-40 to +100	°C
Operating Temperature	T_J	-40 to +100	°C
Lead Soldering Temperature (5 seconds maximum)	T_L	260	°C
INFRARED EMITTING DIODE			
Power Dissipation	P_D	150*	mW
Forward Current (Continuous)	I_F	50	mA
Reverse Voltage	V_R	6.0	V
PHOTOTRANSISTOR			
Power Dissipation	P_D	150**	mW
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	30	V

*Derate 2.0 mW/°C above 25°C ambient
 **Derate 2.0 mW/°C above 25° ambient

INDIVIDUAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS: (25°C) (See Note 1)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
EMITTER					
Reverse Breakdown Voltage ($I_R = 100 \mu A$)	$V_{(BR)R}$	6.0	—	—	V
Forward Voltage ($I_F = 50 mA$)	V_F	—	1.3	1.8	V
Reverse Current ($V_R = 6.0 V, R_L = 10 M\Omega$)	I_R	—	50	—	nA
Capacitance ($V = 0, f = 1 MHz$)	C_i	—	26	—	pF
DETECTOR					
Breakdown Voltage ($I_C = 10 mA, H = 0$)	$V_{(BR)CEO}$	30	—	—	V
Collector Dark Current ($V_{CE} = 10 V, H = 0$)	I_{CEO}	—	—	100	nA

Note 1: Stray irradiation can alter values of characteristics. Adequate shielding should be provided.

MOC7811 Series

COUPLED ELECTRICAL CHARACTERISTICS: (25°C) (See Note 1)

Characteristics	Symbol	MOC7811/7821			MOC7812/7822			MOC7813/7823			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$I_f = 5.0 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$	$I_{CE(ON)}$	0.15	—	—	0.30	—	—	0.60	—	—	mA
$I_f = 20 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$	$I_{CE(ON)}$	1.0	—	—	2.0	—	—	4.0	—	—	mA
$I_f = 30 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$	$I_{CE(ON)}$	1.9	—	—	3.0	—	—	5.5	—	—	mA
$I_f = 20 \text{ mA}$, $I_C = 1.8 \text{ mA}$	$V_{CE(SAT)}$	—	—	—	—	—	0.40	—	—	0.40	V
$I_f = 30 \text{ mA}$, $I_C = 1.8 \text{ mA}$	$V_{CE(SAT)}$	—	—	0.40	—	—	—	—	—	—	V
$V_{CC} = 5.0 \text{ V}$, $I_f = 30 \text{ mA}$, $R_L = 2.5 \text{ k}\Omega$	t_{ON}	—	12	—	—	12	—	12	—	—	μs
$V_{CC} = 5.0 \text{ V}$, $I_f = 30 \text{ mA}$, $R_L = 2.5 \text{ k}\Omega$	t_{OFF}	—	60	—	—	60	—	60	—	—	μs

Note 1. Stray irradiation can alter values of characteristics. Adequate shielding should be provided.

FIGURE 1 — OUTPUT CURRENT versus INPUT CURRENT

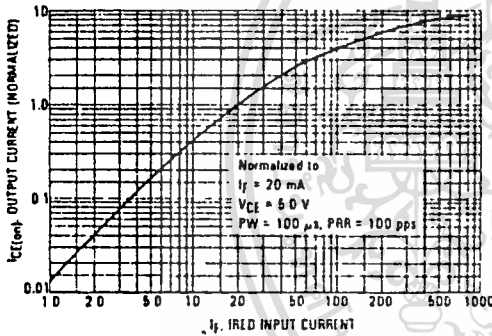


FIGURE 2 — t_{ON} , t_{OFF} versus LOAD RESISTANCE

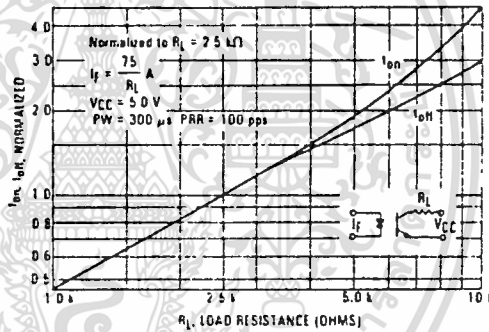
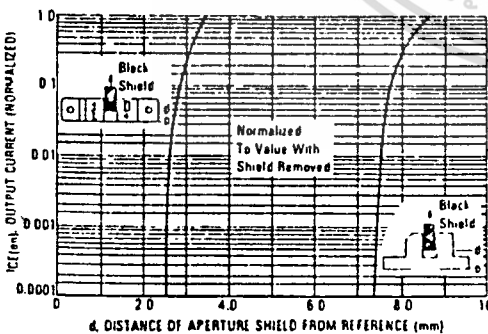


FIGURE 3 — OUTPUT CURRENT versus POSITION OF SHIELD COVERING APERTURE



NOTE:

1. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
2. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
3. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
4. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
5. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
6. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
7. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
8. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
9. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
10. Same as Case 354A-01 but with the following changes:

CASE 354A-01

NOTE:

1. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
2. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
3. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
4. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
5. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
6. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
7. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
8. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
9. Same as Case 354A-01 but with the following changes:
10. Same as Case 354A-01 but with the following changes:

CASE 354-01

Monolithic Tone Decoder

GENERAL DESCRIPTION

The XR-567 is a monolithic phase-locked loop system designed for general purpose tone and frequency decoding. The circuit operates over a wide frequency band of 0.01 Hz to 500 kHz and contains a logic compatible output which can sink up to 100 milliamps of load current. The bandwidth, center frequency, and output delay are independently determined by the selection of four external components.

Figure 1 contains a functional block diagram of the complete monolithic system. The circuit consists of a phase detector, low-pass filter, and current-controlled oscillator which comprise the basic phase-locked loop; plus an additional low-pass filter and quadrature detector that enable the system to distinguish between the presence or absence of an input signal at the center frequency.

FEATURES

- Bandwidth adjustable from 0 to 147.
- Logic compatible output with 100mA current sinking capability.
- Highly stable center frequency.
- Center frequency adjustable from 0.01 Hz to 500 kHz
- Inherent immunity to false signals.
- High rejection of out-of-band signals and noise.
- Frequency range adjustable over 20:1 range by external resistor.

APPLICATIONS

- Touch-Tone™ Decoding
- Sequential Tone Decoding
- Communications Paging
- Ultrasonic Remote Control
- Telemetry Decoding

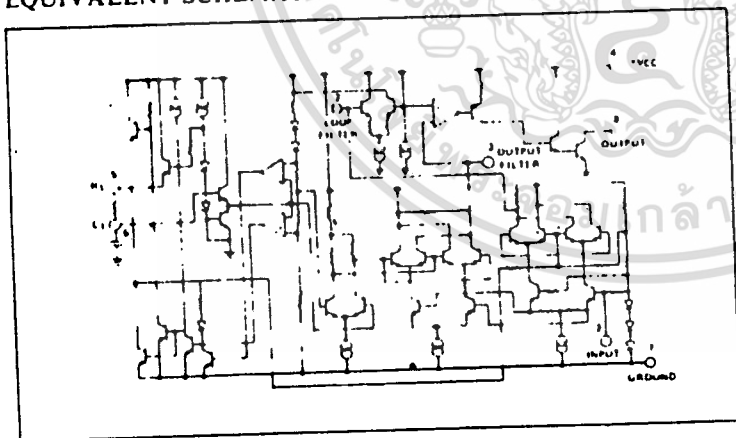
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply	10 volts
Power Dissipation (package limitation)	
Ceramic package	-385 mW
Plastic Package	300 mW
Derate above +25°C	2.5 mW/°C
Temperature	
Operating	
XR-567M	-55°C to +125°C
XR-567CN/567CP	0°C to +70°C
Storage	-65°C to +150°C

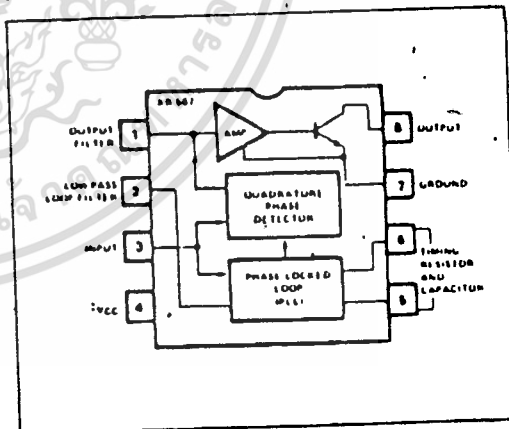
ORDER INFORMATION

Part Number	Package	Operating Temperature
XR-567M	Ceramic	-55°C to +125°C
XR-567CN	Ceramic	0°C to +75°C
XR-567CP	Plastic	0°C to +75°C

EQUIVALENT SCHEMATIC DIAGRAM



FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



10-79 REV 3

Test Conditions: V_{CC} = +5V. T_A = 25°C, unless otherwise specified. Test circuit of Figure 2.

CHARACTERISTICS	LIMITS			UNITS	CONDITIONS
	MIN	TYP	MAX		
GENERAL					
Supply Voltage Range	4.75		9.0	V dc	
Supply Current					
Quiescent XR-567M		6	8	mA	R _L = 20 kΩ
XR-567C		7	10	mA	R _L = 20 kΩ
Activated XR-567M		11	13	mA	R _L = 20 kΩ
XR-567C		12	15	mA	R _L = 20 kΩ
Output Voltage			15	V	
Negative Voltage at Input			-10	V	
Positive Voltage at Input			V _{CC} + 0.5	V	
CENTER FREQUENCY					
Highest Center Frequency	100	500		kHz	
Center Frequency Stability				ppm/°C	See Figure 9
Temperature T _A = 25°C		35		ppm/°C	See Figure 9
0 < T _A < 70°C		±60		ppm/°C	See Figure 9
-55 < T _A < +125°C		±140		ppm/°C	
Supply Voltage				%/V	f _o = 100 kHz
XR-567M		0.5	1.0	%/V	f _o = 100 kHz
XR-567C		0.7	2.0	%/V	
DETECTION BANDWIDTH					
Largest Detection Bandwidth				% of f _o	f _o = 100 kHz
XR-567M	12	14	16	% of f _o	f _o = 100 kHz
XR-567C	10	14	18	% of f _o	
Largest Detection Bandwidth Skew				% of f _o	
XR-567M		1	2	% of f _o	
XR-567C		2	3	% of f _o	
Largest Detection Bandwidth Variation				%/°C	V _{in} = 300 mV rms
Temperature		±0.1		%/V	V _{in} = 300 mV rms
Supply Voltage		±2			
INPUT					
Input Resistance		20		kΩ	
Smallest Detectable Input Voltage		20	25	mV rms	I _L = 100 mA, f _i = f _o
Largest No-Output Input Voltage	10	15		mV rms	I _L = 100 mA, f _i = f _o
Greatest Simultaneous Outband Signal to Inband Signal Ratio		+6		dB	
Minimum Input Signal to Wideband Noise Ratio		-6		dB	B _n = 140 kHz
OUTPUT					
Output Saturation Voltage		0.2	0.4	V	I _L = 30 mA, V _{in} = 25 mV rms
		0.6	1.0	V	I _L = 100 mA, V _{in} = 25 mV rms
Output Leakage Current		0.01	25	μA	
Fastest ON-OFF Cycling Rate		f _o /20			
Output Rise Time		150		ns	R _L = 50Ω
Output Fall Time		30		ns	R _L = 50Ω

DEFINITION OF XR-567 PARAMETERS

CENTER FREQUENCY f_o

is the free-running frequency of the current-controlled oscillator with no input signal. It is determined by resistor R_1 between pins 5 and 6, and capacitor C_1 from pin 6 to ground. It can be approximated by

$$f_o \approx \frac{1}{R_1 C_1}$$

where R_1 is in ohms and C_1 is in farads.

DETECTION BANDWIDTH (BW)

The detection bandwidth is the frequency range centered about f_o , within which an input signal larger than the threshold voltage (typically 20 mV rms) will cause a logic zero state at the output. The detection bandwidth corresponds to the capture range of the PLL and is determined by the low-pass bandwidth filter. The bandwidth of the filter, as a percent of f_o , can be determined by the approximation

$$BW = 1070 \sqrt{\frac{V_i}{f_o C_2}}$$

where V_i is the input signal in volts, rms, and C_2 is the capacitance at pin 2 in μF .

LARGEST DETECTION BANDWIDTH

The largest detection bandwidth is the largest frequency range within which an input signal above the threshold voltage will cause a logical zero state at the output. The maximum detection bandwidth corresponds to the lock range of the PLL.

DETECTION BAND SKEW

The detection band skew is a measure of how accurately the largest detection band is centered about the center frequency. It is defined as $(f_{max} + f_{min} - 2f_o)/f_o$, where f_{max} and f_{min} are the frequencies corresponding to the edges of the detection band. If necessary, the detection band skew can be reduced to zero by an optional centering adjustment. (See optional Controls).

DESCRIPTION OF CIRCUIT CONTROLS

OUTPUT FILTER - C_3 (Pin 1)

Capacitor C_3 connected from pin 1 to ground forms a simple low-pass *post detection* filter to eliminate spurious outputs due to out-of-band signals. The time constant of the filter can be expressed as $T_3 = R_3 C_3$, where R_3 (4.7 k Ω) is the internal impedance at pin 1.

The precise value of C_3 is not critical for most applications. To eliminate the possibility of false triggering by spurious signals, it is recommended that C_3 be $\geq 2 C_2$, where C_2 is the loop filter capacitance at pin 2.

If the value of C_3 becomes too large, the *turn-on or turn-off* time of the output stage will be delayed until the voltage change across C_3 reaches the threshold voltage. In most applications, the delay may be desirable as a means of suppressing spurious outputs. Conversely, if the value of C_3 is too small, the beat rate at the output of the quadrature detector (see Figure 1) may cause a false logic level change at the output. (Pin 8)

The average voltage (during lock) at pin 1 is a function of the band input amplitude in accordance with the given transfer characteristic.

LOOP FILTER - C_2 (Pin 2)

Capacitor C_2 connected from pin 2 to ground serves as a single pole, low-pass filter for the PLL portion of the XR-567. The

filter time constant is given by $T_2 = R_2 C_2$, where R_2 (10 k Ω) is the impedance at pin 2.

The selection of C_2 is determined by the detection bandwidth requirements, as shown in Figure 6. For additional information see section on "Definition of XR-567 Parameters".

The voltage at pin 2, the phase detector output, is a linear function of frequency over the range of 0.95 to 1.05 f_o , with a slope of approximately 20 mV/% frequency deviation.

INPUT (Pin 3)

The input signal is applied to pin 3 through a coupling capacitor. This terminal is internally biased at a dc level 2 volts above ground, and has an input impedance level of approximately 20 k Ω .

TIMING RESISTOR R_1 AND CAPACITOR C_1 (Pins 5 and 6)

The center frequency of the decoder is set by resistor R_1 between pins 5 and 6, and capacitor C_1 from pin 6 to ground, as shown in Figure 3.

Pin 5 is the oscillator squarewave output which has a magnitude of approximately $V_{CC} - 1.4V$ and an average dc level of $V_{CC}/2$. A 1 k Ω load may be driven from this point. The voltage at pin 6 is an exponential triangle waveform with a peak-to-peak amplitude of 1 volt and an average dc level of $V_{CC}/2$. Only high impedance loads should be connected to pin 6 to avoid disturbing the temperature stability or duty cycle of the oscillator.

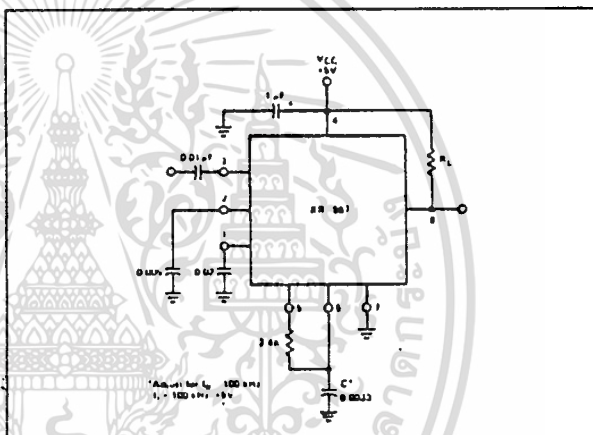


Figure 2. XR-567 Test Circuit

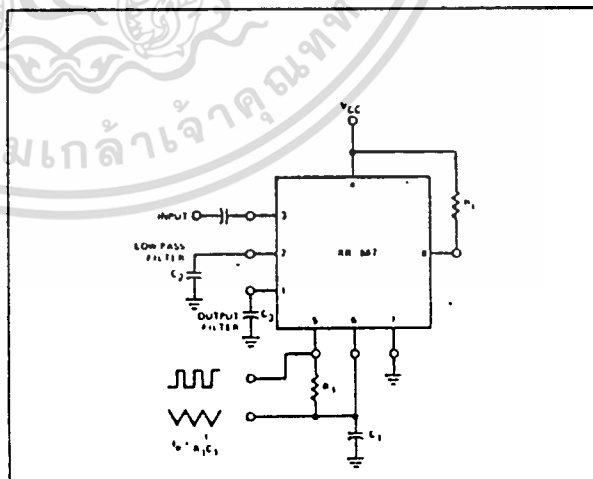


Figure 3. XR-567 Connection Diagram

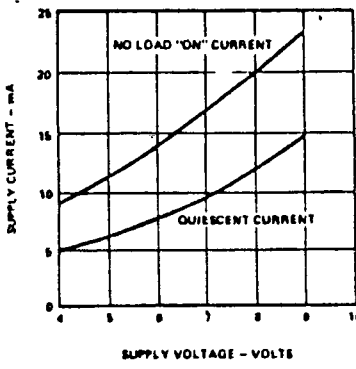


Figure 4. Supply Current Versus Supply Voltage

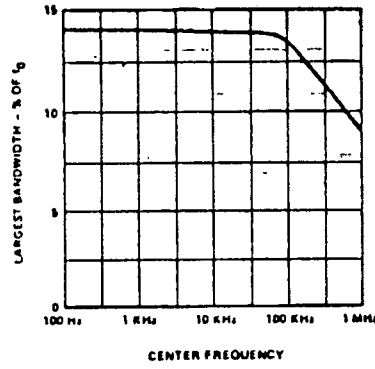


Figure 5. Largest Detection Bandwidth Versus Operating Frequency

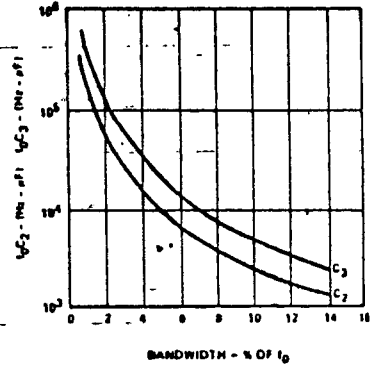


Figure 6. Detection Bandwidth as a Function of C_2 and C_3

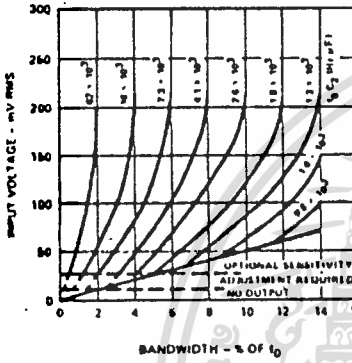


Figure 7. Bandwidth Versus Input Signal Amplitude (C_2 in μF)

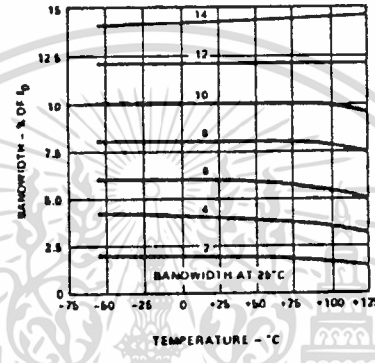


Figure 8. Bandwidth Variation with Temperature

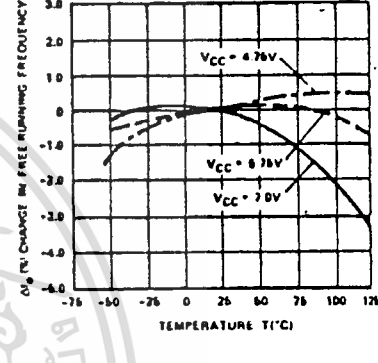


Figure 9. Frequency Drift with Temperature

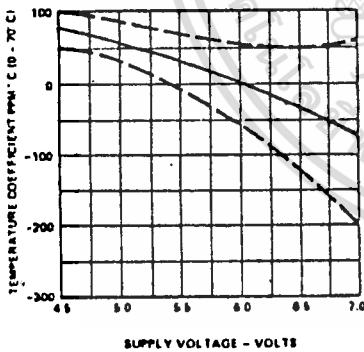


Figure 10. Temperature Coefficient of Center Frequency (Mean and S.D.)

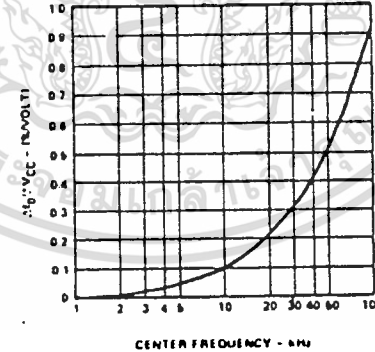


Figure 11. Power Supply Dependence of Center Frequency

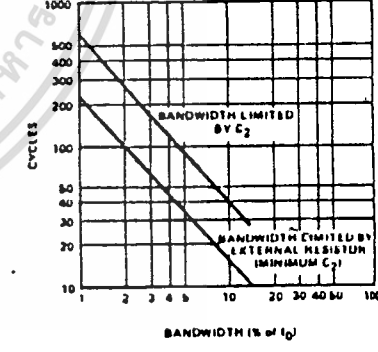
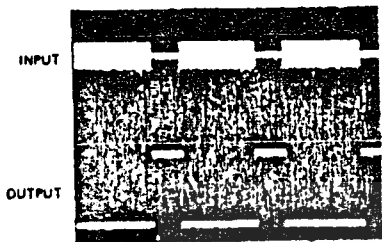


Figure 12. Greatest Number of Cycles Before Output

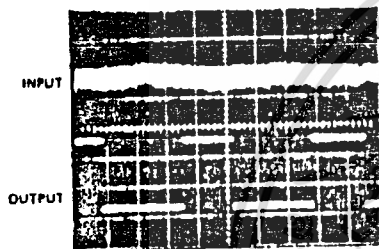
PUT (Pin 8)

Pin 8 provides a binary logic output when an input signal is present within the pass-band of the decoder. The logic output is an uncommitted, "bare-collector" power transistor capable of switching high current loads. The current level at the output is determined by an external load resistor, R_L , connected from pin 8 to the positive supply.

When an in-band signal is present, the output transistor at pin 8 switches with a collector voltage less than 1 volt (typically) at full rated current of 100 mA. If large output voltages are needed, R_L can be connected to a supply voltage higher than the V_{CC} supply. For safe operation, V_{CC} must be 20 volts.



Response to 100 mV rms tone burst.
 $R_L = 100 \text{ ohms}$



Response to same input tone burst with wideband noise.
 $S = -6 \text{ dB}$ $R_L = 100 \text{ ohms}$
Noise Bandwidth = 140 Hz

Figure 13. Typical Response

OPERATING INSTRUCTIONS

SELECTION OF EXTERNAL COMPONENTS

The typical connection diagram for the XR-567 is shown in Figure 3. For most applications, the following procedure will be sufficient for determination of the external components R_1 , C_2 , and C_3 .

R_1 and C_1 should be selected for the desired center frequency by the expression $f_0 \approx 1/R_1C_1$. For optimum temperature stability, R_1 should be selected such that $2k\Omega \leq R_1 \leq 20k\Omega$, and the R_1C_1 product should have sufficient stability over the projected operating temperature range.

Low-pass capacitor, C_2 , can be determined from the Bandwidth versus Input Signal Amplitude graph of Figure 7. One approach is to select an area of operation from the graph, and then adjust the input level and value of C_2 accordingly. Or, if the input amplitude variation is known, the required f_0C_2 product can be found to give the desired bandwidth. Constant bandwidth operation requires $V_i > 200 \text{ mV rms}$. Then, as noted on the graph, bandwidth will be controlled solely by the f_0C_2 product.

Capacitor C_3 sets the band edge of the low-pass filter which attenuates frequencies outside of the detection band and

thereby eliminates spurious outputs. If C_3 is too small, frequencies adjacent to the detection band may switch the output stage off and on at the beat frequency, or the output may pulse off and on during the turn-on transient. A typical minimum value for C_3 is 2 C_2 .

Conversely, if C_3 is too large, turn-on and turn-off of the output stage will be delayed until the voltage across C_3 passes the threshold value.

PRINCIPLE OF OPERATION

The XR-567 is a frequency selective tone decoder system based on the phase-locked loop (PLL) principle. The system is comprised of a phase-locked loop, a quadrature AM detector, a voltage comparator, and an output logic driver. The four sections are internally interconnected as shown in Figure 1.

When an input tone is present within the pass-band of the circuit, the PLL synchronizes or "locks" on the input signal. The quadrature detector serves as a lock indicator. When the PLL is locked on an input signal, the dc voltage at the output of the detector is shifted. This dc level shift is then converted to an output logic pulse by the amplifier and logic driver. The logic driver is a "bare collector" transistor stage capable of switching 100 mA loads.

The logic output at pin 8 is normally in a "high" state, until a tone that is within the capture range of the decoder is present at the input. When the decoder is locked on an input signal, the logic output at pin 8 goes to a "low" state.

The center frequency of the detector is set by the free-running frequency of the current-controlled oscillator in the PLL. This free-running frequency, f_0 , is determined by the selection of R_1 and C_1 connected to pins 5 and 6, as shown in Figure 3. The detection bandwidth is determined by the size of the PLL filter capacitor, C_2 , and the output response speed is controlled by the output filter capacitor, C_3 .

OPTIONAL CONTROLS

PROGRAMMING

Varying the value of resistor R_1 and/or capacitor C_1 will change the center frequency. The value of R_1 can be changed either mechanically or by solid state switches. Additional C_1 capacitors can be added by grounding them through saturated npn transistors.

SPEED OF RESPONSE

The minimum lock-up time is inversely related to the loop frequency. As the natural loop frequency is lowered, the turn-on transient becomes greater. Thus maximum operating speed is obtained when the value of capacitor C_2 is minimum. At the instant an input signal is applied its phase may drive the oscillator away from the incoming frequency rather than toward it. Under this condition, the lock-up transient is in a worst case situation, and the minimum theoretical lock-up time will not be achievable.

The following expressions yield the values of C_2 and C_3 , in microfarads, which allow the maximum operating speeds for various center frequencies. The minimum rate that digital information may be detected without losing information due to turn-on transient or output chatter is about 10 cycles/bit, which corresponds to an information transfer rate of $f_0/10$ baud.

$$C_2 = \frac{130}{f_0}, \quad C_3 = \frac{260}{f_0} \mu\text{F}$$

In situations where minimum turn-off time is of less importance than fast turn-on, the optional sensitivity adjustment circuit of Figure 14 can be used to bring the quiescent C_3 voltage closer to the threshold voltage. Sensitivity to beat frequencies, noise, and extraneous signals, however, will be increased.

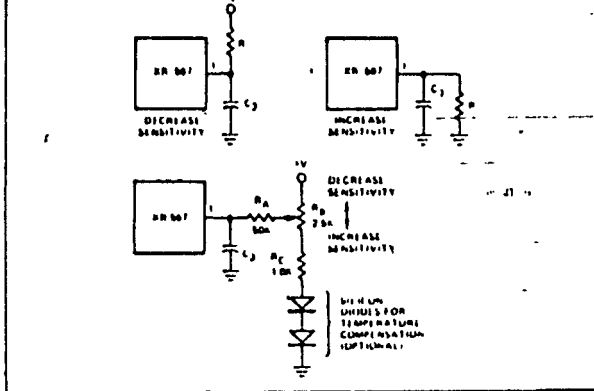


Figure 14. Optional Sensitivity Connections

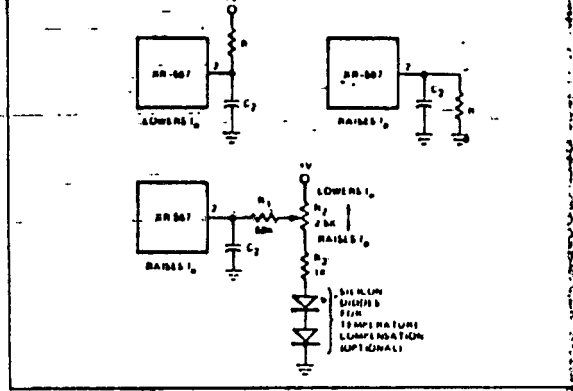


Figure 16. Connections to Reposition Detection Band

CHATTER

When the value of C_3 is small, the lock transient and ac components at the lock detector output may cause the output stage to move through its threshold more than once, resulting in output chatter.

Although some loads, such as lamps and relays will not respond to chatter, logic may interpret chatter as a series of output signals. Chatter can be eliminated by feeding a portion of the output back to the input (pin 1) or, by increasing the size of capacitor C_3 . Generally, the feedback method is preferred since keeping C_3 small will enable faster operation. Three alternate schemes for chatter prevention are shown in Figure 15. Generally, it is only necessary to assure that the feedback time constant does not get so large that it prevents operation at the highest anticipated speed.

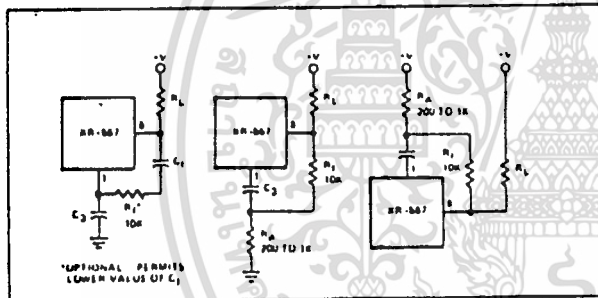


Figure 15. Methods of Reducing Chatter

SKREW ADJUSTMENT

The circuits shown in Figure 16 can be used to change the position of the detection band (capture range) within the largest detection band (or lock range). By moving the detection band to either edge of the lock range, input signal variations will expand the detection band in one direction only. Since R_3 also has a slight effect on the duty cycle, this approach may be useful to obtain a precise duty cycle when the circuit is used as an oscillator.

OUTPUT LATCHING

In order to latch the output of the XR-567 "on" after a signal is received, it is necessary to include a feedback resistor around the output stage, between pin 8 and pin 1, as shown in Figure 17. Pin 1 is pulled up to unlatch the output stage.

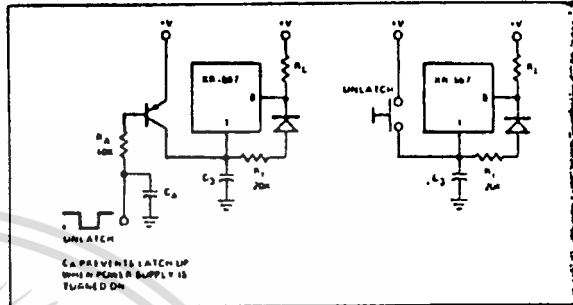


Figure 17. Output Latching

BANDWIDTH REDUCTION

The bandwidth of the XR-567 can be reduced by either increasing capacitor C_2 or reducing the loop gain. Increasing C_2 may be an undesirable solution since this will also reduce the damping of the loop and thus slow the circuit response time.

Figure 18 shows the proper method of reducing the loop gain for reduced bandwidth. This technique will improve damping and permit faster performance under narrow band operation. The reduced impedance level at pin 2 will require a larger value of C_2 for a given cutoff frequency.

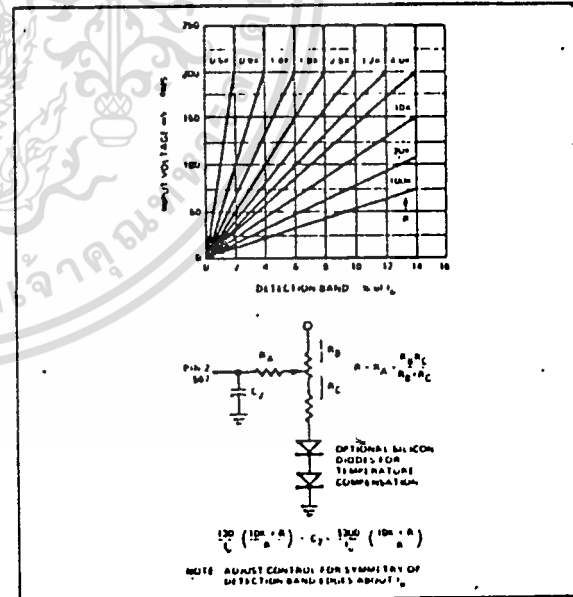


Figure 18. Bandwidth Reduction

CAUTIONS

The XR-567 will lock on signals near $(2n + 1) f_0$ and produce an output for signals near $(4n + 1) f_0$, for $n = 0, 1, 2 - \text{etc.}$ Signals at $5 f_0$ and $9 f_0$ can cause an unwanted output and should, therefore, be attenuated before reaching the input of the circuit.

Operating the XR-567 in a reduced bandwidth mode of operation at input levels less than 200 mV rms results in maximum immunity to noise and out-band signals. Decreased loop damping, however, causes the worst-case lock-up time to increase, as shown by the graph of Figure 12.

Bandwidth variations due to changes in the in-band signal amplitude can be eliminated by operating the XR-567 in the high input level mode, above 200 mV. The input stage is then limiting, however, so that out-band signals or high noise levels can cause an apparent bandwidth reduction as the in-band signal is suppressed. In addition, the limited output stage will create inband components from sub-harmonic signals so that the circuit becomes sensitive to signals at $f_0/3, f_0/5$ etc.

Attention should be exercised in lead routing and lead lengths should be kept as short as possible. Power supply leads should be properly bypassed close to the integrated circuit and grounding paths should be carefully determined to avoid ground loops and undesirable voltage variations. In addition, circuits requiring heavy load currents should be provided by a separate power supply, or filter capacitors increased to minimize supply voltage variations.

ADDITIONAL APPLICATIONS

DUAL TIME CONSTANT TONE DECODER

In some applications it is important to have a tone decoder with narrow bandwidth and fast response time. This can be accomplished by the dual time constant tone decoder circuit shown in Figure 19. The circuit has two low-pass filter capacitors, C_2 and C'_2 . With no input signal present, the output at pin 8 is high, transistor Q_1 is off, and C'_2 is switched out of the circuit. Thus the loop low-pass filter is comprised of C_2 , which can be kept as small as possible for minimum response time.

When an in-band signal is detected, the output at pin 8 will go low, Q_1 will turn on, and capacitor C'_2 will be switched in parallel with capacitor C_2 . The low-pass filter capacitance then becomes $C_2 + C'_2$. The value of C'_2 can be quite large in order to achieve narrow bandwidth. Notice that during the time that no input signal is being received, the bandwidth is determined by capacitor C_2 .

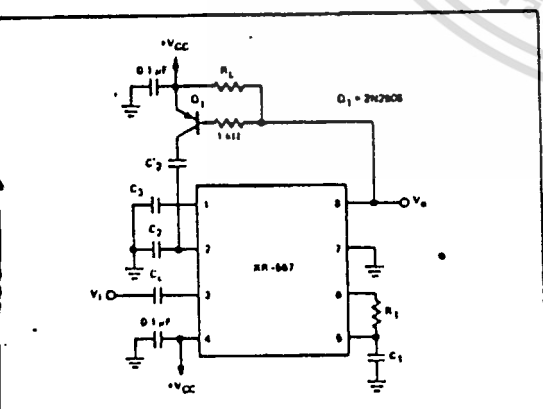


Figure 19. Dual Time Constant Tone Decoder

NARROW BAND FM DEMODULATOR WITH CARRIER DETECT

For FM demodulation applications where the bandwidth is less than 10% of the carrier frequency, an XR-567 can be used to detect the presence of the carrier signal. The output of the XR-567 is used to turn off the FM demodulator when no carrier is present, thus acting as a squelch. In the circuit shown, an XR-215 FM demodulator is used because of its wide dynamic range, high signal/noise ratio and low distortion. The XR-567 will detect the presence of a carrier at frequencies up to 500 kHz.

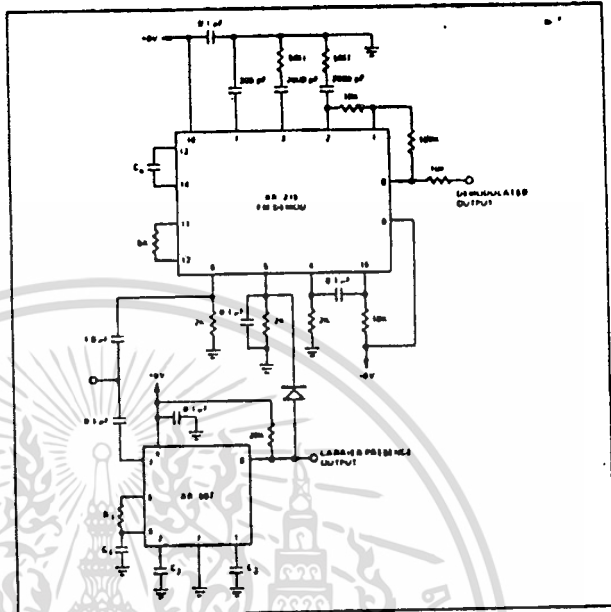


Figure 20. Narrow Band FM Demodulator with Carrier Detect

DUAL TONE DECODER

In dual tone communication systems, information is transmitted by the simultaneous presence of two separate tones at the input. In such applications two XR-567 units can be connected in parallel, as shown in Figure 21 to form a dual tone decoder. The resistor and capacitor values of each decoder are selected to provide the desired center frequencies and bandwidth requirements.

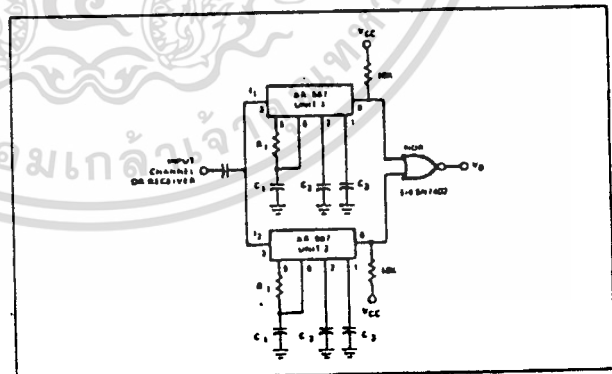


Figure 21. Dual Tone Decoder

PRECISION OSCILLATOR

The current-controlled oscillator (CCO) section of the XR-567 provides two basic output waveforms as shown in Figure 22. The squarewave is obtained from pin 5, and the exponential ramp from pin 6. The relative phase relationships of the wave-

forms are also provided in the figure. In addition to being used as a general purpose oscillator or clock generator, the CCO can also be used for any of the following special purpose oscillator applications:

1. High-Current Oscillator

The oscillator output of the XR-567 can be amplified using the output amplifier and high-current logic output available at pin 8. In this manner, the circuit can switch 100 mA load currents without sacrificing oscillator stability. A recommended circuit connection for this application is shown in Figure 23. The oscillator frequency can be modulated over 26% in frequency by applying a control voltage to pin 2.

2. Oscillator with Quadrature Outputs

Using the circuit connection of Figure 24 the XR-567 can function as a precision oscillator with two separate square-wave outputs (at pins 5 and 8, respectively) that are at nearly quadrature phase with each other. Due to the internal biasing arrangement the actual phase shift between the two outputs is typically 80° .

3. Oscillator with Frequency Doubled Output

The CCO frequency can be doubled by applying a portion of the squarewave output at pin 5 back to the input at pin 3, as shown in Figure 25. In this manner, the quadrature detector functions as a frequency doubler and produces an output of $2 f_0$ at pin 8.

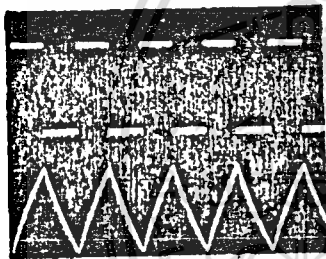


Figure 22. Oscillator Output Waveform Available From CCO Section.

Top: Square Wave Output at Pin 5:
Amplitude = $(V^+ - 1.4V)$, pp., Avg. Value = $V^+/2$
Bottom: Exponential Triangle Wave at Pin 6:
Amplitude = $1 V$ pp., Avg. Value = $V^+/2$

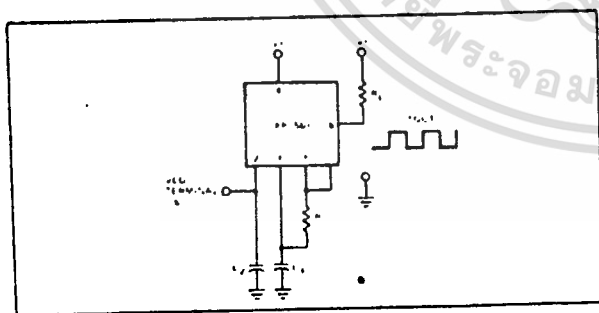


Figure 23. Precision Oscillator to Switch 100 mA Loads

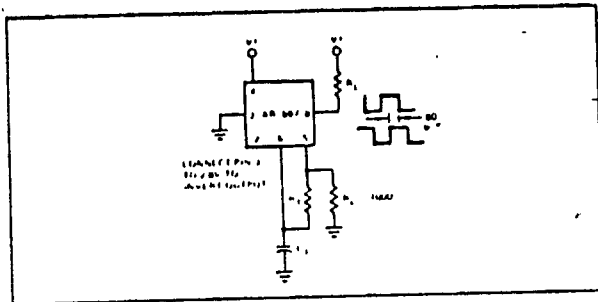


Figure 24. Oscillator with Quadrature Output

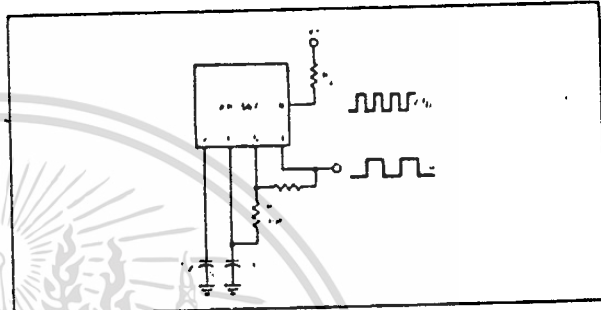


Figure 25. Oscillator with Double Frequency Output

FSK DECODING

XR-567 can be used as a low speed FSK demodulator. In this application the center frequency is set to one of the input frequencies, and the bandwidth is adjusted to leave the second frequency outside the detection band. When the input signal is frequency keyed between the *m-band* signal and the *our-band* signal, the logic state of the output at pin 8 is reversed. Figure 26 shows the FSK input ($f_2 = 3 f_1$) and the demodulated output signals, with $f_0 = f_1 = 1 \text{ kHz}$. The circuit can handle data rates up to $f_0/10$ baud.

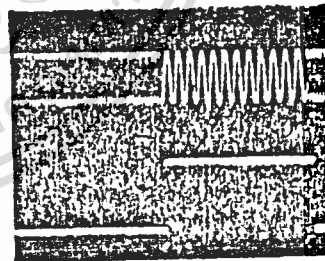


Figure 26. Input and Output Waveforms for FSK Decoding
Top: Input FSK Signal ($f_2 = 3 f_1$)
Bottom: Demodulated Output

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่อง "เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอัตโนมัติ" (AUTOMATIC WEIGHT BALANCE) รวมถึงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่บังทางสำเร็จลงได้ถ้าขาดคำแนะนำจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ศศ.ดร.โยธิน เปรมปราณีรัตน์ จึงขอถือโอกาสนี้ขอบคุณอาจารย์เป็นอย่างยิ่งที่ได้ให้แนวความคิดสำหรับโครงการชิ้นนี้ กำปรึกษาเกี่ยวกับวงจรขั้วมอเตอร์ และรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณต่างๆ อีกทั้งยังได้ให้เอกสารประกอบการศึกษา รวมทั้งช่วยแก้ปัญหาเกี่ยวกับโครงสร้างทางกลของโครงการชิ้นนี้ด้วย และขอขอบคุณสำหรับอาจารย์ท่านอื่นที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามในที่นี้ และเพื่อนทุกคนที่ได้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำงานชิ้นนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี



ฐานันดร อรภาพ
บุญประเสริฐ ตริธยาภิวัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. BALANCES AND WEIGHERS, "INDUSTRIAL INSTRUMENTATION".
2. JAMES W. COFFRON, "Z80 APPLICATIONS", SYBEX, 295 P., 1983
3. JOAOPAULO SOUSA, "DESIGN IDEAS", EDN, JANUARY 4, 1990, PP.138.
4. LANCE A. LEREN THAL & WINTHROP SAVILLE, "Z80 ASSEMBLY LANGUAGE".
5. TAKASHI KENJO, "STEPPING MOTORS AND THEIR MICROPROCESSOR CONTROL"
 , CLARENDON PRESS. OXFORD, 1984.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้