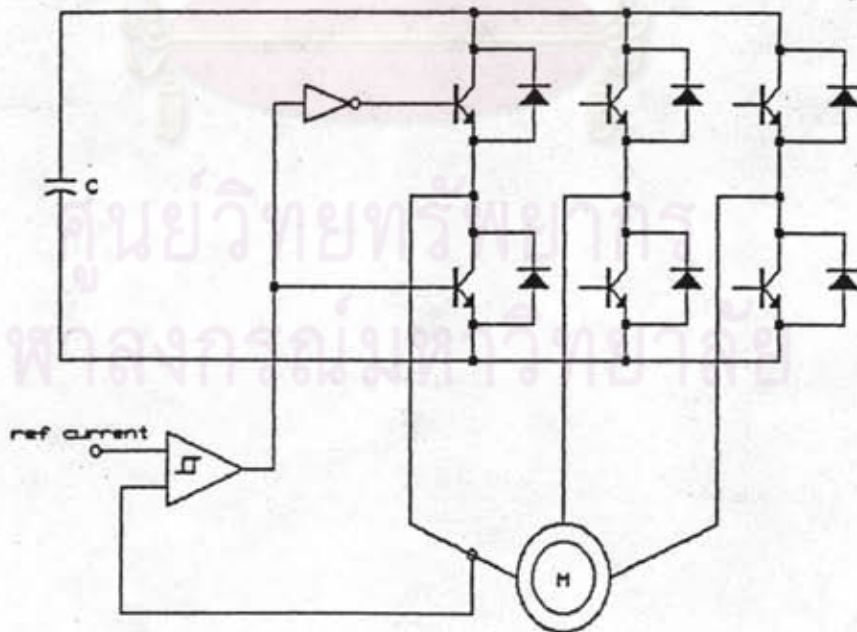


วงจรอินเวอร์เตอร์

1. ความเบื้องต้น

การควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ ได้รับการพัฒนาเป็นอย่างมาก โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า อินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์แปลงผันพลังงานไฟตรงเป็นไฟสลับ อินเวอร์เตอร์สามารถแปรความถี่ของแรงดันหรือกระแสที่จ่ายให้แก่ตัวมอเตอร์ได้ทำให้สามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ได้ตั้งแต่ความเร็วรอบที่ต่ำจนถึงความเร็วรอบที่สูง ซึ่งเหมาะกับงานที่ต้องการใช้มอเตอร์เป็นเครื่องต้นกำลัง และสามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ได้อย่างต่อเนื่องสำหรับโครงการนี้เลือกวิธีการควบคุมความถี่ของกระแส โดยใช้โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์แบบ voltage-fed inverter ที่ควบคุมกระแสด้านออก หรือกระแสเข้ามอเตอร์ให้มีความใกล้เคียงไซน์ที่สามารถแปรความถี่ได้ โดยมีขนาดของกระแสเป็นอัตราส่วนกับโหลดทางกล ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ลักษณะโครงสร้างและการควบคุมของวงจรอินเวอร์เตอร์

สำหรับข้อดีของการควบคุมกระแส ก็คือเป็นการควบคุมแรงบิดสูงสุดให้คงที่ตลอดย่านการใช้งานในภาวะชั่วคราว (transient) จึงเหมาะสมกับงานที่ต้องการผลตอบแทนของความเร็วที่ไว ข้อดีอีกประการหนึ่ง คือ สามารถลดผลของความต้านทานด้านตัวอยู่หนึ่ง (stator resistance) ทำให้สามารถควบคุมความเร็วได้ดียิ่งขึ้นที่ความถี่ต่ำ เมื่อเทียบกับกรณีของการควบคุมแรงดัน

อย่างไรก็ดี การควบคุมแรงบิดสูงสุดให้คงที่โดยการควบคุมกระแสตามฟังก์ชันไม่เชิงเส้น มีข้อจำกัดที่จุดตั้งอินเวอร์เตอร์จะต้องวัดพารามิเตอร์ของมอเตอร์ และนำมาคำนวณหาฟังก์ชันไม่เชิงเส้น แล้วนำมาใช้ออกแบบหน่วยความจำในเครื่องอินเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จึงไม่ใช่ชนิดใช้งานทั่วไป (general purpose) หากต้องปรับให้ใช้กับมอเตอร์ที่เป็นโหลดก่อนใช้งาน

## 2. ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์

ในการออกแบบวงจรส่วนคุมค่าความเร็วนั้นจะต้องมีวงจรฟังก์ชันไม่เชิงเส้น ซึ่งฟังก์ชันไม่เชิงเส้นนี้จะประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆ ที่เป็นค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ ดังนั้นจึงต้องหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่ทำได้โดยการวัด (Fitzgerald, Kingsley, Uman, 1983) โดยแบ่งการวัดออกเป็นสองส่วนคือ การทดสอบโดยหมุนแบบตัวเปล่า (no load test) และการทดสอบโดยการลอคตัวหมุน (blocked rotor test) ซึ่งสามารถวัดและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในปริมาณสัมพัทธ์ได้ดังนี้

$$\text{ความต้านทานทางด้านตัวหมุน (} r_r \text{)} = 0.0754$$

$$\text{ความต้านทานทางด้านตัวอยู่หนึ่ง (} r_s \text{)} = 0.0756$$

$$\text{ความเหนี่ยวนำทางด้านตัวหมุน (} x_r \text{)} = 1.77$$

$$\text{ความเหนี่ยวนำทางด้านตัวอยู่หนึ่ง (} x_s \text{)} = 1.83$$

$$\text{ความเหนี่ยวนำร่วม (} x_m \text{)} = 1.73$$

สำหรับการวัดหาค่าความเฉื่อย (moment inertia ;  $J$ ) ของมอเตอร์ (สิทธิ์ ศิวารัตน์, 2533) ได้ค่า  $J = 0.011648 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

## 3. วงจรรภาคกำลัง

วงจรรินเวอร์เตอร์ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ที่ต่อกับแบบ เต็มบริดจ์สามเฟส ทาง

ด้านเข้าเป็นแหล่งจ่ายไฟตรง ดังภาพที่ 3.1

### การออกแบบขนาดของทรานซิสเตอร์ในวงจรอินเวอร์เตอร์

จากข้อกำหนดในตารางที่ 1 กำหนดให้

อินเวอร์เตอร์ :	พิกัดทางด้านออก	1.5	กิโลวัตต์
	: แรงดันด้านเข้า	700	โวลต์
มอเตอร์ :	พิกัดของมอเตอร์	1.5	กิโลวัตต์
	: ขนาดแรงดัน	380	โวลต์
	: ขนาดกระแส	3.6	แอมแปร์

อินเวอร์เตอร์สามารถใช้งานเกินพิกัดโหลดได้เป็น 150 เปอร์เซ็นต์

เนื่องจากข้อกำหนดให้สามารถจ่ายกระแสให้มอเตอร์ได้สูงสุด เกินค่าพิกัดของมอเตอร์ได้ 150 เปอร์เซ็นต์ดังนั้นสามารถคำนวณหาขนาดของกระแสผ่านทรานซิสเตอร์ได้ดังนี้

$$\text{แอมพลิจูดของกระแสมีค่า} = \sqrt{2} \cdot (1.5)(3.6) = 7.6 \text{ แอมแปร์}$$

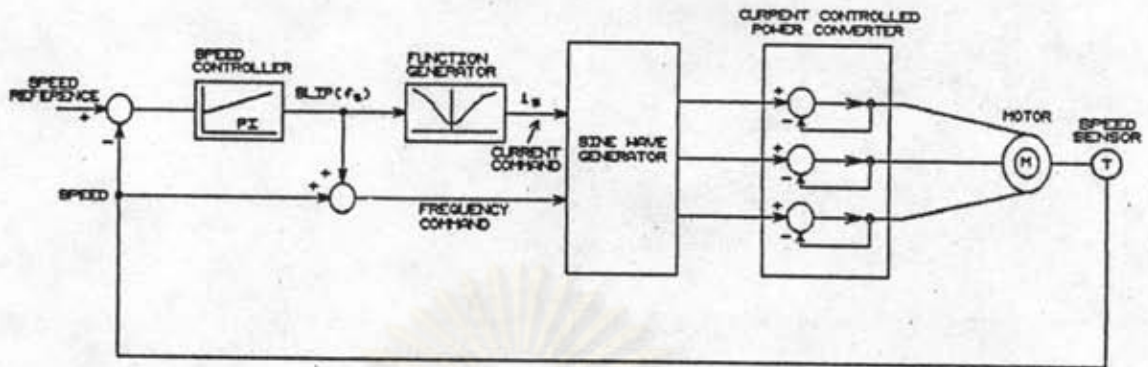
ตามข้อกำหนดของผู้ผลิตทรานซิสเตอร์ กำหนดให้ขนาดของกระแสสูงสุดของทรานซิสเตอร์ควรมีค่ามากกว่ากระแสสูงสุดประมาณ 3-4 เท่า แรงดันสูงสุดของทรานซิสเตอร์ควรมีค่ามากกว่าแรงดันคร่อมทรานซิสเตอร์ประมาณ 2 เท่า นั่นคือทรานซิสเตอร์ควรทนกระแสได้ประมาณ 30 A และทนแรงดันประมาณ 1400 V แต่เมื่อพิจารณาทรานซิสเตอร์ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการจึงเลือกทรานซิสเตอร์เบอร์ QM50DY2H (Mitsubishi Electric, 1985) ที่มีขนาด  $I_{C(max)}$  เท่ากับ 50 แอมแปร์ต่อตัว และ  $V_{CE(max)}$  เท่ากับ 1000 โวลต์ต่อตัว

#### 4. วงจรภาคควบคุม

สำหรับรายละเอียดของวงจรส่วนควบคุมความเร็วแสดงดังในภาพที่ 3.2 ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

มอเตอร์เหนี่ยวนำรับพลังงานจากอินเวอร์เตอร์ โดยการทำงานของอินเวอร์เตอร์เป็นแบบฮีสเทรีซิส หรือ current bang-bang โดยใช้วงจรขับนำสวิตช์รับสัญญาณที่เป็นผลการเปรียบเทียบระหว่าง กระแสที่วัดซึ่งเป็นกระแสตัวอยู่หนึ่งของมอเตอร์ กับกระแสอ้างอิงที่

เป็นกระแสคูลค่า โดยที่กระแสอ้างอิงได้มาจากวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์



ภาพที่ 3.2 แผนภาพบล็อกของวงจรภาคควบคุม

ในการควบคุมความเร็วทำได้โดย การวัดความเร็วรอบของมอเตอร์แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเร็วที่ตั้งไว้ โดยวงจรเปรียบเทียบเป็นวงจรคูลค่าแบบ PI และสัญญาณที่ได้คือ สลิป (slip) จากการศึกษาลักษณะของมอเตอร์จะได้อความสัมพันธ์ของสลิป กับขนาดของกระแสตัวอยู่หนึ่งเป็นไปดังสมการ 3.1 และความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด (torque) กับสลิปดังสมการที่ 3.2 (โคทม อารีชา, 2532) โดยค่าในสมการจะเป็นค่าในปริมาณสัมพันธ์ (per unit) ทั้งหมด

$$i_s = \frac{\psi_s}{X_s} \sqrt{\frac{1+(f_s \omega_n T_r)^2}{1+(f_s \omega_n T_r')^2}} \quad (3.1)$$

$$m_e = \frac{(f_s \omega_n T_r)}{1+(f_s \omega_n T_r')^2} \cdot \left( \frac{X_h \psi_s}{X_s X_r} \right)^2 \quad (3.2)$$

$$T_r = \frac{X_r}{\omega_n T_r} \quad (3.3)$$

$$T_r' = \sigma T_r \quad (3.4)$$

$$\sigma = 1 - \frac{X_h^2}{X_s X_r} \quad (3.5)$$

โดย

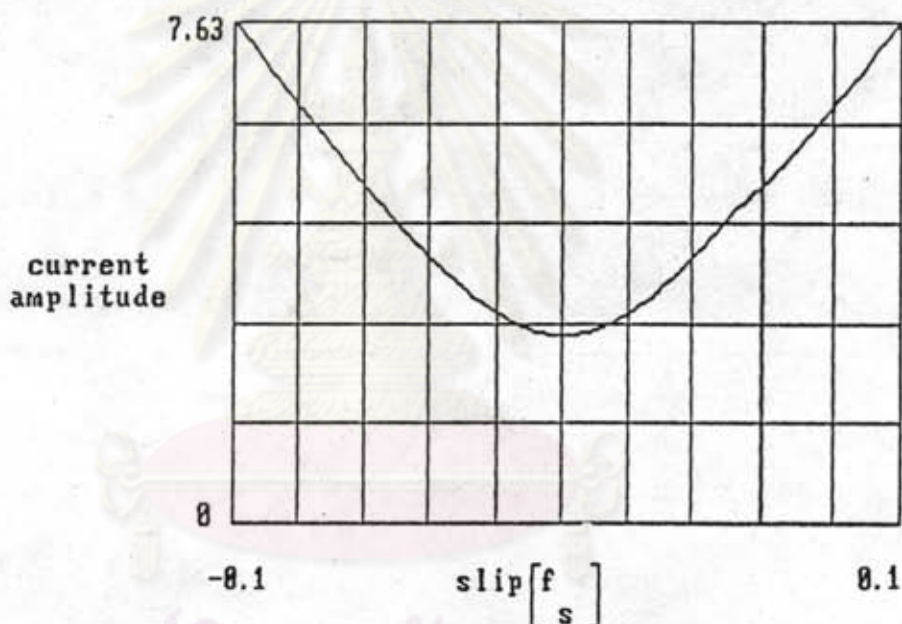
$\psi_s$  เป็นค่าฟลักซ์ของตัวอยู่หนึ่ง (stator flux)

$r_r$  เป็นค่าความต้านทานด้านตัวหมุน (rotor resistance)

$x_s$  เป็นค่าความเหนี่ยวนำทางด้านตัวอยู่หนึ่ง (stator inductance)

- $x_r$  เป็นค่าความเหนี่ยวนำทางด้านตัวหมุน (rotor inductance)
- $x_m$  เป็นค่าความเหนี่ยวนำร่วม (mutual inductance)
- $\sigma$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการรั่วไหล (leakage coefficient)
- $m$  เป็นค่าแรงบิดทางไฟฟ้าของมอเตอร์

เมื่อกำหนดให้  $\psi_m = 1$  นั่นคือฟลักซ์มีค่าที่ระบุ (nominal) จากค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ในหัวข้อที่ 2 และจากสมการที่ 3.1 จะได้ความสัมพันธ์ของ  $i_m$  ในฟังก์ชันของสลลิป ดังภาพที่ 3.3 นอกจากนั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าไม่มีค่าความต้านทานทางด้านตัวอยู่หนึ่งในสมการที่ 3.1 และ 3.2 เลย แสดงว่าการควบคุมกระแสสามารถลดผลของความต้านทานด้านตัวอยู่หนึ่ง ทำให้สามารถควบคุมความเร็วได้ดียิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับการควบคุมแรงดันโดยเฉพาะที่ความถี่ต่ำ



ภาพที่ 3.3 รูปคลื่นขนาดของกระแสในฟังก์ชันของสลลิป

เมื่อให้สลลิปเป็นตัวแปรด้านเข้าของวงจรฟังก์ชันไม่เชิงเส้น โดยฟังก์ชันไม่เชิงเส้นเป็นไปตามสมการ 3.1 ที่กำหนดให้  $\psi_m = 1$  ปริมาณด้านออกนั้นจะเป็นตัวกำหนดขนาดของกระแสสามเฟส ส่วนความถี่อ้างอิงนั้นจะได้จากผลบวกของสลลิปกับความถี่รอบของมอเตอร์ ซึ่งค่าขนาดและความถี่ของสัญญาณอ้างอิงนี้ จะเป็นตัวแปรด้านเข้าของวงจรสร้างสัญญาณไซน์ (sine wave generator) สำหรับไปกำเนิดสัญญาณไซน์อ้างอิงสามเฟส

เนื่องจากข้อกำหนดให้อินเวอร์เตอร์ สามารถจ่ายกระแสให้มอเตอร์ได้ถึง 150 เปอร์เซ็นต์ของค่าพิกัด ดังนั้นจากสมการ 3.1

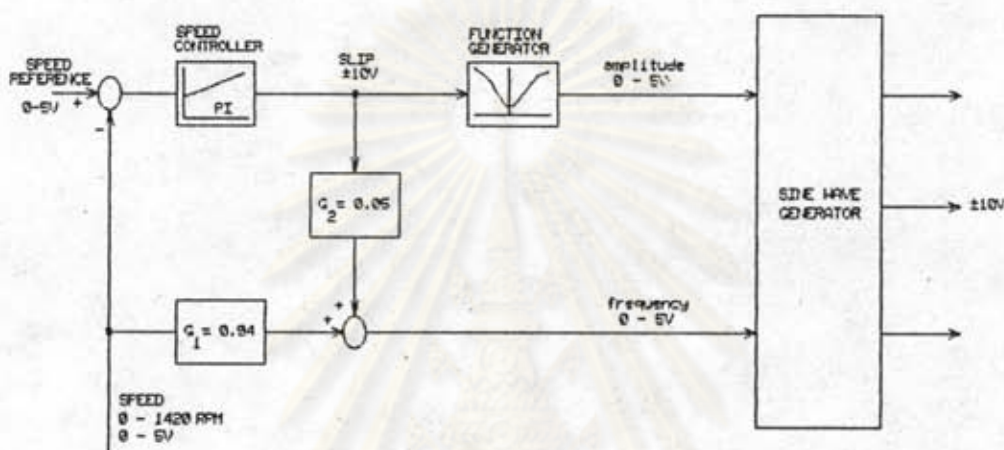
เมื่อกำหนดให้ :  $i_u$  มีค่าเป็น 1.5

จะคำนวณหาค่าสลิป ( $f_u$ ) ได้เท่ากับ 0.1

เมื่อกำหนดให้ :  $i_u$  มีค่าเป็น 1 หรือที่ค่าวิกฤต

จะคำนวณหาค่าสลิป ( $f_u$ ) ได้เท่ากับ 0.06

และจากภาพที่ 3.2 สามารถเขียนรายละเอียดของวงจรได้ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 รายละเอียดและขนาดของสัญญาณในแต่ละส่วนของวงจรภาคควบคุม

สำหรับอัตราส่วนของผลบวกของความเร็วยรอบของมอเตอร์ กับสลิป หรืออัตราขยาย  $G_1$  และ  $G_2$  นี้หาได้โดยกำหนดที่ค่าวิกฤตของมอเตอร์ ซึ่งมีสลิป เท่ากับ 0.06 ดังนั้นจะได้

$$\begin{array}{lcl} \text{อัตราส่วน} & \text{สลิป} & : \quad \text{ความเร็วยรอบของมอเตอร์} \\ & 0.06 & : \quad 1 - 0.06 = 0.94 \end{array}$$

จะได้อัตราขยาย  $G_1$  มีค่าเท่ากับ 0.94

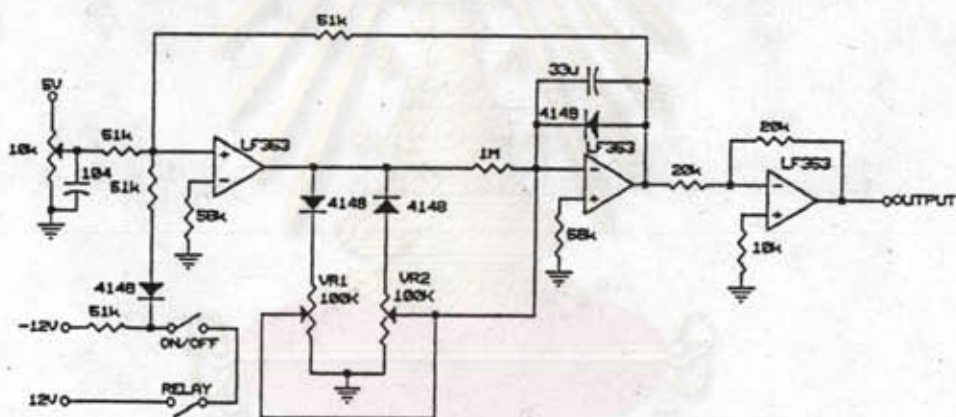
และถ้าสัญญาณออกจากวงจรคุมค่ามีค่าสูงสุด  $\pm 10$  โวลต์ จะมีค่าสลิปสูงสุดเท่ากับ 0.1 ดังนั้นถ้าสลิปที่ค่าวิกฤตมีค่าเท่ากับ 0.06 จะได้แรงดันออกของวงจรคุมค่ามีค่า เท่ากับ 6 โวลต์

ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าอัตราขยาย  $G_2$  มีค่าเท่ากับ  $\frac{5}{6}(0.06) = 0.05$

สำหรับรายละเอียดในการออกแบบวงจรแต่ละส่วนมีดังนี้คือ

#### 4.1 วงจรสร้างสัญญาณอ้างอิง

การปรับความเร็วมอเตอร์ทำได้โดยการปรับสัญญาณอ้างอิง ซึ่งจะนำไปเปรียบเทียบกับความเร็วรอบที่วัดมาโดยวงจรคุมค่า สำหรับรายละเอียดของวงจรสร้างสัญญาณอ้างอิงมีลักษณะดังภาพที่ 3.5 (เก็ซเซอร์ สัทิมภักดิ์, 2533) นอกจากนี้ยังสามารถปรับอัตราการเร่ง (acceleration), ปรับอัตราการชะลอ (deceleration) ของความเร็วรอบได้โดยการปรับค่า  $V_{R1}$  ซึ่งจะมีผลทำให้อัตราการเร่งของความเร็วรอบของมอเตอร์ค่อยๆ เปลี่ยนไป โดยการปรับค่า  $V_{R1}$  ให้มีค่ามากจะทำให้อัตราการเร่งช้ากว่าการปรับค่า  $V_{R1}$  ให้มีค่าน้อย ส่วนการปรับค่าอัตราการชะลอของสัญญาณอ้างอิงทำได้โดยการปรับค่า  $V_{R2}$  ซึ่งก็จะมีลักษณะการปรับเช่นเดียวกันกับการปรับอัตราการเร่ง



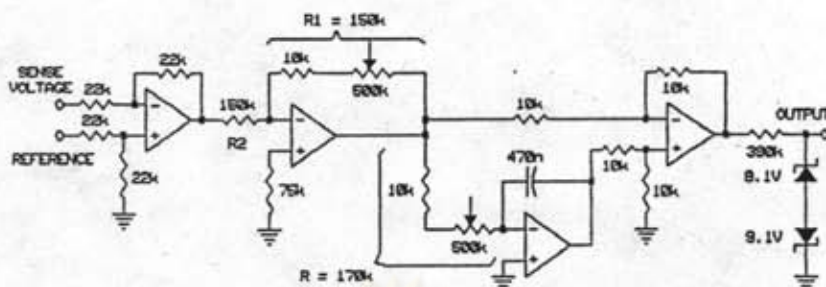
ภาพที่ 3.5 วงจรสร้างสัญญาณอ้างอิง

#### 4.2 วงจรคุมค่า

สำหรับวงจรคุมค่าความเร็วรอบจะเป็นแบบ PI (proportional integral controller) ที่มีเซ็นเซอร์ไดโอดเป็นตัวจำกัดค่าของสัญญาณออก ดังแสดงในภาพที่ 3.6

วงจรจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณอ้างอิง ที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณอ้างอิง กับความเร็วรอบของมอเตอร์ แล้วกำเนิดสัญญาณที่มีการชดเชยฟังก์ชันโอนย้าย (transfer function) ของระบบให้มีเสถียรภาพ โดยสามารถปรับค่าอัตราขยาย  $K_p$  (proportional gain) และค่าคงตัวเวลา  $T_i$  (integral time constant) ได้โดย

ไม่ชนกัน



ภาพที่ 3.6 วงจรคุมค่าที่เป็นแบบ PI

จากวงจรสามารถคำนวณหาสมการของวงจรมุมค่าได้ดังสมการที่ 2.4

$$V_o = K_p \cdot \frac{T_1 s + 1}{T_1 s} \quad (3.6)$$

โดย  $K_p = \frac{R_1}{R_2}$

$$T_1 = RC$$

#### 4.3 วงจรตรวจวัดความเร็วรอบ

สำหรับวงจรตรวจวัดความเร็วรอบทำได้โดยการใช้ opto-coupler เบอร์ H2182 (Motorola, 1982) เป็นตัววัด โดยการนำแผ่นฟิล์มที่มีช่องมิดสว่าง ไปติดกับตัวหมุนของมอเตอร์ แล้วให้ตัดผ่าน opto-coupler ซึ่งจะให้สัญญาณด้านออกเป็นความถี่ที่แปรผันตามความเร็วรอบของมอเตอร์ ดังภาพที่ 3.7

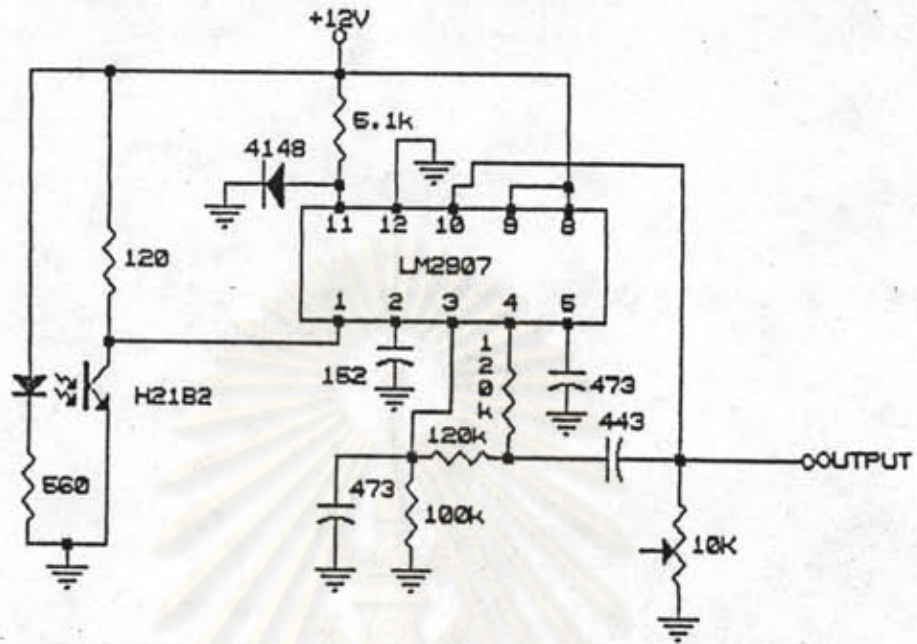
เมื่อนำสัญญาณที่ได้มาผ่านวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน (V/F converter) โดยใช้ไอซีเบอร์ LM2907 (National Semiconductor, 1982) ก็จะได้สัญญาณแรงดันที่มีค่าแปรผันตามความเร็วรอบของมอเตอร์

#### 4.4 วงจรสร้างสัญญาณอ้างอิงรูปไซน์

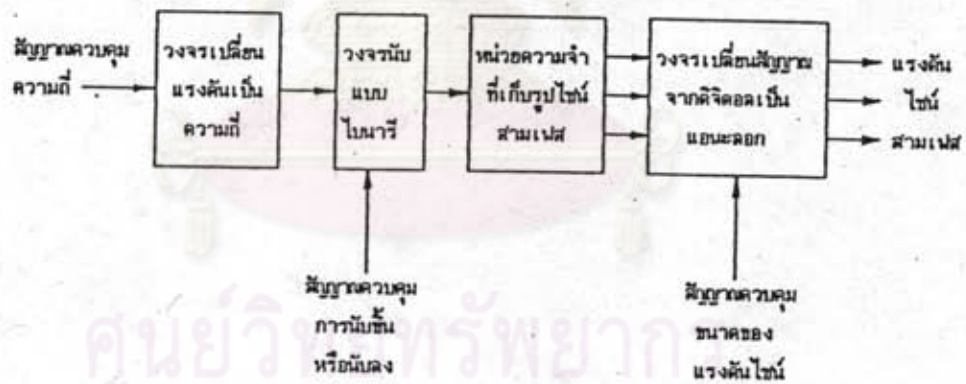
วงจรสร้างสัญญาณอ้างอิงรูปไซน์ มีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 3.8 ซึ่งสามารถควบคุมได้ทั้งขนาดของแรงดัน และความถี่ของสัญญาณไซน์ด้านออกทั้งสามเฟส นอกจาก



นี้ยังสามารถกลับเฟสของแรงดันอ้างอิงได้ โดยอาศัยสัญญาณไปควบคุมการนับขึ้นหรือนับลงของ วงจรนับที่จะป้อนให้หน่วยความจำที่เก็บค่าของไชน์ทั้งสามเฟส



ภาพที่ 3.7 วงจรตรวจวัดความเร็วรอบ



ภาพที่ 3.8 โครงสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณอ้างอิงรูปไชน์

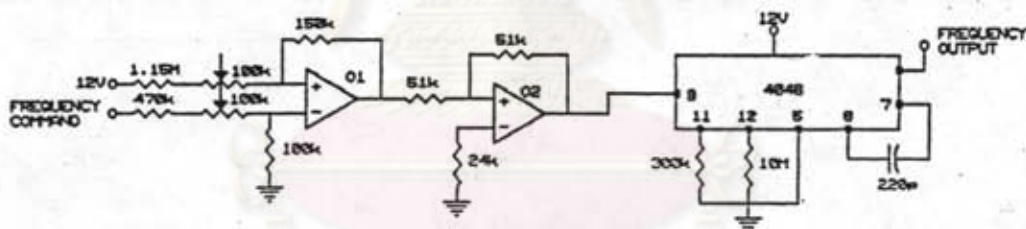
หลักการของวงจรคือ สัญญาณควบคุมความถี่จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณนาฬิกา โดยวงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นความถี่ เพื่อจ่ายให้กับวงจรถับแบบไบนารีโดยวงจรถับแบบไบนารีนี้ จะสามารถนับขึ้นหรือนับลงได้ โดยการควบคุมจากสัญญาณควบคุมการนับ กล่าวคือถ้าสัญญาณ ควบคุมการนับอยู่ในสถานะ HI วงจรถับแบบไบนารีจะทำการนับขึ้น และวงจรถับแบบไบนารีจะ นับลงเมื่อสัญญาณควบคุมอยู่ในสถานะ LO สัญญาณที่ได้จากวงจรถับแบบไบนารีจะเป็นตัวที่ ตำแหน่งของค่าไชน์ที่ถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำทั้งสามเฟสที่เป็นสัญญาณดิจิทัล (digital)

ซึ่งจะถูกแปลงเป็นสัญญาณแอนะล็อก (analog) โดยวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก (D/A converter) สำหรับรายละเอียดของวงจรแต่ละส่วนจะแสดงดังต่อไปนี้

#### 4.4.1 วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นความถี่

วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นความถี่จะทำการ เปลี่ยนสัญญาณควบคุมความถี่เป็นสัญญาณนาฬิกา เพื่อนำไปนับวงจรนับแบบไบนารี ดังมีรายละเอียดในภาพที่ 3.9

จากรูปวงจรออปแอมป์  $O_1$  และ  $O_2$  จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณเข้าจาก 0 ถึง 5 โวลต์เป็นสัญญาณ 0 ถึง 10 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับวงจรกำเนิดความถี่ที่ใช้ไอซีเบอร์ 4046 (ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2521) ซึ่งจะทำหน้าที่กำเนิดความถี่ไปตามแรงดันที่มาจากควบคุมที่เรียกว่า voltage controlled oscillator (VCO) สำหรับความถี่ของวงจรจะคำนวณได้จากย่านของความถี่ด้านออกของวงจรสร้างสัญญาณไซน์ คือ 2 ถึง 50 เฮิรตซ์ ดังนั้นความถี่ที่ถูกสร้างขึ้นอยู่ในช่วง 1020 ถึง 25500 เฮิรตซ์เนื่องจากหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของสัญญาณไซน์แต่ละเฟสมีค่า 510 ค่า



ภาพที่ 3.9 วงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นความถี่

#### 4.4.2 วงจรนับแบบไบนารี

เลือกไอซีเบอร์ 74HC193 (ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2521) เป็นวงจรมับซึ่งทำหน้าที่นับจำนวนรูปคลื่นความถี่จากวงจร VCO ดังภาพที่ 3.10 เพื่อเปลี่ยนเป็นข้อมูลแบบไบนารี เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่ถูกเก็บในหน่วยความจำมีค่าที่ใช้เท่ากับ 510 ค่าซึ่งหมายถึงถ้าเก็บข้อมูลจากตำแหน่งที่  $00_H$  ถึง  $1FE_H$  ดังนั้นในกรณีการนับขึ้นเมื่อนับมาถึงค่า  $1FE_H$  วงจรจะถูกรีเซ็ต โดยส่งสัญญาณ HI ไปที่ขา CLEAR ของวงจรมับ ทำให้วงจรมับเริ่มนับจาก  $00_H$  ใหม่ ส่วนการนับลงนั้นเมื่อวงจรมับลงมาถึง  $00_H$  วงจรจะทำการเปลี่ยนค่าของวงจรมับเป็น  $1FE_H$  ที่ถูกตั้งค่าไว้ แล้วทำการนับลงต่อไป สำหรับสัญญาณนาฬิกาที่ได้มาจากวงจรกำเนิด

สัญญาณนาฬิกาจะต่อเข้าที่ขา BORROW หรือ CLEAR ของวงจรมับ โดยถ้าเป็นการนับขั้นสัญญาณนาฬิกาจะต่อเข้าที่ขา CLEAR และต่อเข้าที่ขา BORROW ในกรณีของการนับลง

#### 4.4.3 หน่วยความจำ ROM สำหรับเก็บรูปคลื่นไซน์

รูปคลื่นไซน์ที่ถูกเก็บไว้เป็นข้อมูลในแบบดิจิทัล ที่เก็บไว้ขนาด 510 ไบต์ โดยเริ่มเก็บค่าตั้งแต่ แอดเดรส  $00_H$  จนถึง  $1FE_H$  เพราะต้องการให้หารลงตัวด้วยเลข 3 เพื่อสะดวกต่อการแยกข้อมูลแต่ละเฟสให้มีค่าต่างเฟส 120 องศา ซึ่งในแต่ละหน่วยของความจำจะบันทึกข้อมูลรูปไซน์ทุกๆ 1.412 องศา

ข้อมูลที่ใช้ในการบันทึกได้มาจากสมการ ดังต่อไปนี้

$$\text{แรงดันเฟส A : } v_a = \frac{256}{2} (1 + \sin\left[\frac{2\pi\theta}{510}\right]) \quad (3.7)$$

$$\text{แรงดันเฟส B : } v_b = \frac{256}{2} (1 + \sin\left[\frac{2\pi(\theta+170)}{510}\right]) \quad (3.8)$$

$$\text{แรงดันเฟส C : } v_c = \frac{256}{2} (1 + \sin\left[\frac{2\pi(\theta+340)}{510}\right]) \quad (3.9)$$

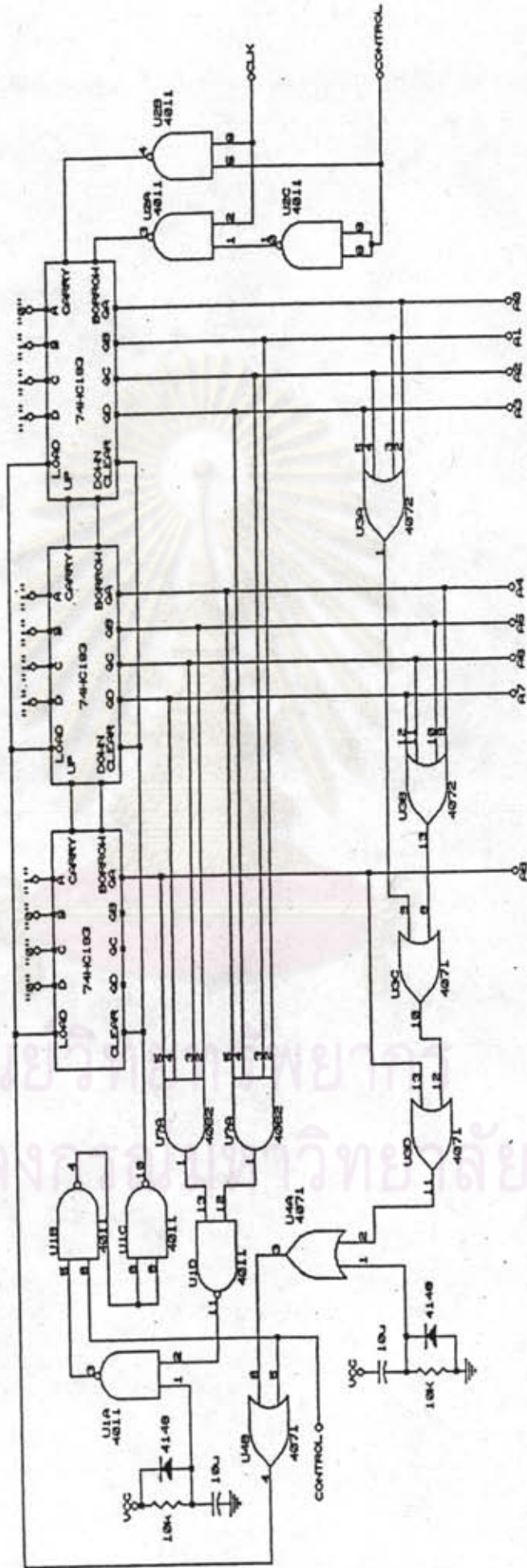
โดย  $0 < \theta < 255$

แรงดันที่คำนวณได้จะถูกเก็บลงในหน่วยความจำ เพื่อนำไปทำการบันทึกลงใน ROM ซึ่งเป็นไอซีเบอร์ 2764 (ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2521) ดังแสดงในโปรแกรมภาษาเบสิกต่อไปนี้

```

10 DEF SEG = &H3000
20 FOR N = 0 TO 2
30 ADDRESS = N * 150
40 FOR X = 0 TO 510
50 Q = 2 * F * X / 510 + 170 * N
60 Y = 128 * (1 + SIN Q)
70 PRINT ADDRESS, Y
80 POKE ADDRESS, Y

```



ภาพที่ 3.10 รายละเอียดของวงจรมแบบนี้สามารถใช้สำหรับความถี่ที่มีเพียงหรือหนึ่งลงได้

```

90 ADDRESS = ADDRESS+1
100 NEXT X
110 NEXT N
120 END

```

ผลลัพธ์นำไปเก็บไว้ที่หน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อรอการนำข้อมูลไปทำการบันทึกลงใน ROM ซึ่งเป็นไอซี 2764 โดยผ่านทางเครื่องบันทึกข้อมูลดังนี้

แรงดันในเฟส A ,  $v_a$  เก็บที่แอดเดรส  $3000_H - 31FF_H$

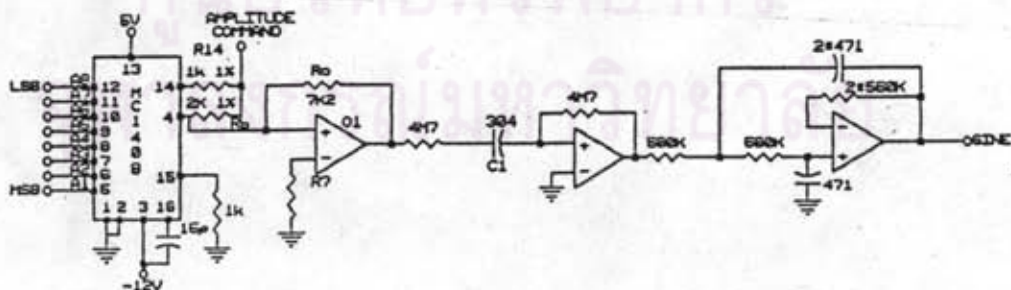
แรงดันในเฟส B ,  $v_b$  เก็บที่แอดเดรส  $3200_H - 32FF_H$

แรงดันในเฟส C ,  $v_c$  เก็บที่แอดเดรส  $3300_H - 33FF_H$

#### 4.4.4 วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

เลือกใช้ไอซีเบอร์ MC1408 (Motorola, 1982) เป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกดังแสดงในภาพที่ 3.11 โดยการเปลี่ยนข้อมูลเป็นไปตามสมการ 3.10

$$V_o = \frac{V_{ref}}{R_{14}} \cdot \left[ \frac{A1}{2} + \frac{A2}{4} + \frac{A3}{8} + \frac{A4}{16} + \frac{A5}{32} + \frac{A6}{64} + \frac{A7}{128} + \frac{A8}{256} \right] - \frac{V_{ref} \cdot R_o}{R_b} \quad (3.10)$$



ภาพที่ 3.11 วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

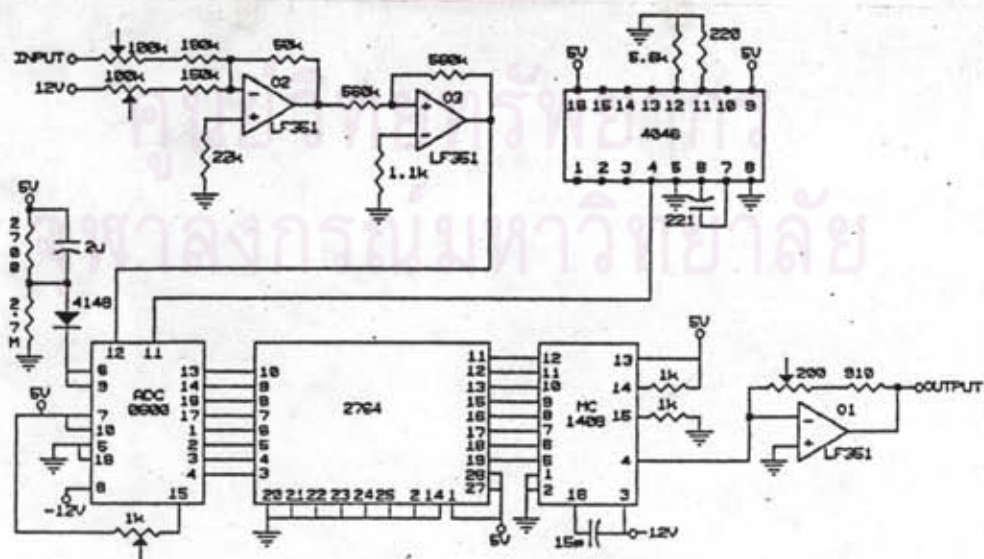
สัญญาณดิจิทัลจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณแอนะล็อก โดย ไอซีเบอร์

MC1408 สัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณกระแสตรงนั้นเมื่อนำไปผ่านวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน โดยออปแอมป์  $O_1$  แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปผ่านวงจรกำเนิดองค์ประกอบไฟตรงและวงจรรอกก็จะได้สัญญาณด้านออกเป็นสัญญาณไซน์ ที่สามารถแปรค่าของความถี่และขนาดได้

#### 4.5 วงจรฟังก์ชันไม่เชิงเส้น

ส่วนควบคุมขนาดของกระแส ได้มาจากวงจรฟังก์ชันไม่เชิงเส้น โดยมีรายละเอียดของวงจรดังแสดงในภาพที่ 3.12

จากวงจรจะเห็นได้ว่าสัญญาณเข้าหรือสลิป (slip) จะถูกแปลงจากสัญญาณแอนะล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยวงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (A/D converter) เบอร์ ADC0800 (National Semiconductor, 1982) แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปชี้ตำแหน่งค่าของฟังก์ชันไม่เชิงเส้น ที่ถูกโปรแกรมในหน่วยความจำ ROM เบอร์ 2764 สัญญาณที่ได้จะถูกเปลี่ยนจากสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก โดยวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (D/A converter) เบอร์ MC1408 ซึ่งสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณกระแสตรงนั้นเมื่อนำไปผ่านวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน โดยออปแอมป์  $O_1$  ก็จะได้สัญญาณด้านออกของวงจรฟังก์ชันไม่เชิงเส้น หรือกระแสอ้างอิงนั่นเอง สำหรับไอซีเบอร์ 4046 จะทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล สำหรับออปแอมป์  $O_2$  และ  $O_3$  จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณเข้าจาก  $\pm 10$  โวลต์ ให้เป็น 0 ถึง 5 โวลต์ เพื่อจ่ายให้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล



ภาพที่ 3.12 วงจรฟังก์ชันไม่เชิงเส้น

ข้อมูลที่ใช้บันทึกในหน่วยความจำได้มาจากสมการที่ 3.1 ถึง 3.5 โดย  
สมการประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆ ที่เป็นพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่วัดได้จากหัวข้อ 2 ดัง  
แสดงในโปรแกรมต่อไปนี้

โปรแกรมสำหรับคำนวณหาค่าของฟังก์ชันไม่เชิงเส้น โดยใช้ภาษาเบสิก

```

10 DEF SEG = &H3000
20 ADDRESS = 0
30 WN = 314.16
40 XS = 1.77
50 XR = 1.83
60 XH = 1.73
70 RR = 0.0754
80 TR = XR/(RR*WN)
90 TRR = (1-XH^2/(XS*XR))*TR
100 J = (((1.5^2*XS^2)-1)/((1-1.5^2*XS^2*TRR^2/TR^2)*WN
      ^2*TR^2))^0.5
110 FOR X = 0 TO 255
120 SL = X*2*J/255 - J
130 IS = (1/XS)*((1+(SL*WN*TR)^2/(1+(SL*WN*TRR)^2))^0.5
140 Y = 255*IS/1.5
150 PRINT ADDRESS ,Y
160 POKE ADDRESS ,Y
170 ADDRESS = ADDRESS + 1
180 NEXT X
190 END

```

ผลลัพธ์นำไปเก็บที่แอดเดรสของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อรอการนำข้อมูลไป  
ทำการบันทึกลงหน่วยความจำ ROM โดยผ่านทางเครื่องบันทึกข้อมูล

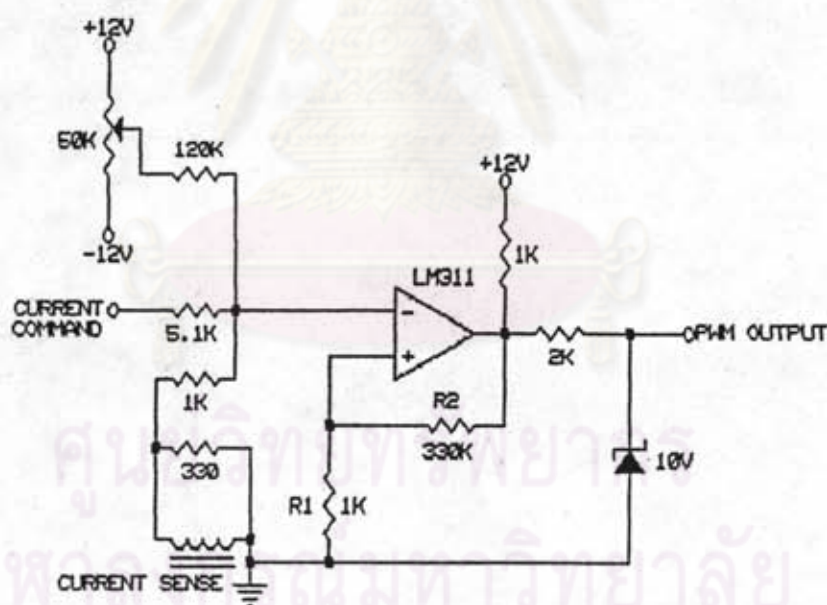
#### 4.6 วงจรเปรียบเทียบแบบมีฮิสเตอร์ซิส

วงจรเปรียบเทียบแบบมีฮิสเตอรีซิส จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จาก วงจรสร้างสัญญาณอ้างอิงรูปไซน์ ซึ่งเป็นสัญญาณกระแสอ้างอิง กับสัญญาณกระแสด้านออกของ อินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.13 แล้วกำเนิดสัญญาณแบบมอดูเลตความกว้างของพัลส์ (pulse width modulation) ของสัญญาณไซน์ สัญญาณ PWM นี้สามารถนำไปควบคุม การตัดต่อสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยที่สัญญาณ PWM นี้มีองค์ประกอบหลักมูลของกระแสที่มีค่าคงที่ ตามกระแสอ้างอิง

จากวงจรสามารถคำนวณหาค่าความกว้างของแถบฮิสเตอรีซิส ได้ดังสมการที่

3.11

$$\Delta v = 2v_{\text{supply}} \cdot \frac{R1}{R1+R2} \quad (3.11)$$



ภาพที่ 3.13 วงจรเปรียบเทียบแบบมีแถบฮิสเตอรีซิส

#### 4.7 วงจรป้องกันการลัดผ่านสวิตช์

การสร้างสัญญาณขับนำทรานซิสเตอร์ จะต้องพิจารณาเวลาเริ่มนำกระแส



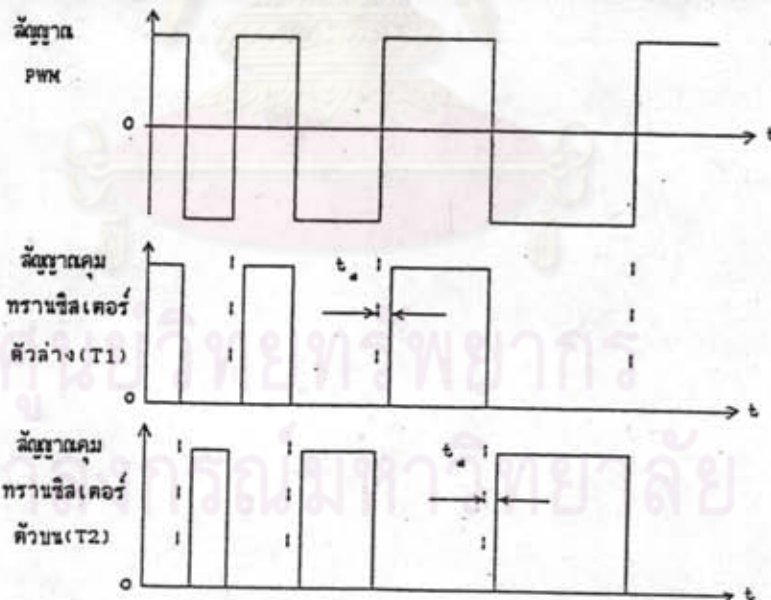
(turn on time) และเวลาหยุดนำกระแส (turn off time) ของทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็น สวิตช์ในวงจร เนื่องจากเวลาในการเริ่มนำกระแสของทรานซิสเตอร์ โดยทั่วไปมีค่าน้อยกว่า เวลาในการหยุดนำกระแส ดังนั้นจึงต้องห้วงเวลาในการเริ่มนำกระแสของทรานซิสเตอร์ให้ มากกว่าเวลาหยุดนำกระแสของทรานซิสเตอร์ ดังภาพที่ 3.14 โดยชื่อกับของสัญญาณ PWM จะใช้ควบคุมทรานซิสเตอร์ตัวล่าง และการตัดต่อสัญญาณของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวจะอ้างอิงกับ จุดกึ่งกลางของตัวเก็บประจุด้านออกของวงจรเรียงกระแส

สำหรับทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์ คือ เบอร์ QM50DY2H (Mitsubishi Electric, 1985) มีเวลาหยุดนำกระแสประมาณ 18 us ดังนั้นเวลาที่ใช้ใน การห้วง (delay time ;  $t_d$ ) สัญญาณขับนำทรานซิสเตอร์กำหนดให้ เพื่อความปลอดภัย เท่ากับ 30 us วงจรห้วงเวลาแสดงในภาพที่ 3.15 (เกษียร สุชีโมกษ์, 2533)

#### 4.8 วงจรขับนำเบสของทรานซิสเตอร์

การขับนำทรานซิสเตอร์ที่ต่อแบบเต็มบริดจ์ของวงจรอินเวอร์เตอร์ ดังภาพที่

3.1 จำเป็นต้องให้วงจรขับนำเบสมีการแยกโดด (isolate) ระหว่างทรานซิสเตอร์แต่ละตัว



$t_d$  คือเวลาห้วง (delay time) ของสัญญาณควบคุมทรานซิสเตอร์ (เท่ากับ 30 us)

ภาพที่ 3.14 สัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์ตัวบนและตัวล่าง ของวงจรในภาพที่ 3.1

ดังนั้นการขับนำเบสของทรานซิสเตอร์ จึงต้องใช้หม้อแปลงเป็นตัวส่งผ่านสัญญาณไฟฟ้าจาก

วงจรกระตุ้นไปยังวงจรขับนำเบส ข้อได้เปรียบของวงจรขับนำที่ใช้หม้อแปลงคือสามารถแยกโดดได้ดี ในกรณีที่ใช้เป็นวงจรขับนำเบสของทรานซิสเตอร์กำลังที่มีแรงดันคร่อมทรานซิสเตอร์สูง แต่ก็มีข้อเสียคือ หม้อแปลงที่ใช้ไม่สามารเปลี่ยนแปลงวัฏจักรงาน (duty cycle) ตลอดย่านความถี่ ซึ่งเป็นผลมาจากความสมดุลของผลคูณแรงดันกับเวลา (volt-sec balance) มิฉะนั้นหม้อแปลงจะอิ่มตัว (saturate) ได้ แต่ก็มีทางแก้ไขได้โดยการแทรกความถี่สูงเป็นพาหะเข้าไปในสัญญาณที่ต้องการส่งผ่านหม้อแปลง เพื่อขับนำทรานซิสเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 3.15 สำหรับภาพที่ 3.16 แสดงรายละเอียดของวงจรขับนำเบสของทรานซิสเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยวงจรแปลงผันพลังงาน ไฟตรง-ไฟตรง แบบ พุช-พูล, วงจรกรองความถี่, วงจรหน่วงเวลาการคายประจุออกจากเบสของทรานซิสเตอร์ในตอนหยุดนำกระแส และวงจรเร่งการนำกระแสของทรานซิสเตอร์ในตอนเริ่มนำกระแส ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ในตอนทรานซิสเตอร์นำกระแสนั้นจะมีสัญญาณมาสั่งให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ทำงานในลักษณะตรงกันข้ามเพื่อส่งผ่านพลังงานจากหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิ (primary) ไปยังด้านทุติยภูมิ (secondary) แล้วผ่านไปยังวงจรเรียงกระแสและกรองโดยวงจรกรองให้ได้เป็นสัญญาณไฟตรง เพื่อส่งไปยังเบสของทรานซิสเตอร์ ผ่านทางวงจรเร่งการนำกระแส  $C_1, D$  และ  $R_1$  โดยมี  $R_2$  เป็นตัวจำกัดกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ไม่ให้มีค่าสูงเกินไป

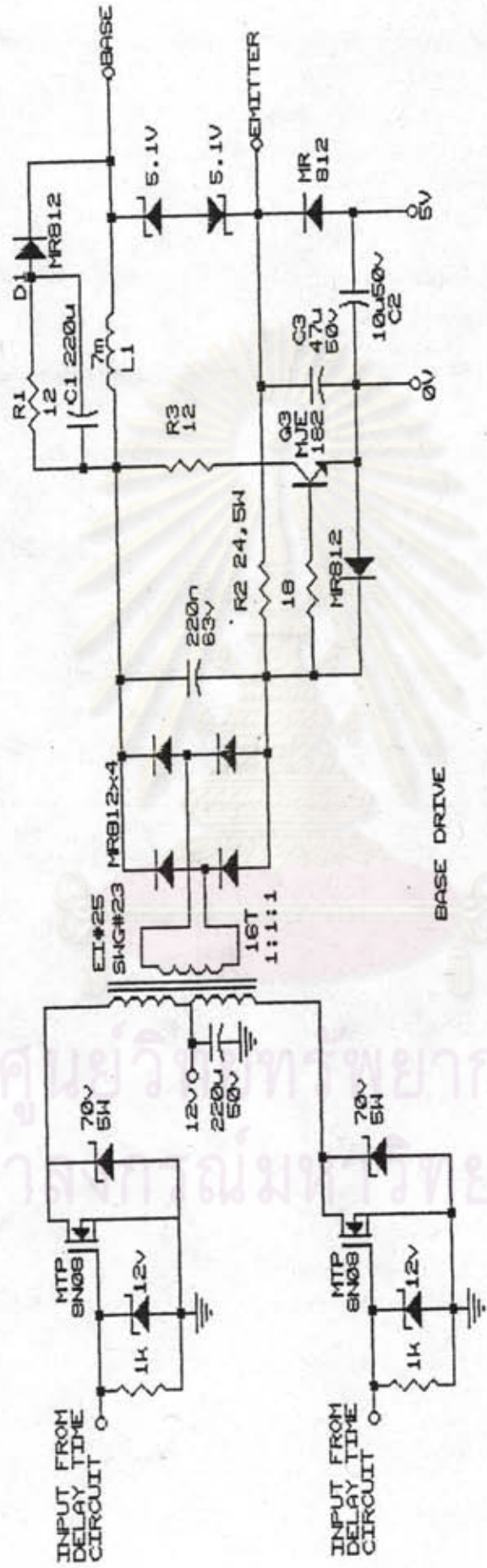
ในตอนทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแสนั้นทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 จะหยุดนำกระแส ดังนั้นจะไม่มีกระแสส่งผ่านพลังงานทางหม้อแปลงทำให้ทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแสทำให้มีแรงดันไฟลบจาก  $C_2$  ไปตกคร่อมเบสอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ โดยผ่านทาง  $L_1, R_3$  ซึ่งเป็นวงจรหน่วงการดึงประจุออกจากเบสของทรานซิสเตอร์ไม่ให้เร็วเกินไป ซึ่งจะเป็ผลทำให้เกิดความหนาแน่นของการนำกระแสสูง (current crowding) เป็นผลทำให้เกิด secondary breakdown ได้

#### 4.9 วงจรควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์

วงจรควบคุมการกลับทางหมุนของมอเตอร์แสดงในภาพที่ 3.17ก และมีรูปคลื่นแสดงการทำงานในแต่ละจุดดังภาพที่ 3.17ข

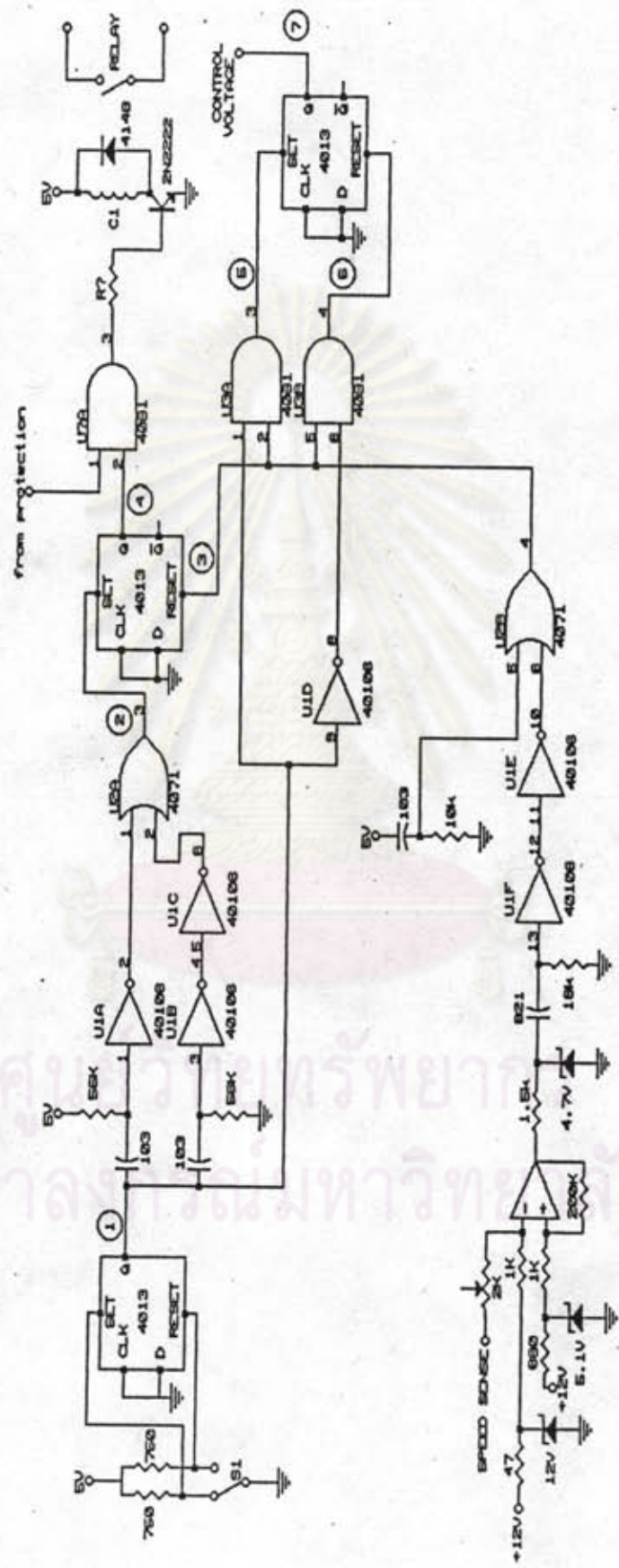
การทำงานของวงจรสมมติ ในตอนแรกสวิตช์ S1 อยู่ที่สถานะ LO ความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่าเป็นลบหรือหมุนกลับทางอยู่ และสัญญาณ CONTROL จะอยู่ที่





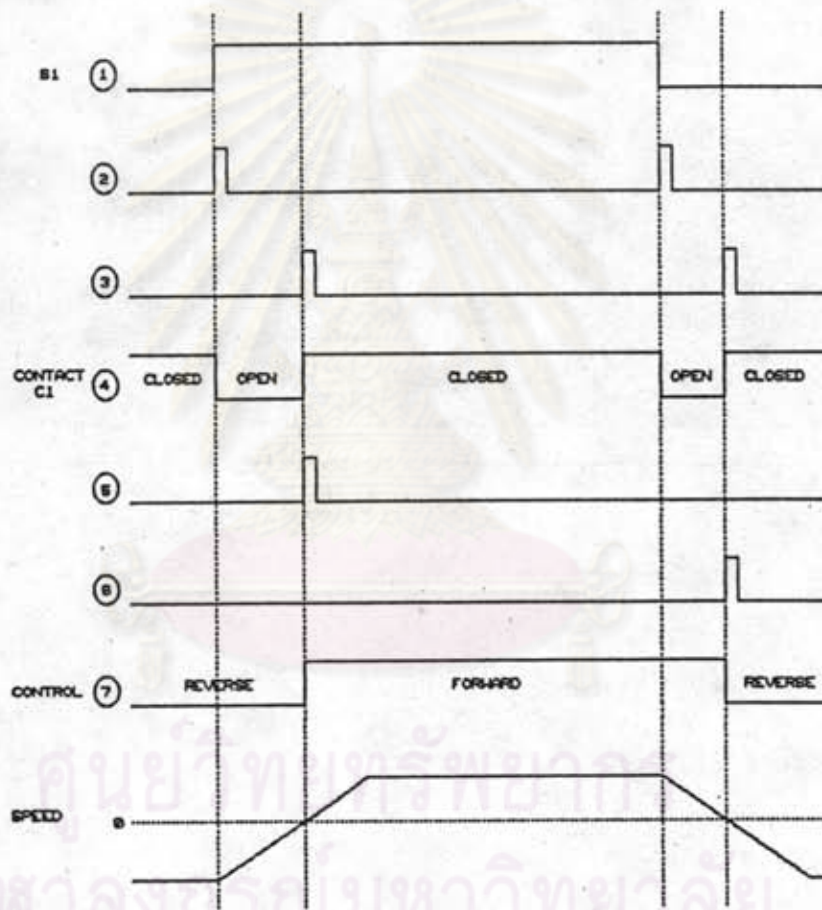
ภาพที่ 3.16 วงจรขับนำเบสของทรานซิสเตอร์

BASE DRIVE



ภาพที่ 3.17 ก) รายละเอียดของวงจรควบคุมการกลับทางหมุนของมอเตอร์

สถานะ LO เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะของสวิตช์ S1 จาก LO เป็น HI จะทำให้มีสัญญาณไปทำให้สัญญาณอ้างอิงของวงจรสร้างสัญญาณอ้างอิง ลดลงมา โดยการเปิดหน้าสัมผัส C1 ซึ่งจะ เป็นผลทำให้ความเร็วรอบค่อยๆ ลดลงมาด้วยอัตราการลดของสัญญาณอ้างอิง จนมีค่าต่ำกว่าค่าหนึ่งจะมีสัญญาณไปเปิดหน้าสัมผัส C1 ทำให้สัญญาณอ้างอิงค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีก และยังทำให้มีการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณ CONTROL จาก LO เป็น HI หรือเปลี่ยนสถานะจาก REVERSE เป็น FORWARD ซึ่งสัญญาณนี้จะไปควบคุมการนับของวงจรสร้างสัญญาณอ้างอิงรูปไซน์ สำหรับ การกลับทางหมุนจาก FORWARD เป็น REVERSE จะมีลักษณะเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



ภาพที่ 3.17ข ลักษณะรูปคลื่นที่จุดต่างๆของวงจรในภาพที่ 3.17ก

#### 4.10 วงจรป้องกัน

วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง จำเป็นต้องมีวงจรป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์

อันเกิดเนื่องมาจากกระแสเกินพิกัด, กระแสลัดวงจร, แรงดันเกินพิกัด และแรงดันต่ำกว่าพิกัด เป็นต้น ซึ่งการผิดปกตินี้จะส่งผลทำให้อุปกรณ์เสียหายได้ ลักษณะสำคัญของวงจรป้องกันก็คือ จะต้องมีการตอบสนองที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัด ส่วนอุปกรณ์ที่ทำการวัด (sensor) จะต้องมีความไวต่อการตอบสนองสัญญาณและความแม่นยำ การตรวจวัดสัญญาณที่ใช้ในการป้องกันอินเวอร์เตอร์ก็คือ

- การตรวจวัดแรงดันไฟตรงนำมาใช้ในการตรวจวัดระดับแรงดันปกติหรือไม่ เช่น ระดับแรงดันต่ำและระดับแรงดันสูงเกินไป

- การตรวจวัดกระแสจากแหล่งจ่ายไฟตรงใช้อุปกรณ์วัดกระแส (LEM) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ Hall effect นำมาใช้ในการตรวจวัดความผิดปกติเนื่องจากการลัดวงจรหรือเกิดการ shoot through

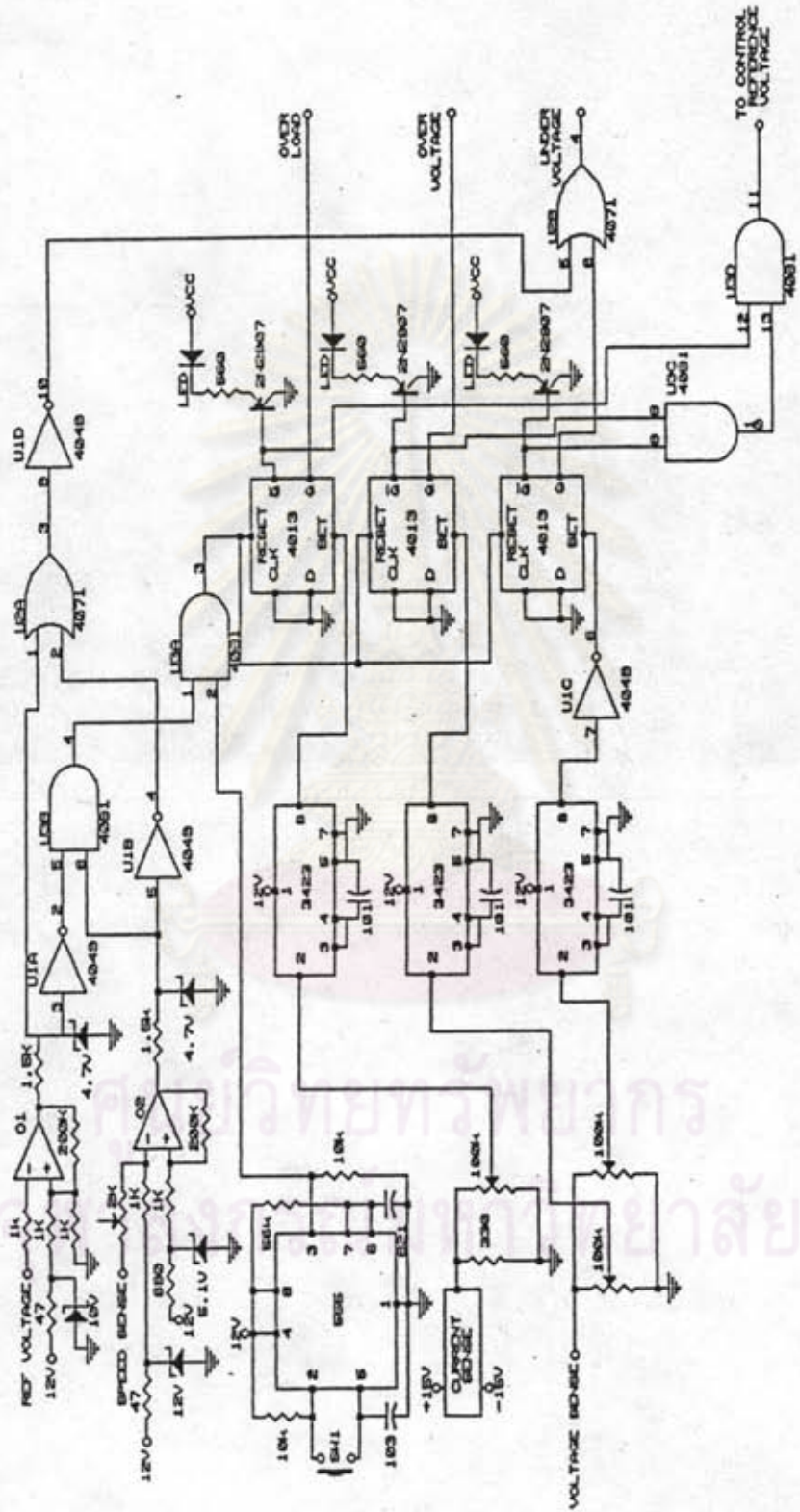
จากข้อกำหนดดังกล่าวจึงนำมากำหนดการทำงานของวงจรโดยมีแรงดันจากวงจรตรวจวัดแรงดันไฟตรง และกระแสจากวงจรตรวจวัดกระแส ดังภาพที่ 3.18

แรงดันกระแสตรง (โวลต์)      แรงดันกระแสสลับจาก      กระแสจากแหล่งจ่าย (แอมป์)  
แหล่งจ่าย (โวลต์)

740	ระดับแรงดันสูงสุด	420	ระดับแรงดันสูงสุด	7	ระดับกระแสสูงสุด
		380	ระดับแรงดันปกติ		
		340	ระดับแรงดันต่ำสุด		

ภาพที่ 3.18 ระดับกระแสและแรงดันของวงจรอินเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจรป้องกันดังแสดงในภาพที่ 3.19 จากวงจรป้องกันกระแสผิดปกติที่ทำการวัดสัญญาณกระแสที่ไหลออกจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง ด้วยวงจรวัดกระแส (current sensor) ที่เป็นโมดูลสำเร็จรูปชื่อว่า LEM ซึ่งใช้หลักการที่เรียกว่า Hall effect สัญญาณด้านออกของวงจรตรวจวัดกระแสจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับระดับแรงดันคงที่ ในตัวไอซี MC3423 (Motoralar, 1982) ถ้ากระแสที่วัดได้มีค่าสูงกว่าระดับแรงดันในตัว MC3423 แรงดันที่ขา 8 ของ MC3423 จะมีระดับเป็น HI ซึ่งจะป้อนค่าให้กับ D flip-flop มีค่าเป็น HI ซึ่งเป็นสัญญาณสถานะผิดปกติ (fault signal) ซึ่งจะถูกต้องกับสัญญาณผิดปกติของวงจรในภาพที่ 3.15 ทำให้ไม่มีสัญญาณไปควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์ และวงจรอินเวอร์เตอร์ก็จะหยุดการทำงาน ผลของสัญญาณแสดงสถานะผิดปกติ



ภาพที่ 3.19 รายละเอียดของวงจรมองกัน



อีกประการหนึ่งคือ จะทำให้หน้าสัมผัส C1 ในภาพที่ 3.17 ตัดวงจร จะมีผลทำให้แรงดันของสัญญาณอ้างอิงลดลงมาที่ค่าต่ำสุด ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่เกิดการผิดปกติหรือเกิดขึ้นในกรณีที่การกลับทางหมุน

การทำงานของวงจรป้องกันแรงดันผิดปกติ เริ่มจากการเปรียบเทียบแรงดันจากวงจรตรวจวัดแรงดันไฟตรง กับแรงดันคงที่ในตัว MC3423 เมื่อแรงดันต่ำหรือสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้จะทำให้มีสัญญาณสถานะผิดปกติไปหยุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ถ้าต้องการให้วงจรทำงานต่อก็ให้กดสวิตช์ SW1 ซึ่งเป็นสวิตช์รีเซ็ต แต่การกดสวิตช์รีเซ็ตนั้น วงจรจะทำงานต่อได้ก็ต่อเมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์และสัญญาณอ้างอิง ตกลงมาที่ค่าต่ำสุดก่อน โดยมีออปแอมป์ O1 และ O2 เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณ

##### 5. การออกแบบวงจรคุมค่า

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้การควบคุมโดยการกำหนดกระแสด้วยหนึ่งนั้น สามารถคำนวณหาฟังก์ชันโอนย้ายวงรอบเปิด (open loop transfer function) (โคทม อาริยา, 2532) ได้ดังสมการ 3.12 ถึง 3.19

$$G_{nrf} = \frac{K_1' + 1 + (K_1' - 1)(f_s \omega_n T_r)^2 + s(K_1' + 1)T_r + s^2 T_r^2 K_1'}{s T_m' ((1 + s T_r)^2 + (f_s \omega_n T_r)^2)} \quad (3.12)$$

$$K_1' = \frac{2K_1 f_s}{i_{sc}} \quad (3.13)$$

$$K_1 = \frac{f_s \omega_n^2}{X_s} \cdot \left[ \frac{1 + (f_s \omega_n T_r')^2}{1 + (f_s \omega_n T_r)^2} \right]^{0.5} \left[ \frac{(T_r^2 - T_r'^2)}{(1 + (f_s \omega_n T_r')^2)^2} \right] \quad (3.14)$$

$$i_{sc} = \frac{1}{X_s} \cdot \left[ \frac{1 + (f_s \omega_n T_r)^2}{1 + (f_s \omega_n T_r')^2} \right]^{0.5} \quad (3.15)$$

$$T_m = \frac{J \Omega_n}{M_n} \quad (3.16)$$

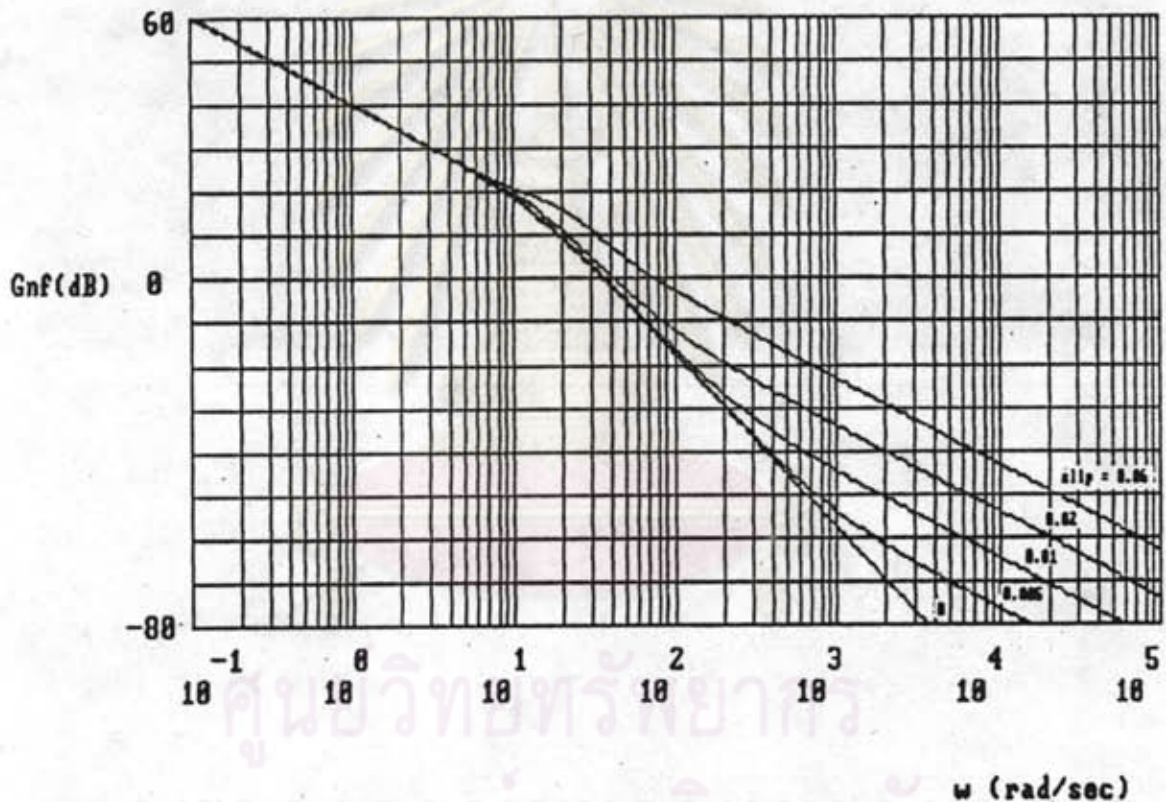
$$T_m' = \left[ \frac{X_s}{X_h} \right]^2 \cdot \left[ 1 + (f_s \omega_n T_r')^2 \right] \cdot \frac{X_r}{\omega_n T_r} \cdot T_m \quad (3.17)$$

$$\Omega_n = \frac{\omega_n}{p} \quad (3.18)$$

$$M_n = \frac{3V_n I_{np}}{\omega} \quad (3.19)$$

- โดย  $T_m$  เป็นค่าคงตัวเวลาเชิงกล  
 $\Omega_n$  เป็นค่าความถี่เชิงมุม  
 $M_n$  เป็นค่าแรงบิดปรากฏ  
 $J$  เป็นค่าโมเมนต์เฉื่อย (inertia)  
 $p$  เป็นจำนวนคู่ขั้วของมอเตอร์

จากสมการดังกล่าวข้างต้น และค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ในหัวข้อที่ 2 สามารถพลอตรูปฟังก์ชันโอนย้ายวงรอบเปิดที่ค่าสลิปต่างๆโดยใช้โปรแกรม Math CAD (Math CAD Manual, 1987) ได้ดังภาพที่ 3.20 สังเกตได้ว่าค่าของสลิปมีผลอย่างมากต่อผลตอบแทนเชิงความถี่



ภาพที่ 3.20 ฟังก์ชันโอนย้ายวงรอบเปิดที่ค่าสลิปต่างๆ

สำหรับกรณีไม่มีโหลด ( $f_u = 0$ ) จะได้ฟังก์ชันโอนย้ายมีลักษณะดังสมการ 3.20 และกรณีที่มีโหลดระบบ ( $f_u = 0.06$ ) จะได้ดังสมการที่ 3.21

$$G_{nf}(s) \Big|_{f_u=0} = \frac{1}{sT_m'(1+sT_r)} \quad (3.20)$$

$$G_{nr}(s) \Big|_{s=0.08} = \frac{1}{sT_m'} \quad (3.21)$$

สำหรับวงจรมุมค่าที่เลือกใช้เป็นแบบ PI (proportional integral controller) โดยมีค่าดังสมการที่ 3.6 และออกแบบที่กรณีของโพลตรงๆ จะเขียนสมการของฟังก์ชันโอนย้ายวงรอบปิดได้ดังสมการ 3.22

$$G_{no}(s) = K_p \frac{(1+sT_1)}{sT_1} \cdot \frac{1}{sT_m'} \quad (3.22)$$

เลือกค่าอัตราขยาย  $K_p$  เพื่อให้ค่าความถี่ตัดข้ามอยู่ในย่านที่ค่าคงตัวเวลาเล็ก ที่ถูกละเลยไปยังไม่ส่งผลต่อเสถียรภาพ

ถ้าเลือกความถี่ตัดข้าม  $\omega_1 = 100 \text{ rad/sec}$  จะได้

$$K_p = \omega_1 T_m' \quad (3.23)$$

$$\text{เมื่อเลือก} \quad T_1 = T_r \quad (3.24)$$

จากค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์จะคำนวณหาค่าได้ดังนี้

$$K_p = 1$$

$$T_1 = 0.08$$

ซึ่งสามารถออกแบบวงจรมอเตอร์ได้ดังภาพที่ 3.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย