

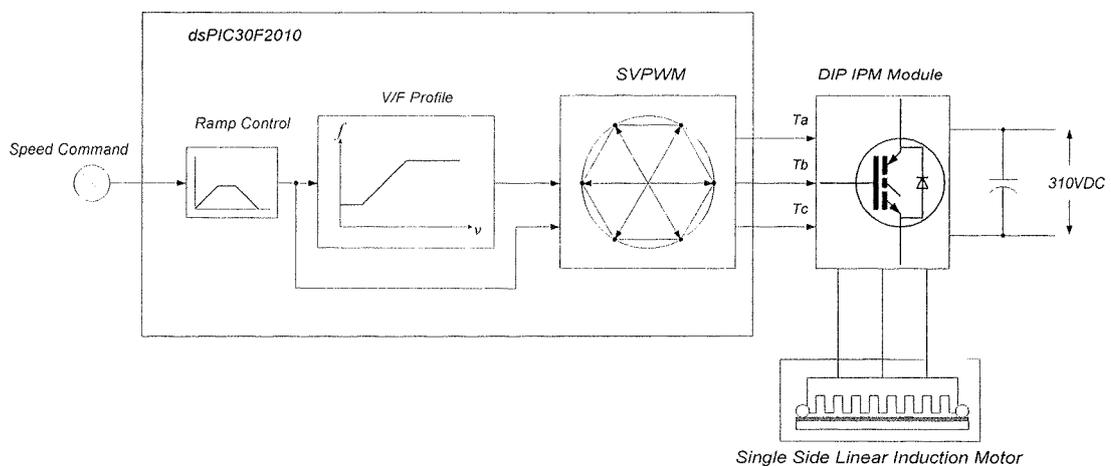
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

บทนี้เป็นการนำเสนอขั้นตอนและวิธีการดำเนินการในส่วนต่างๆ ของโครงการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยการสร้างแบบจำลองมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น เพื่อจำลองการทำงานของระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ การสร้างวงจรระบบควบคุม และวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส เพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น

3.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น

การออกแบบและสร้างส่วนต่างๆ ของระบบควบคุมแบ่งออกเป็นส่วนประกอบดังรูปที่ 3.1

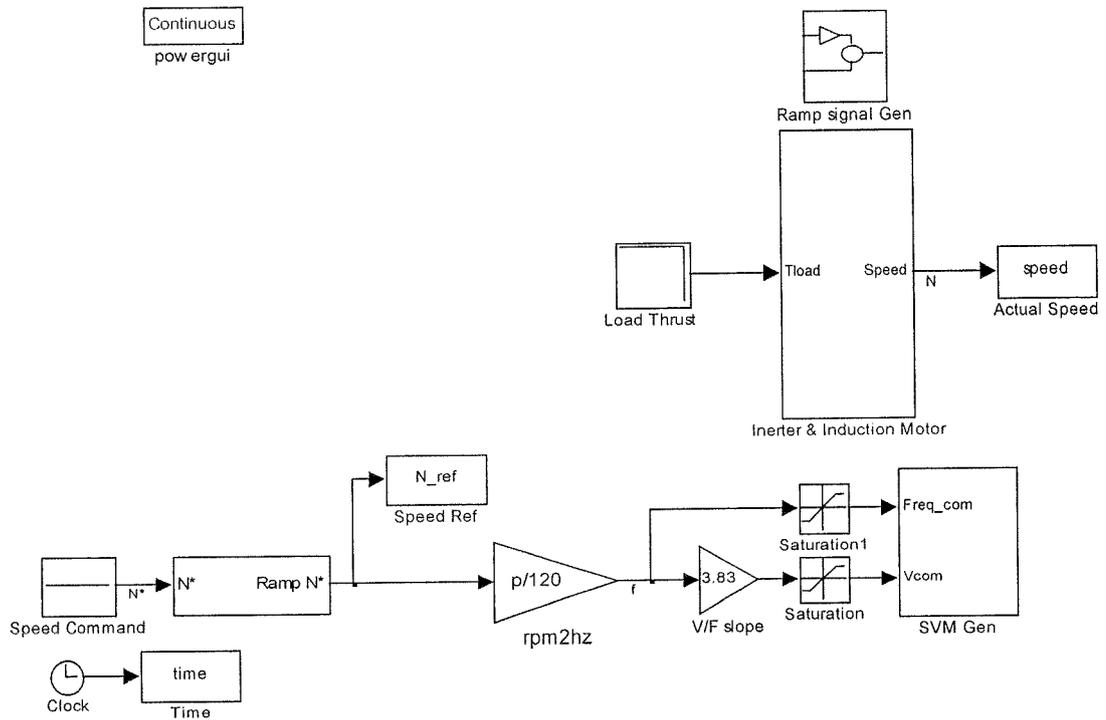


รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นในโครงการ

ในโครงการงานวิจัย ระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นใช้วิธีการควบคุมแบบ Scalar Control ด้วยวิธีควบคุมแรงดันต่อความถี่แบบ Space Vector Modulation (หรือเรียกว่า SVPWM V/F Control) โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้คือ ส่วนมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นแบบด้านเดียว (SLIM) วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส และระบบควบคุมความเร็ว ซึ่งระบบควบคุมความเร็ว จะทำการควบคุมขนาดแรงดันและความถี่ขาออกของวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยประกอบด้วยส่วนวงจร (Hardware) และโปรแกรมควบคุม (Software) ภายในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างในส่วนต่างๆ ภายในระบบทั้งหมด

3.2 แบบจำลอง และการออกแบบระบบควบคุม

จากแผนภาพไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะนำมาสร้างแบบจำลองของระบบการควบคุมความเร็ว มอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ซึ่งระบบจำลองการควบคุมระบบทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพไดอะแกรมแบบจำลองระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น

ใน SIMULINK model ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของระบบควบคุมความเร็วของ SLIM ระบบควบคุมที่นำเสนอ นั้น เป็นแบบ Volt/Hz ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งมีการเพิ่มในส่วน of Ramp Control ซึ่งการควบคุมเป็นแบบตัวควบคุมชนิดพีไอ (PI Controller) เพื่อลดการกระชากของมอเตอร์ ในขณะที่เพิ่มหรือลดความเร็วอย่างกะทันหัน ทั้งนี้เมื่อระบบทำงาน ความเร็วของมอเตอร์จะค่อยๆ เปลี่ยนแปลง และเข้าสู่กระบวนการของ Volt/Hz Control เพื่อควบคุมขนาดแรงดันขาออกให้เหมาะสมกับค่าความถี่ที่กำหนด (เนื่องจากความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับจะแปรผันตามค่าความถี่) จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการสร้างสัญญาณควบคุมให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ด้วยหลักการของ Space Vector Modulation Technique

ทั้งนี้เพื่อให้การออกแบบระบบนี้ถูกต้องสมบูรณ์ ในโครงการวิจัยนี้จึงทำการจำลองระบบโดยการใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เพื่อทำการทดสอบหาผลตอบสนองต่างๆ ของระบบจำลองตามที่ต้องการเสียก่อน

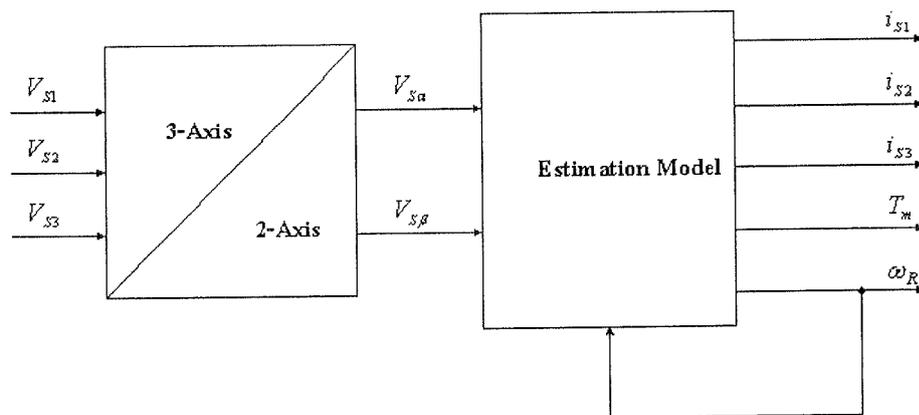
3.2.1 แบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น

แบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นในโครงการ ใช้พื้นฐานจากแบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นที่ใช้ในการจำลองนั้นได้จากการทดสอบด้วยหลักการเดียวกับการหาค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกลไฟฟ้าทั่วไป แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
ความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ R_s	8.4 โอห์ม
ความต้านทานของโรเตอร์ R_r	3.82 โอห์ม
ความเหนี่ยวนำรั่วไหลของขดลวดสเตเตอร์ L_{ls}	0.029874 เฮนรี
ความเหนี่ยวนำรั่วไหลของขดลวดโรเตอร์ L_{lr}	0.029874 เฮนรี
ความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ L_m	0.268079 เฮนรี
จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ P	2
โมเมนต์ความเฉื่อย J	0.00055

แบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นสามารถแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพไดอะแกรมแบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น

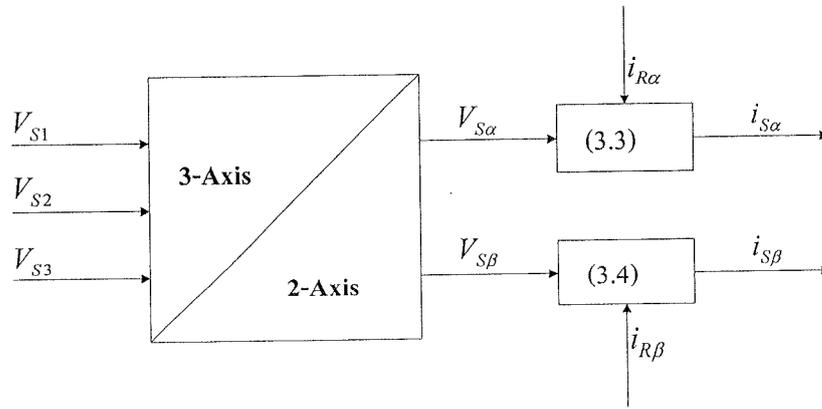
ส่วนประกอบของแผนภาพไดอะแกรมนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

- เริ่มจากการแปลงแรงดันให้อยู่ใน Stator Frame หรือการแปลงจาก 3 แกนเป็น 2 แกน โดยใช้ Clark Transform สมการที่ 3.1 และ 3.1 จะได้แรงดันในแกน α และ β

$$V_{S\alpha} = \frac{2}{3} \left(V_{S1} + \frac{1}{2} \cdot V_{S2} - \frac{1}{2} \cdot V_{S3} \right) \quad (3.1)$$

$$V_{S\beta} = \frac{2}{3} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot V_{S2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot V_{S3} \right) \quad (3.2)$$

- ลำดับต่อไป หาสมการของกระแสที่เกิดขึ้นใน Stator Frame ทั้งหมด และเขียนลงใน SIMULINK Model ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนภาพไดอะแกรมของกระแสใน Stator Frame

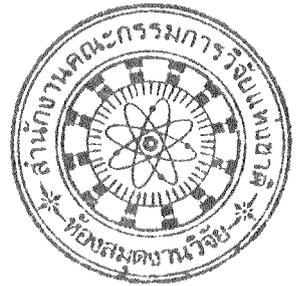
- สมการกระแส $i_{S\alpha}$, $i_{S\beta}$, $i_{R\alpha}$ และ $i_{R\beta}$ เป็นดังนี้

$$i_{S\alpha} = \frac{1}{L_s} \int (V_{S\alpha} - R_s i_{S\alpha}) dt - \frac{L_m}{L_s} \cdot i_{R\alpha} \quad (3.3)$$

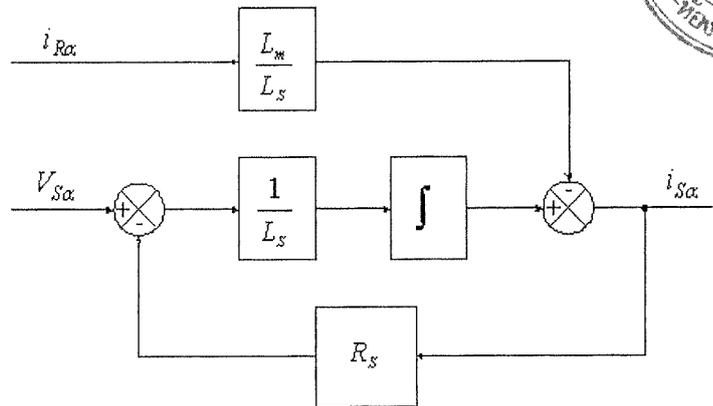
$$i_{S\beta} = \frac{1}{L_s} \int (V_{S\beta} - R_s i_{S\beta}) dt - \frac{L_m}{L_s} \cdot i_{R\beta} \quad (3.4)$$

$$i_{R\alpha} = \frac{1}{L'_R} \int (V_{R\alpha} - R'_R i_{R\alpha} - \omega_R L'_R i_{R\beta} - \omega_R L_m i_{S\beta}) dt - \frac{L_m}{L'_R} \cdot i_{S\alpha} \quad (3.5)$$

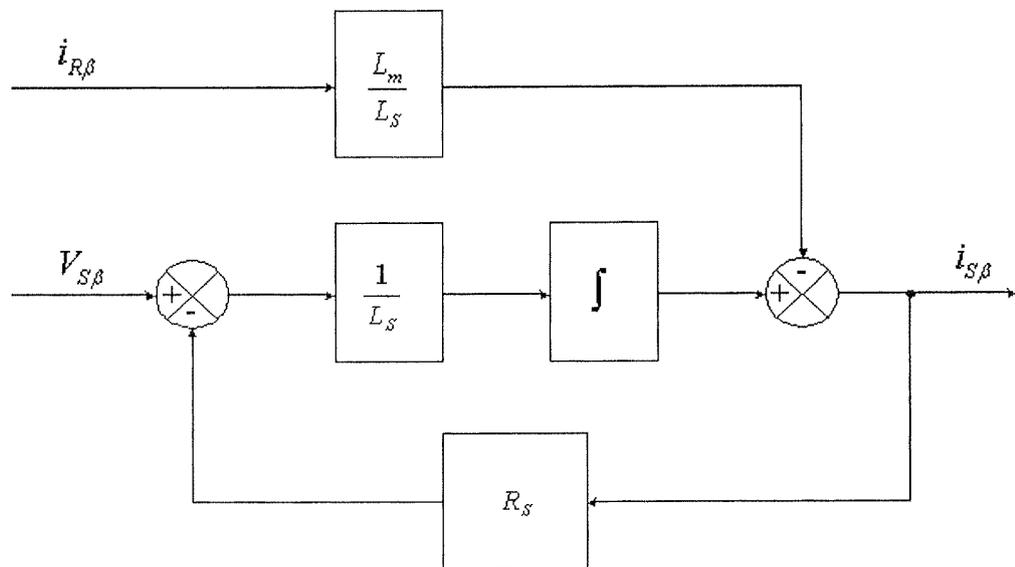
$$i_{R\beta} = \frac{1}{L'_R} \int (V_{R\beta} - R'_R i_{R\beta} + \omega_R L'_R i_{R\alpha} + \omega_R L_m i_{S\alpha}) dt - \frac{L_m}{L'_R} \cdot i_{S\beta} \quad (3.6)$$



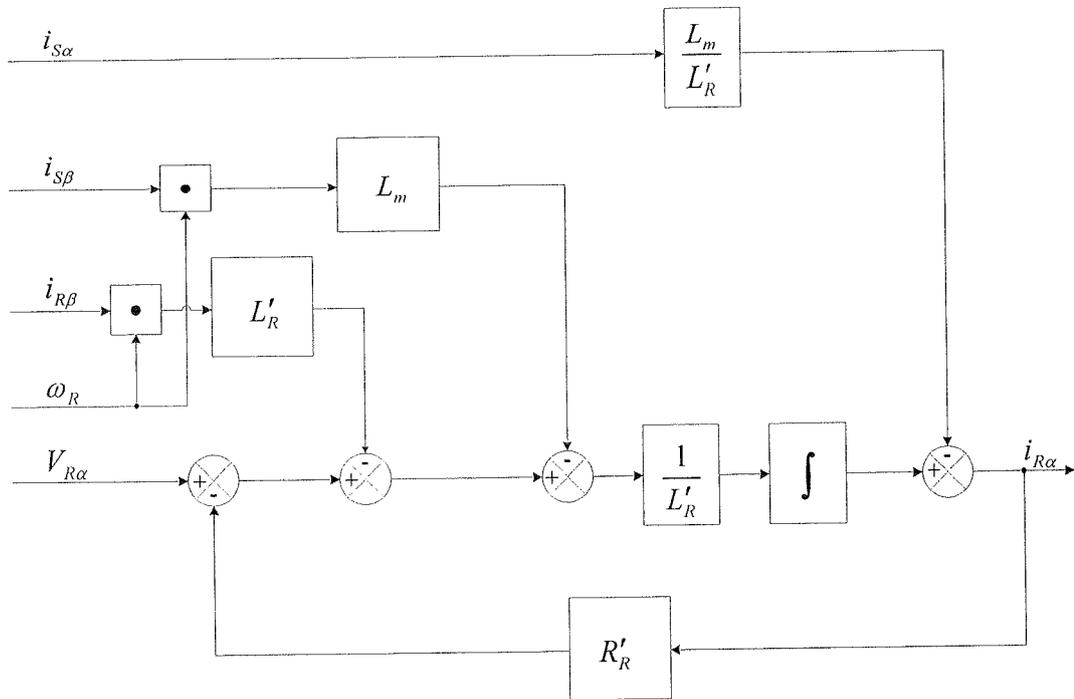
- เขียนสมการกระแสจากสมการ (3.3) – (3.6) เป็นแผนภาพได้ดังนี้



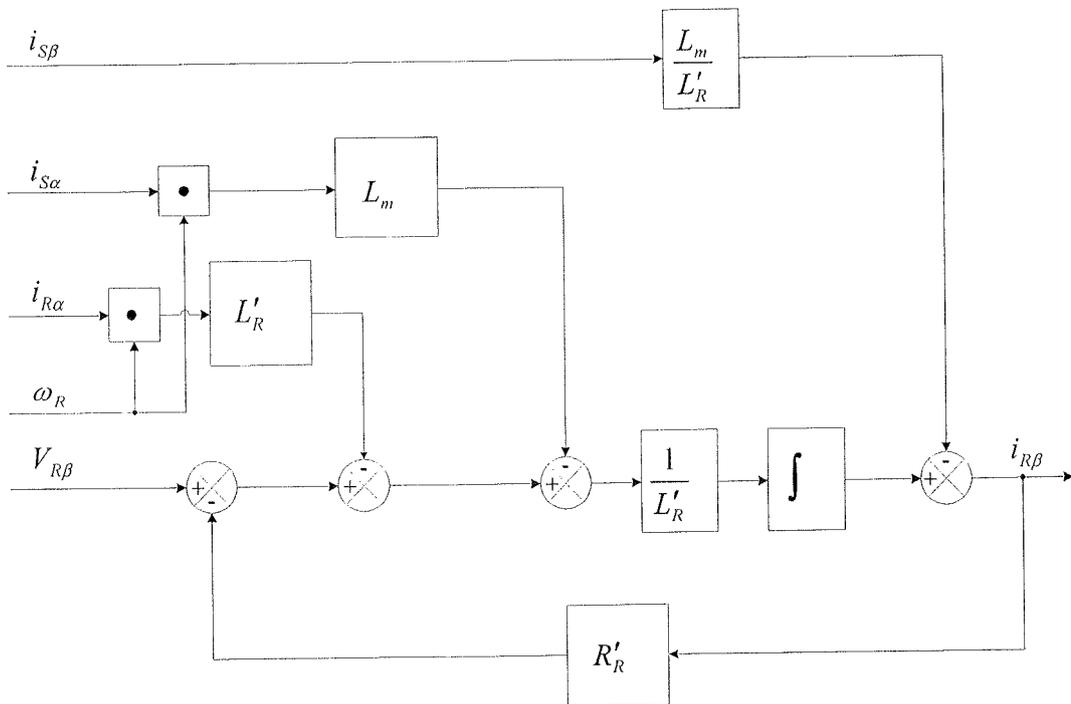
รูปที่ 3.5 แผนภาพไดอะแกรมของกระแส $i_{s\alpha}$



รูปที่ 3.6 แผนภาพไดอะแกรมของกระแส $i_{s\beta}$



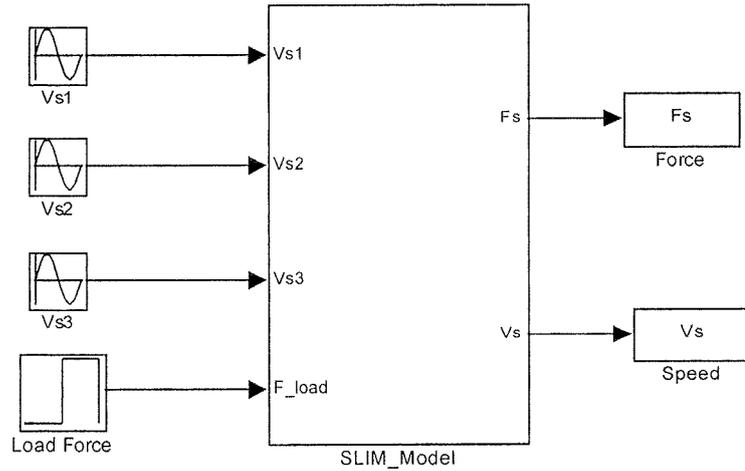
รูปที่ 3.7 แผนภาพไดอะแกรมของกระแส $i_{R\alpha}$



รูปที่ 3.8 แผนภาพไดอะแกรมของกระแส $i_{R\beta}$

- สมการแรงของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นที่นำเสนอนั้น จะเป็นแบบแรงบิด (Torque) ดังสมการ

$$T_m = \frac{3}{2} \frac{P}{2} L_m (i_{s\beta} i_{r\alpha} - i_{s\alpha} i_{r\beta}) \quad (3.7)$$



รูปที่ 3.9 แผนภาพไดอะแกรม SIMULINK model ของแบบจำลองมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น

3.2.2 สมการฟังก์ชันถ่ายโอนระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น

พิจารณาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (ω) และแรงที่เกิดขึ้นในเครื่องกลไฟฟ้า ($F_m = T_{em}$) ดังสมการที่ 3.8

$$T_{em} = T_L + J \frac{d\omega}{dt} + B\omega \quad (3.8)$$

เมื่อ T_{em} เป็น แรงบิดแม่เหล็กที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ (Electromagnetic Torque)

T_L เป็น แรงที่เกิดจากภาระงานที่กระทำต่อเครื่องจักรกล (Load Torque)

J เป็น โมเมนต์ความเฉื่อย

ω เป็น ความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล (Rad./sec)

B เป็น แรงเสียดทานความหนืด (Viscous Friction)

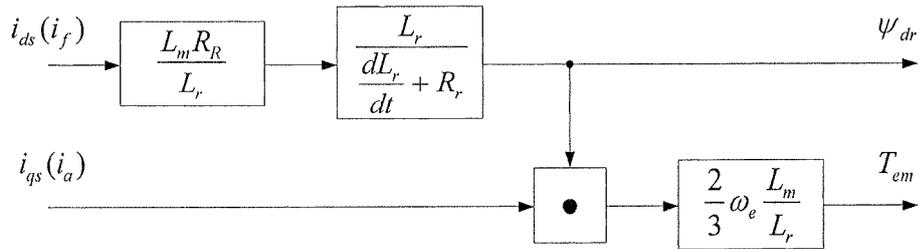
จากสมการจะเห็นว่าความเร็วของเครื่องกลไฟฟ้าเกิดจากแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ ดังนั้น การออกแบบระบบควบคุมความเร็วของเครื่องกลไฟฟ้าจะต้องพิจารณาในส่วนที่ทำให้เกิดแรง ซึ่งในการพิจารณาเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับนั้นมีความซับซ้อน แต่หากเปรียบเทียบเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับเป็นเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง จะทำให้เข้าใจง่ายขึ้น ดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Separately Excited DC Motor มีกระแสเข้าวงจร 2 ส่วนคือ กระแสที่สร้างแรง (i_a) และกระแสที่สร้างฟลักซ์ (i_f) ซึ่งกระแส i_f มีค่าคงที่ และ i_a จะเปลี่ยนแปลงค่าได้ โดยสมการแรงบิดของมอเตอร์ เป็นดังนี้

$$T_{em} = K_t i_a(t) \quad (3.9)$$

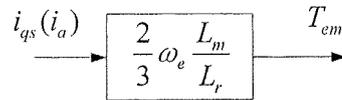
เมื่อ K_t เป็น ค่าคงที่

ในเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับก็เช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงไคอะแกรมแสดงดังรูปที่ 3.10



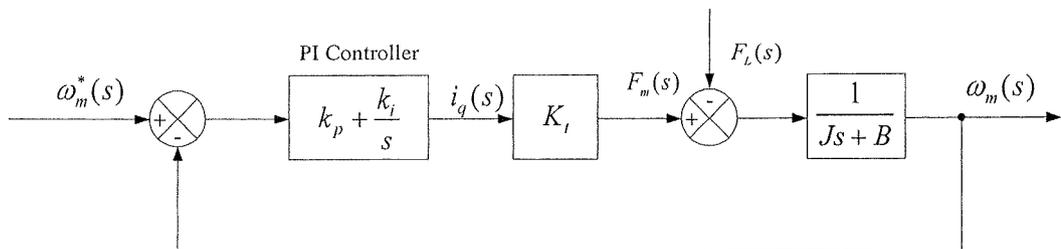
รูปที่ 3.10 แผนภาพไคอะแกรมเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อค่าของฟลักซ์คงที่เนื่องจากกระแส i_{ds} คงที่ ดังนั้นแผนภาพก็จะลดรูปลงได้ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผนภาพไคอะแกรมเมื่อพิจารณาฟลักซ์คงที่

เมื่อพิจารณาสมการที่ 3.8 และแผนภาพไคอะแกรมดังรูปที่ 3.11 แผนภาพไคอะแกรมระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น เมื่อเพิ่มส่วนคอนโทรลเลอร์เข้าไปจะได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนภาพไคอะแกรมระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น

เมื่อ $K_t = \frac{2}{3} \omega_e \frac{L_m}{L_r} \psi_{dr}$ และเมื่อกำหนดค่าของแรงไหล $F_L(s)$ ให้เท่ากับ 0 จะได้ฟังก์ชันถ่าย

โอนระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น ดังสมการ

$$G_p(s) = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) \frac{K_t}{Js + B} \quad (3.10)$$

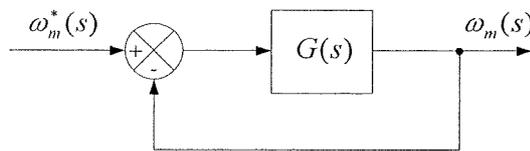
ค่าพารามิเตอร์ที่จะต้องพิจารณาคือ โรเตอร์ฟลักซ์ (ψ_{dr}) ซึ่งค่าสูงสุดของฟลักซ์ได้จากค่าสูงสุดของแรงดัน และค่าความเร็ว ดังสมการ

$$\psi = \frac{V}{\omega} \quad (3.11)$$

ค่าของฟลักซ์ต่อสัญญาณหนึ่งหน่วย (Per-Unit) สามารถหาได้จากสมการ

$$\psi = \frac{1}{\omega_e} \quad (3.12)$$

ทำการเขียนแผนภาพไดอะแกรมระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นดังรูปที่ 3.13 เพื่อหาสมการฟังก์ชันถ่ายโอนแบบวงปิด (Closed-loop Transfer Function)



รูปที่ 3.13 แผนภาพไดอะแกรมระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นอย่างง่าย

ฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดของระบบควบคุมความเร็ว มอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น แสดงได้ดังสมการ

$$G(s) = \frac{\omega_m(s)}{\omega_m^*(s)} = \frac{k}{s^2 + (B/J + k)s + k} \quad (3.13)$$

เมื่อ k เป็นค่าคงที่รวมของระบบ ซึ่งสามารถหาได้จาก $k = \frac{K_t/J}{P}$

โดยที่ P เป็นจำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

3.2.3 ค่าอัตราส่วน V/F ของระบบควบคุม

เมื่อทราบค่าของความเร็วที่ได้จากระบบควบคุมรวมกับความเร็วที่วัดได้แล้ว ลำดับต่อไปคือเข้าสู่แผนภาพความสัมพันธ์ของแรงดันและความถี่ เพื่อใช้ในการสร้างแผนภาพของระบบควบคุมแรงดันต่อความเร็ว (V/F Control) ซึ่งภายในแผนภาพดังกล่าวมีกระบวนการคำนวณดังนี้

$$k_{vf} = \frac{V}{f} \quad (3.8)$$

เมื่อ k_{vf} เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันและความถี่

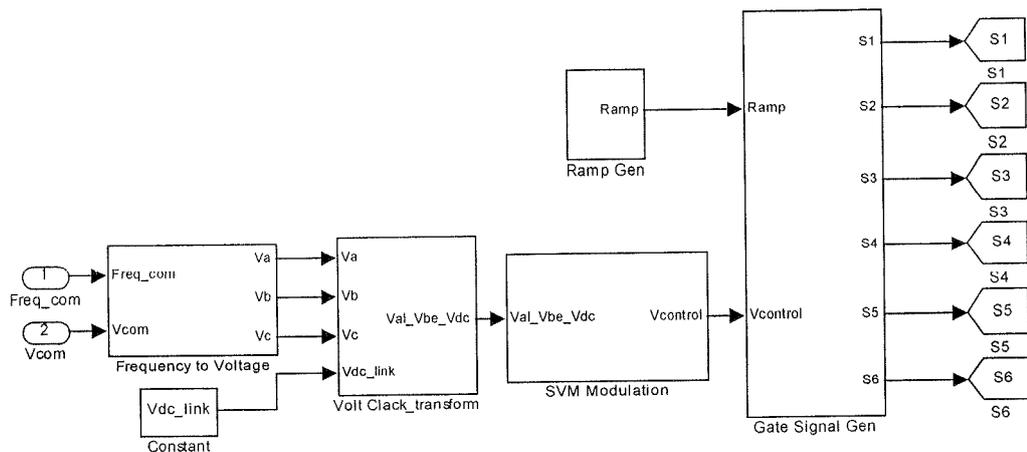
อัตราส่วนของแรงดันและความถี่นั้นได้จากขนาดความถี่และแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ โดยกำหนดอยู่ที่ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ดังนั้นจะได้อัตราส่วนของแรงดันและความถี่เท่ากับ

$$k_{vf} = 220/50 = 4.4$$

จากค่าอัตราส่วนของแรงดัน/ความถี่ที่ได้ อธิบายได้ดังนี้ ที่ความถี่เท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ จะได้แรงดันเท่ากับ 220 โวลต์ และถ้าค่าความถี่เท่ากับ 40 เฮิร์ตซ์ จะได้แรงดันเท่ากับ 176 โวลต์

3.2.4 แบบจำลองการสร้างสัญญาณ SVPWM

การสร้างสัญญาณ SVPWM ที่นำเสนอ ใช้เทคนิค Space Vector Modulation ซึ่งภายในแผนภาพนั้น แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แผนภาพไลอะแกรมการสร้างสัญญาณ SVPWM

หลักการสร้างสัญญาณ SVPWM เริ่มจากนำค่าแรงดันและความถี่ที่ได้จากระบบควบคุม และแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความถี่ มาทำการสร้างแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ดังนี้

$$V_a = V_{com} \sin(\omega t) \quad (3.9)$$

$$V_b = V_{com} \sin(\omega t + 2\pi/3) \quad (3.10)$$

$$V_c = V_{com} \sin(\omega t + 4\pi/3) \quad (3.11)$$

จากนั้นทำการแปลงตัวแปรจาก 3 แกนเป็น 2 แกนด้วยวิธี Clark's Transform

$$V_\alpha = \frac{2}{3}(V_{s1} + \frac{1}{2} \cdot V_{s2} - \frac{1}{2} \cdot V_{s3}) \quad (3.12)$$

$$V_\beta = \frac{2}{3}(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot V_{s2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot V_{s3}) \quad (3.13)$$

และมุมระหว่าง V_α และ V_β ได้จากสมการที่ 3.14

$$\theta = \tan^{-1} \frac{V_\beta}{V_\alpha} \quad (3.14)$$

และทำการหาเซกเตอร์โดยใช้ค่า θ ซึ่งทำการแบ่งเซกเตอร์ดังนี้

เซกเตอร์ที่ 1 อยู่ระหว่าง $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$

เซกเตอร์ที่ 2 อยู่ระหว่าง $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$

เซกเตอร์ที่ 3 อยู่ระหว่าง $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$

เซกเตอร์ที่ 4 อยู่ระหว่าง $180^\circ \leq \theta \leq 240^\circ$

เซกเตอร์ที่ 5 อยู่ระหว่าง $240^\circ \leq \theta \leq 300^\circ$

เซกเตอร์ที่ 1 อยู่ระหว่าง $300^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$

จากนั้นทำการสร้างแรงดันเพื่อใช้เป็นสัญญาณที่จะทำการมอดูเลชันกับสัญญาณสามเหลี่ยม โดยใช้สมการดังนี้

$$\text{เซกเตอร์ที่ 1} \quad \frac{\sqrt{2} \times (\sqrt{2} \times V_{DC} + \sqrt{3} \times V_\alpha + V_\beta)}{4V_{DC}}$$

$$\text{เซกเตอร์ที่ 2} \quad \frac{V_{DC} + \sqrt{6}V_\alpha}{2V_{DC}}$$

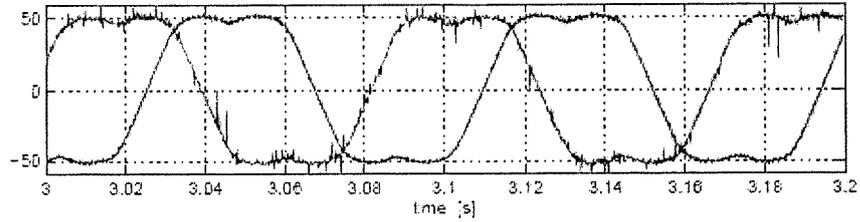
$$\text{เซกเตอร์ที่ 3} \quad \frac{\sqrt{2} \times (\sqrt{2} \times V_{DC} + \sqrt{3} \times V_\alpha - V_\beta)}{4V_{DC}}$$

$$\text{เซกเตอร์ที่ 4} \quad \frac{\sqrt{2} \times (\sqrt{2} \times V_{DC} + \sqrt{3} \times V_\alpha + V_\beta)}{4V_{DC}}$$

$$\text{เซกเตอร์ที่ 5} \quad \frac{V_{DC} + \sqrt{6}V_\alpha}{2V_{DC}}$$

$$\text{เซกเตอร์ที่ 6} \quad \frac{\sqrt{2} \times (\sqrt{2} \times V_{DC} + \sqrt{3} \times V_\alpha - V_\beta)}{4V_{DC}}$$

สัญญาณ v_α และ v_β ที่คำนวณได้แสดงดังรูปที่ 3.15

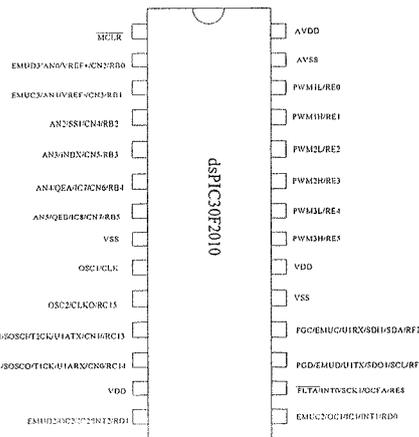


รูปที่ 3.15 สัญญาณที่ได้จากการสร้างสัญญาณ SVPWM

3.3 การออกแบบ และสร้างวงจรระบบควบคุม

3.3.1 การออกแบบวงจรบอร์ดประมวลผลสัญญาณ

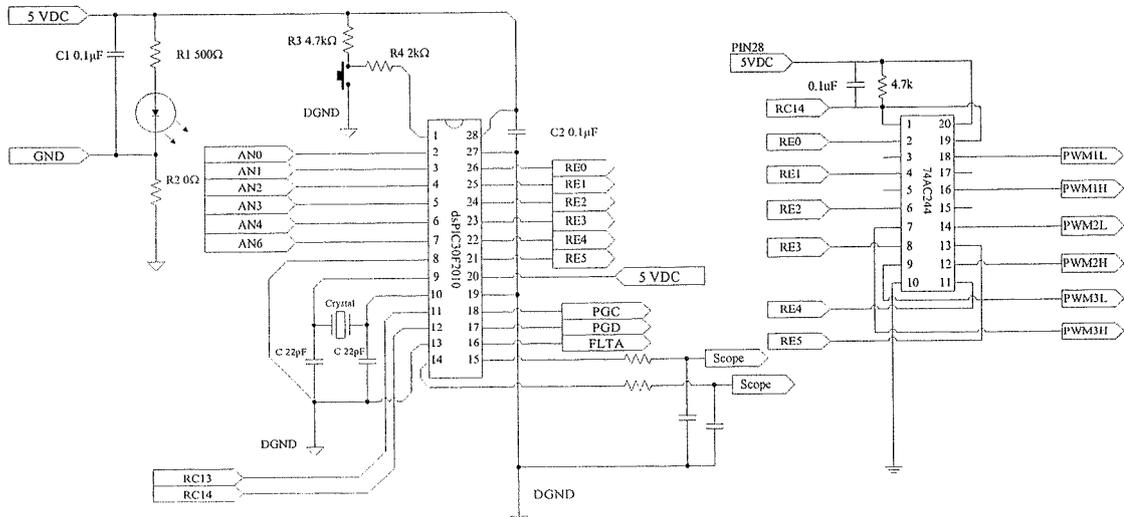
การประมวลผลสัญญาณสำหรับวงจรระบบควบคุมของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นนั้น ใช้ชิพตระกูล dsPIC30F2010 ของบริษัท Microchip Inc ซึ่งเป็นชิพขนาด 28 ขา ขนาดการประมวลผล 16 บิต ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของชิพเบอร์ dsPIC30F2010

จุดเด่นของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพ เบอร์ dsPIC30F2010 คือ รวมความสามารถด้านการควบคุม (MCU) และการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) เข้าด้วยกัน ทำให้มีขีดความสามารถในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ สามารถประมวลผลได้สูงถึง 16 บิต สามารถแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลได้ละเอียด และมีความเร็วในการสุ่มสัญญาณสูง ในขณะที่มีขนาดเล็กและราคาต่ำอีกด้วย

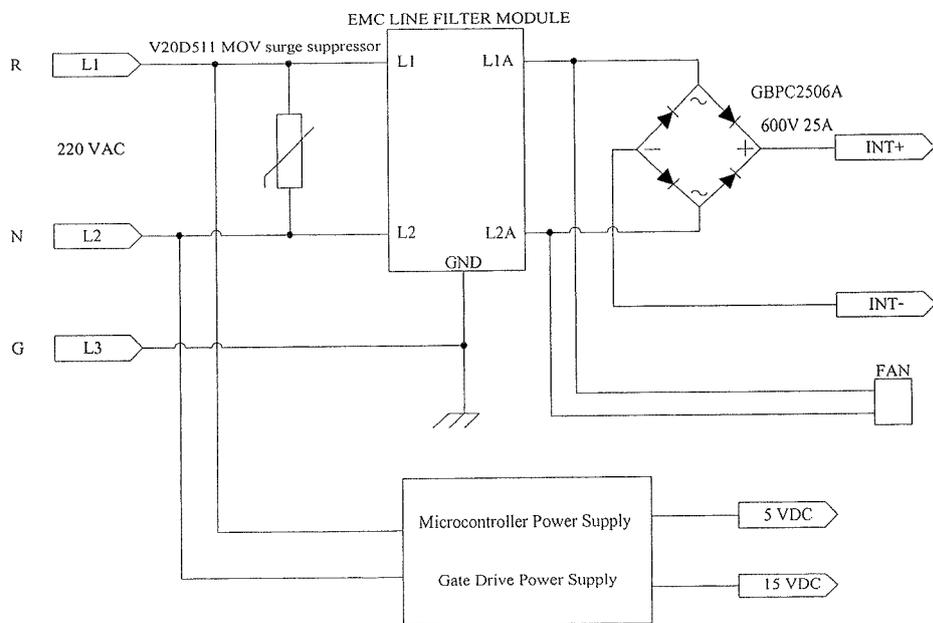
แต่เนื่องจากชิพประมวลผลสัญญาณนี้มีความไวต่อสัญญาณรบกวนต่างๆ เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในงานควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีสัญญาณรบกวนที่มีผลต่อระบบได้หลายทาง การออกแบบวงจรการทำงานนั้นจึงต้องมีการป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น วงจรการทำงานของ dsPIC30F2010 ที่สร้างขึ้นนี้ แสดงดังรูปที่ 3.17



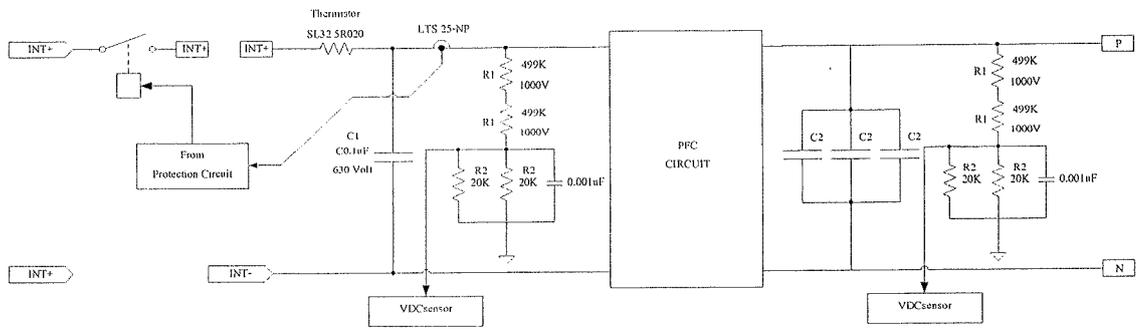
รูปที่ 3.17 วงจรการทำงานของ dsPIC30F2010 ในโครงการ

3.3.2 ระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้า

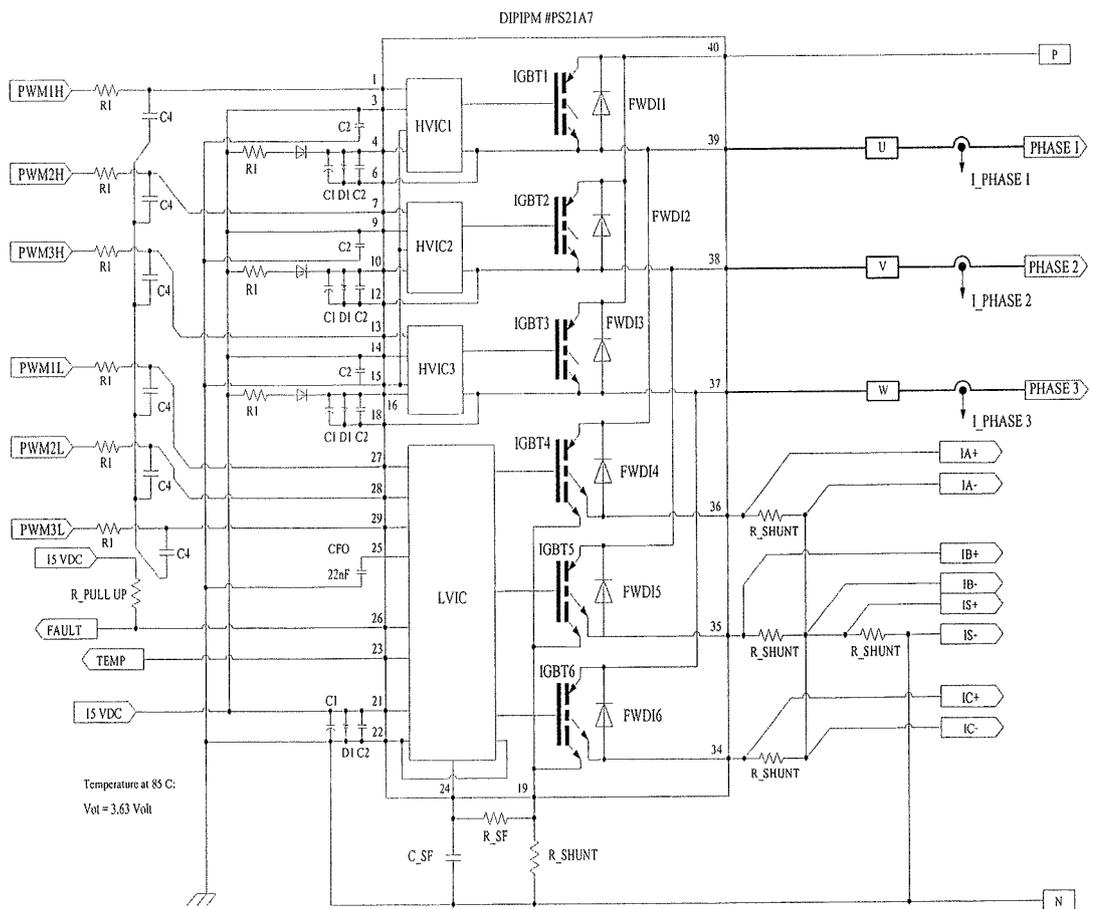
ระบบแปลงผันพลังงานที่สร้างขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วนคือ วงจรเรกติไฟเออร์ และวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 3.18 และ 3.20



รูปที่ 3.18 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.19 วงจรป้องกัน Inrush Current พร้อมวงจรกรองแรงดัน



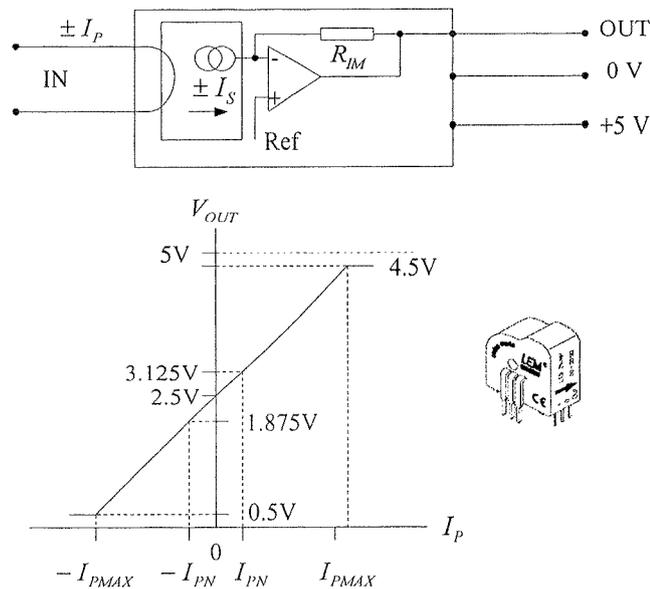
รูปที่ 3.20 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสที่ใช้ในโครงการ

ทั้งนี้วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสจะสร้างด้วยแผงโมดูลวงจรสวิตซ์ขั้วเล็กทรอนิกส์ชนิด IGBT จำนวน 6 ตัว ขนาด 600 โวลต์ 75 แอมแปร์ ของบริษัท POWEREX เบอร์ DIP IPM # PS21A7A

3.3.3 วงจรตรวจวัดสัญญาณ

1. วงจรวัดกระแส

ใช้สำหรับวัดสัญญาณกระแสเฟสของระบบขณะใช้งาน เพื่อป้องกันการเกิดกระแสเกินอย่างกะทันหันที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่วงจร เช่น เซนเซอร์ที่ใช้เป็นแบบ Hall Effect เบอร์ LTS 25-NP ของ LEM วัดกระแสได้สูงสุด 25 A. ซึ่งข้อมูลจาก Data Sheet ที่จำเป็นในการออกแบบวงจร แสดงดังรูปที่ 3.21 และสามารถเลือกกระดပ်ของการวัดกระแสได้โดยใช้ตารางที่ 3.2

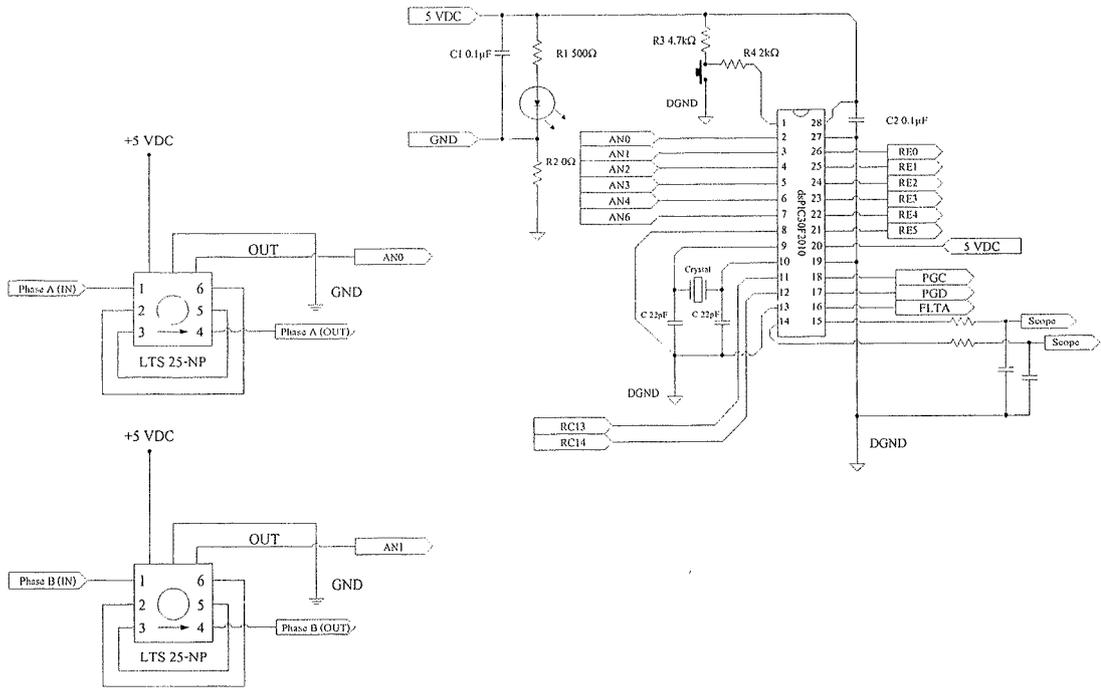


รูปที่ 3.21 วงจรใช้ประกอบการสร้างวงจรการใช้งานเซนเซอร์ LTS 25-NP [20]

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลสำหรับการเลือกใช้เซนเซอร์กระแส LTS 25-NP

Number of primary turn	Primary nominal r.m.s. current	Nominal output voltage	Primary resistance	Primary Insertion inductance	Recommended connection
1	± 25	2.5 ± 0.600	0.18	0.013	
2	± 12	2.5 ± 0.600	0.81	0.05	
3	± 8	2.5 ± 0.600	1.62	0.12	

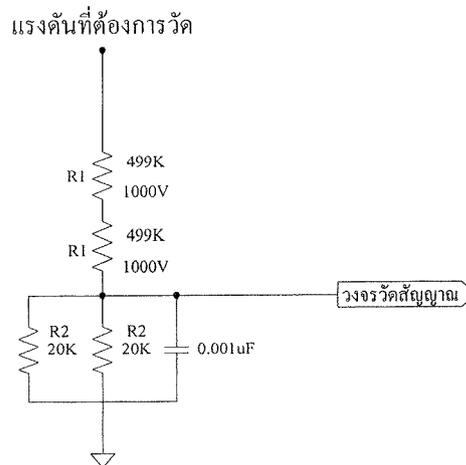
วงจรการใช้งานระหว่าง LTS 25-NP ร่วมกับ dsPIC30F2010 นั้นแสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 วงจรการใช้งาน LTS 25-NP ร่วมกับ dsPIC30F2010

2. วงจรการวัดแรงดัน

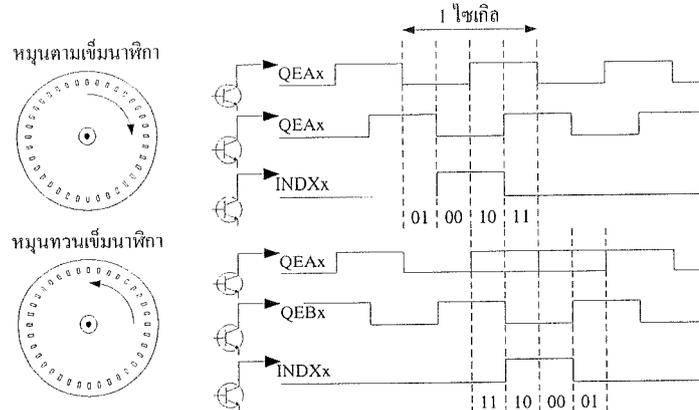
วงจรการวัดแรงดันนั้นใช้สำหรับวัดแรงดันเกินขณะที่มอเตอร์เกิดการเบรก เนื่องจากเมื่อเกิดการเบรกของมอเตอร์นั้นจะมีแรงดันกระแสดตรงในบัสสูงขึ้น จะส่งผลให้วงจรกรองกระแสเกิดความเสียหายได้ วงจรการวัดแรงดันที่สร้างขึ้นใช้หลักการแบ่งแรงดัน แสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 วงจรสำหรับวัดสัญญาณแรงดัน

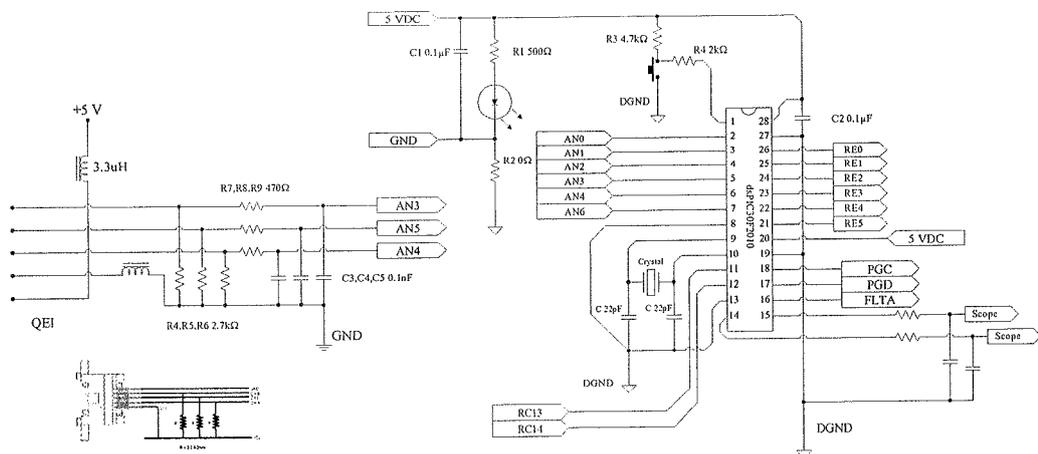
3. วงจรเซนเซอร์วัดความเร็ว

การระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าในโครงการ จำเป็นต้องวัดค่าความเร็ว เพื่อใช้เป็นตัวอ้างอิงในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ โมดูล QEI (Quadrature Encoder Interface) เป็นโมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบ Quadrature ซึ่งจะให้ผลของสัญญาณ 2 เฟสคือ เฟส A และ B โดยทั้ง 2 สัญญาณจะมีเฟสต่างกัน 90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 สัญญาณที่ได้จากโมดูล Quadrature Encoder Interface

โมดูล QEI ในชิพตระกูล dsPIC30F ได้รับการออกแบบมาให้สามารถเชื่อมต่อกับตัวเข้ารหัสแบบ Incremental โดยภายในโมดูลจะประกอบด้วยตัวถอดรหัส Quadrature เพื่อตีความของสัญญาณเฟส A, B และทิศทางของตัวนับขึ้น-ลง เพื่อใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งและความเร็วในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ นอกจากนี้ยังมีวงจรกรองสัญญาณดิจิทัลเพื่อขจัดสัญญาณรบกวนที่อาจปะปนเข้ามาทางอินพุต วงจรการใช้งาน Encoder ร่วมกับ dsPIC30F2010 แสดงดังรูปที่ 3.25



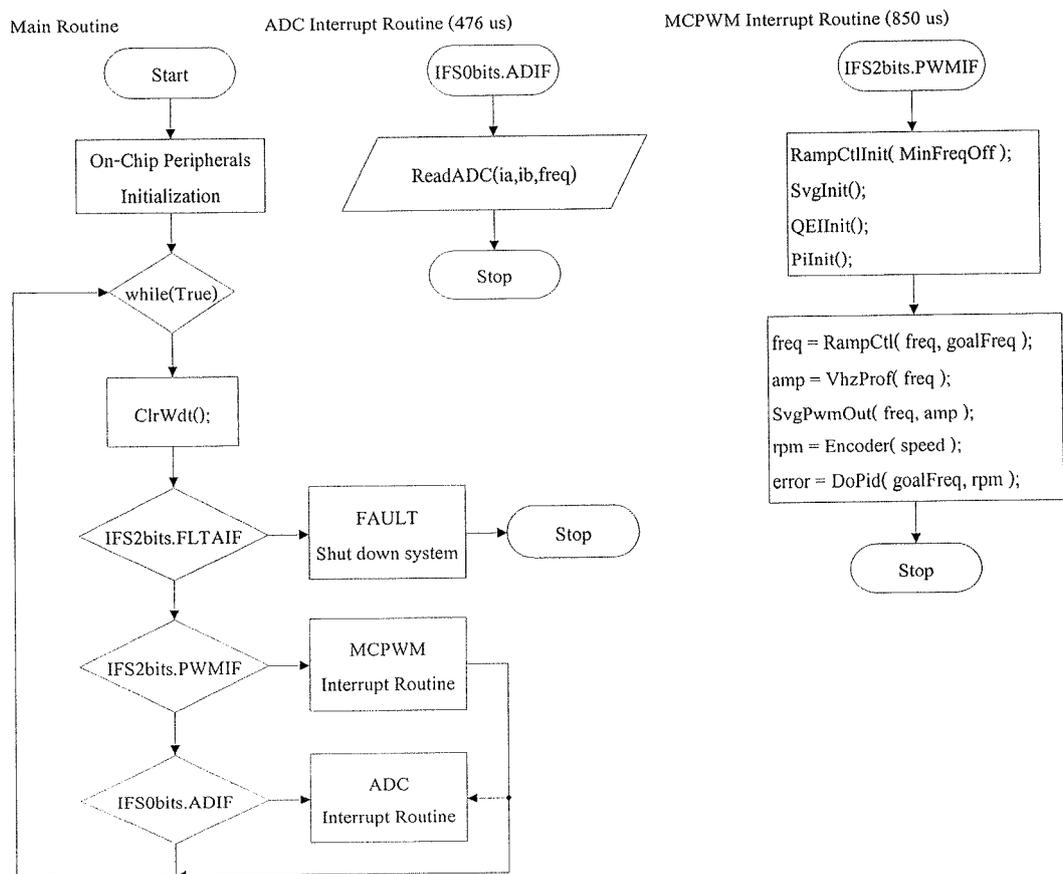
รูปที่ 3.25 การเชื่อมต่อ Encoder เบอร์ AEDB-9140-A13 กับ dsPIC30F2010 [21], [22]

3.4 การออกแบบโปรแกรมควบคุมระบบ

โปรแกรมควบคุมการทำงาน เขียนด้วยภาษาซี โดยใช้โปรแกรม MPLAB IDE เป็น Editor และใช้ MPLAB C30 เป็นตัว Compiler โดยทำการแบ่งไฟล์โปรแกรมออกดังนี้

- ไฟล์โปรแกรมหลัก (Main.c)
- ไฟล์โปรแกรมอ่านค่าจากโมดูลแปลงสัญญาณ ADC (read_adc.s)
- ไฟล์โปรแกรม Ramp Control (ramp_ctl.s)
- ไฟล์โปรแกรมกำเนิดสัญญาณ SVPWM (svg_pwm.s)
- ไฟล์โปรแกรม V/F Control (vhz_prof.s)
- ไฟล์โปรแกรมระบบควบคุมแบบพีไอ (pi.s)

โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม แสดงดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมควบคุมระบบ