หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

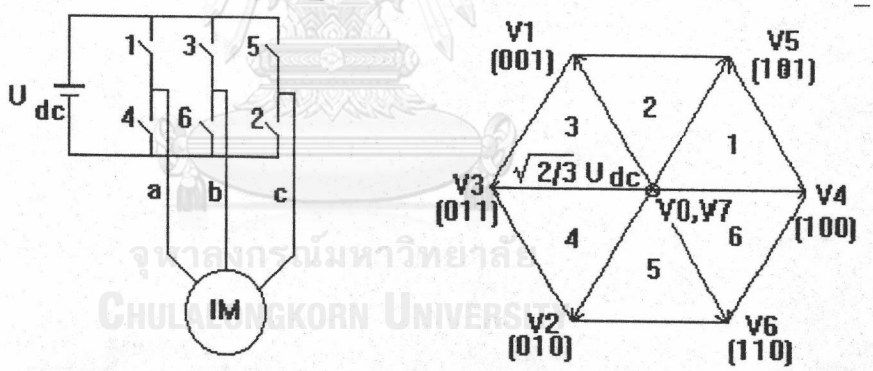
บทที่ 3

อินเวอร์เตอร์แบบเวกเตอร์แรงดัน

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการมอดูเลตความกว้างพัลส์ของ(PWM) โดยอาศัยสเปซเวกเตอร์ของแรงดัน (Voltage space vector) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของอินเวอร์เตอร์ ที่ทำให้เราสามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณ PWM นี้ได้โดยตรง

อินเวอร์เตอร์แบบสเปซเวกเตอร์ของแรงดัน

จากในบทที่ 2 จะเห็นว่าอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการควบคุมแบบเวกเตอร์ จะเป็นแบบควบคุมแรงดัน (Voltage Control) ซึ่งเป็นการง่ายที่จะทำโดยใช้หลักการของเวกเตอร์แรงดัน ซึ่งจะได้อธิบายดังต่อไปนี้



(ก) (ข)

รูปที่ 3.1 (ก) แบบจำลองชุดอินเวอร์เตอร์ (ข) เวกเตอร์แรงดันของชุดอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 3.1(ก) เป็นชุดอินเวอร์เตอร์ที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง Udc และสวิตช์กำลัง 6 ตัว ซึ่งสามารถจะสร้างเวกเตอร์แรงดันได้ 8 แบบ กล่าวคือเวกเตอร์ศูนย์ V0,V7 และเวกเตอร์ V1-V6 ซึ่งมีขนาด $\sqrt{2/3}\cdot U_{dc}$ ดังแสดงในรูปที่ 3.1(ข) โดยที่ตัวเลขในวงเล็บแสดงถึงลักษณะการปิดเปิดวงจรของสวิตช์ในเฟส a,b และ c ตามลำดับ "0"หมายถึงสวิตช์ตัวบนเปิดวงจร "1"หมายถึงสวิตช์ตัวบนปิดวงจร ยกตัวอย่างเช่น ในกรณี V4[100] จะเป็นกรณีที่สวิตช์หมายเลข 1, 6 และ 2 ปิดวงจร จะได้แรงดันระหว่างสายดังต่อไปนี้

$$
\begin{aligned}
v_{ab} &= v_a - v_b = U_{dc} \\
v_{bc} &= v_b - v_c = 0 \\
v_{ca} &= v_c - v_a = -U_{dc}
\end{aligned}
\qquad (3.1)
$$

และ $v_a + v_b + v_c = 0$

โดยที่ v_a, v_b, v_c เป็นแรงดันเฟสเทียบกับจุดสะเทิน (neutral) ในมอเตอร์ เพราะฉะนั้นเราจะได้ว่าแรงดันเฟส

$$v_a = \frac{2}{3}U_{dc}, \quad v_b = -\frac{1}{3}U_{dc}, \quad v_c = -\frac{1}{3}U_{dc} \qquad (3.2)$$

ซึ่งสามารถแปลงเป็นเวกเตอร์แรงดันได้ดังนี้

$$\vec{v} = v_d + jv_q = \sqrt{\frac{2}{3}}\left(v_a + v_b e^{j\gamma} + v_c e^{j2\gamma}\right) \qquad (3.3)$$

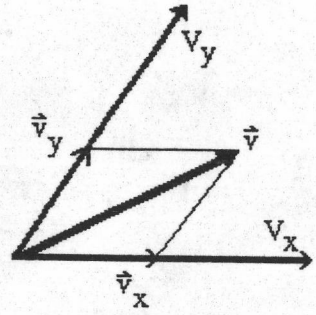
แทนค่า (3.2) ลงใน (3.3) จะได้

$$
\begin{aligned}
v_d &= \sqrt{\frac{2}{3}}U_{dc}, \quad v_q = 0 \\
|\vec{v}| &= \sqrt{v_d^2 + v_q^2} = \sqrt{\frac{2}{3}}U_{dc}
\end{aligned}
$$

เนื่องจากเวกเตอร์แรงดันที่เราสามารถสร้างได้มีเพียง 8 แบบ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เราจึงไม่สามารถที่จะสร้างเวกเตอร์แรงดันตามต้องการได้โดยตรง แต่เราจะใช้วิธีการสร้างเวกเตอร์แรงดันที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับแรงดันที่ต้องการแทน โดยอาศัยเวกเตอร์ศูนย์ และเวกเตอร์แรงดัน 2 เวกเตอร์ที่อยู่ข้างเคียงกัน เช่น V4 และ V5 เป็นต้น

<u>หลักการทำ PWM แบบเวกเตอร์แรงดัน</u>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของเวกเตอร์แรงดัน

ในที่นี้เรากำหนดให้เวลาที่ใช้ในการสวิตช์ทั้งหมดเท่ากับ T_s, t_x เท่ากับเวลาในการต่อวงจรของสวิตช์ตามเวกเตอร์ V_x และ t_y เท่ากับเวลาในการต่อวงจรของสวิตช์ตามเวกเตอร์ V_y ที่

อยู่ข้างเคียงกัน โดยที่ช่วงเวลาที่เหลือจะเป็นของเวกเตอร์ศูนย์ ดังนั้นเราจะได้ค่าเฉลี่ยของเวกเตอร์แรงดัน $\vec{v}$ ในช่วงเวลา T_s เป็น

$$\begin{aligned} \vec{v} \cdot T_S &= V_x \cdot t_x + V_y \cdot t_y + V_0 \cdot \frac{t_0}{2} + V_7 \cdot \frac{t_0}{2} \\ T_S &= t_x + t_y + t_0 \\ \vec{v} &= \left(\frac{t_x}{T_S}\right) V_x + \left(\frac{t_y}{T_S}\right) V_y \end{aligned} \tag{3.5}$$

ในทางกลับกันถ้าเรากำหนดเวกเตอร์แรงดันเฉลี่ยที่ควรได้เป็น $\vec{v}$ เราก็สามารถคำนวณค่า t_x ,t_y และ t_0 ได้จากความสัมพันธ์ข้างต้น โดยการแตกเวกเตอร์แรงดันที่ต้องการลงในแนวของเวกเตอร์ที่ใช้ในการสวิตช์เป็น $\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y$ โดยที่ $\vec{v}_x$ เป็นเวกเตอร์องค์ประกอบในแนว V_x และ $\vec{v}_y$ เป็นเวกเตอร์องค์ประกอบในแนว V_y เราจะได้ว่า

$$\begin{aligned} t_x &= \frac{|\vec{v}_x|}{V_x} \cdot T_S \\ t_y &= \frac{|\vec{v}_y|}{V_y} \cdot T_S \\ t_0 &= T_S - t_x - t_y \end{aligned} \tag{3.6}$$

ดังนั้นเมื่อทราบว่าแรงดันเวกเตอร์เฉลี่ย ($\vec{v}$) อยู่ที่เซกเตอร์ใด เช่นในรูปที่ 3.1 เราสามารถคำนวณขนาดของเวกเตอร์ประกอบทั้งสองในกรณีต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

เซกเตอร์ที่ 1

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y = x + jy = \left(|v_4| + \frac{1}{2}|v_5|\right) + j\frac{\sqrt{3}}{2}|v_5|$$

$$|v_4| = x - \frac{y}{\sqrt{3}} \quad ; \quad |v_5| = \frac{2y}{\sqrt{3}}$$

เซกเตอร์ที่ 2

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y = x + jy = \left(\frac{1}{2}|v_5| - \frac{1}{2}|v_1|\right) + j\frac{\sqrt{3}}{2}|(v_5 + v_1)|$$

$$|v_5| = x + \frac{y}{\sqrt{3}} \quad ; \quad |v_1| = -x + \frac{y}{\sqrt{3}}$$

เซกเตอร์ที่ 3

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y = x + jy = \left(-\frac{1}{2}|v_1| - |v_3|\right) + j\frac{\sqrt{3}}{2}|v_1|$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$|v_3| = -x - \frac{y}{\sqrt{3}} \quad ; \quad |v_1| = \frac{2y}{\sqrt{3}}$$

เซกเตอร์ที่ 4

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y = x + jy = \left(-|v_3| - \frac{1}{2}|v_2|\right) - j\frac{\sqrt{3}}{2}|v_2|$$

$$|v_3| = -x + \frac{y}{\sqrt{3}} \quad ; \quad |v_2| = -\frac{2y}{\sqrt{3}}$$

เซกเตอร์ที่ 5

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y = x + jy = \left(\frac{1}{2}|v_6| - \frac{1}{2}|v_2|\right) - j\frac{\sqrt{3}}{2}\left(|v_6| + |v_2|\right)$$

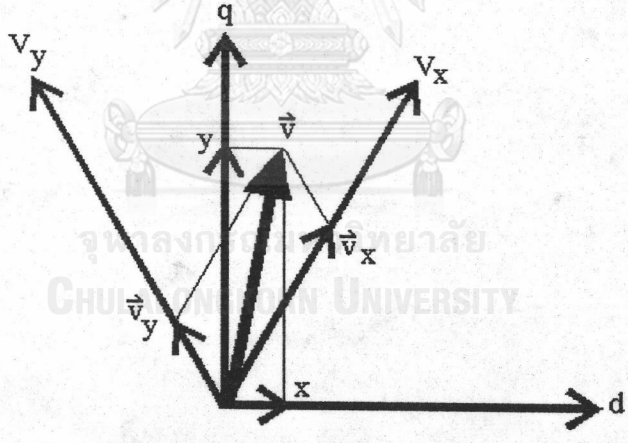
$$|v_6| = x - \frac{y}{\sqrt{3}} \quad ; \quad |v_2| = -x - \frac{y}{\sqrt{3}}$$

เซกเตอร์ที่ 6

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y = x + jy = \left(|v_4| + \frac{1}{2}|v_6|\right) - j\frac{\sqrt{3}}{2}|v_6|$$

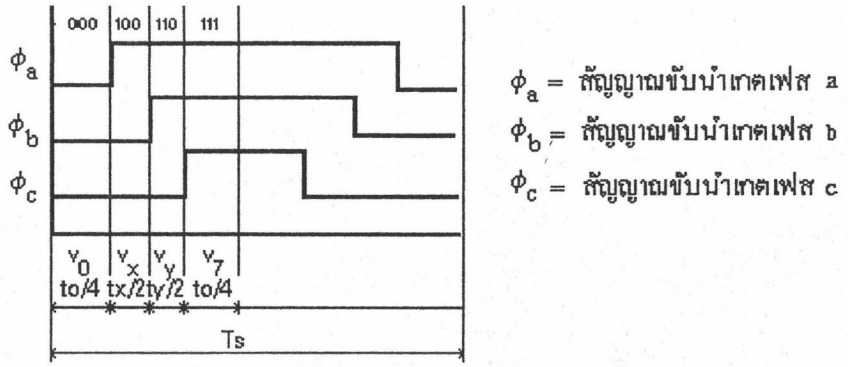
$$|v_4| = x + \frac{y}{\sqrt{3}} \quad ; \quad |v_6| = -\frac{2y}{\sqrt{3}}$$

โดยที่ x และ y เป็นขนาดขององค์ประกอบเวกเตอร์แรงดันในแกน d-q ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เวกเตอร์แรงดันบนแกนอ้างอิงสเตเตอร์ (d-q)

ถึงแม้ว่าเราจะคำนวณช่วงเวลา t_x ,t_y และ t_0 ของเวกเตอร์แรงดันได้แล้วก็ตาม เรายังสามารถกำหนดรูปแบบในการสวิตช์ได้อย่างอิสระ แต่ในวิทยานิพนธ์นี้เราจะกำหนดรูปแบบการสวิตช์ตามรูปที่ 3.4 อันจะทำให้เกิดการมอดูเลต แบบขอบคู่ (double edge) ซึ่งมีลักษณะสมมาตรและมีคุณสมบัติในด้านการกระจายฮาร์มอนิกที่ดี (H. Broeck, 1988)



รูปที่ 3.4 แผนผังเวลารูปแบบการสวิตช์

<u>หลักการเลือกเซกเตอร์</u>

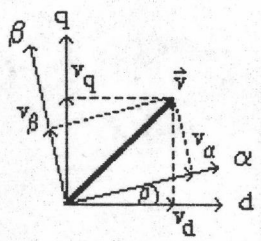
เมื่อทราบแรงดันเวกเตอร์จากการคำนวณของการควบคุมแบบแยกการควบคุมให้มีอิสระต่อกัน ซึ่งเป็นค่าที่วัดเทียบกับแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์ เราสามารถที่จะหาว่าเวกเตอร์นั้นอยู่ที่มุมเท่าไรเทียบกับแกนอ้างอิงสเตเตอร์ ทำให้ทราบว่าจะเลือกใช้เวกเตอร์คู่ใดในเวกเตอร์ทั้ง 6

กล่าวคือ สมมติให้แรงดันเวกเตอร์เฉลี่ยที่เราต้องการสร้างคือ $\bar{v} = v_\alpha + jv_\beta$ ซึ่งเทียบกับแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์จากรูปที่ 3.5 การย้ายแกนมาเป็นแกนอ้างอิงสเตเตอร์กระทำได้ดังต่อไปนี้คือ

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\rho & -\sin\rho \\ \sin\rho & \cos\rho \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \tag{3.4}$$

โดยที่ ρ = มุมระหว่างแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์ ทำกับแกนอ้างอิงสเตเตอร์

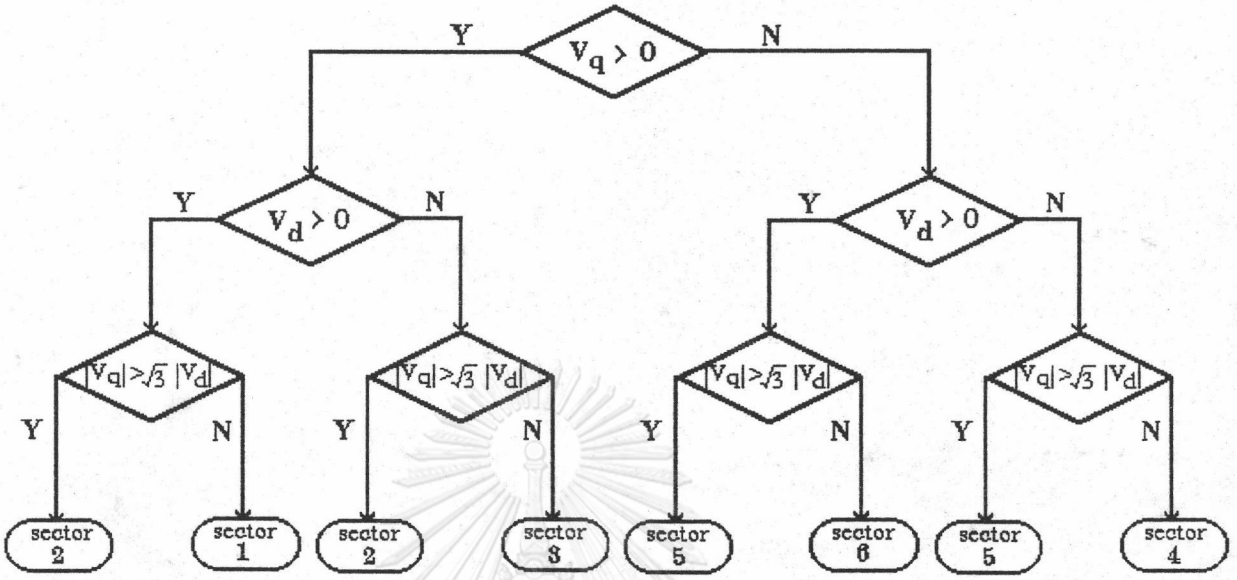
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3.5 เวกเตอร์แรงดันบนแกนอ้างอิง d-q และแกนอ้างอิง α–β

แต่เนื่องจากในการทำการควบคุมให้มีอิสระต่อกัน และการย้ายแกนอ้างอิงมายังแกนสเตเตอร์ ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น เราจะทราบเพียงค่าเวกเตอร์ประกอบของเวกเตอร์แรงดัน (Vd,Vq) เท่านั้น ดังนั้นหากเราต้องการทราบมุมของเวกเตอร์นั้นจะต้องทำการคำนวณ arctan (Vq/Vd) ซึ่งในกรณีที่นำไปเขียนด้วยซอฟต์แวร์ จะยุ่งยากและเกิดความผิดพลาดสูงในช่วงมุมใกล้ 90° ดังนั้น

ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอแนวทางการหาเซกเตอร์ของเวกเตอร์แรงดันโดยไม่ต้องคำนวณค่ามุมของเวกเตอร์แรงดัน ซึ่งมีวิธีการดังแสดงในแผนภาพในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนภาพวิธีการหาเซกเตอร์ของเวกเตอร์แรงดัน

วิธีการสร้างรูปแบบการสวิตช์ดังกล่าวอาศัยการเปรียบเทียบค่าเท่านั้นจึงง่ายและเหมาะสำหรับการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 80C196KB โดยอาศัยตัวจับเวลาภายใน และพอร์ตรับและส่งสัญญาณที่มีความเร็วสูง (High speed Input/output port;HSI,HSO) เมื่อทราบรูปแบบการสวิตช์และเมื่อถึงเวลาในการสวิตช์ของรูปแบบนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่ง HSO ให้ส่งรูปแบบการสวิตช์นั้น เป็นสัญญาณสำหรับการตัด-ต่อสวิตช์ที่ความถี่การสวิตช์เป็นหลัก kHz ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ฮาร์ดแวร์ของอินเวอร์เตอร์แบบเวกเตอร์แรงดัน

ฮาร์ดแวร์ของอินเวอร์เตอร์ประกอบด้วย

1. ภาคควบคุม

ภาคควบคุมจะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบบอร์ดเดียวแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.7

2. ภาคกำลัง

ภาคกำลังจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

2.1 ภาคกำลังด้านเข้า ประกอบด้วย

- ชุดแหล่งจ่ายไฟตรง ซึ่งใช้ไดโอดโมดูลแบบบริดจ์ 3 เฟสเป็นชุดเรียงกระแส และมีคาปาซิเตอร์ในการกรองแรงดัน

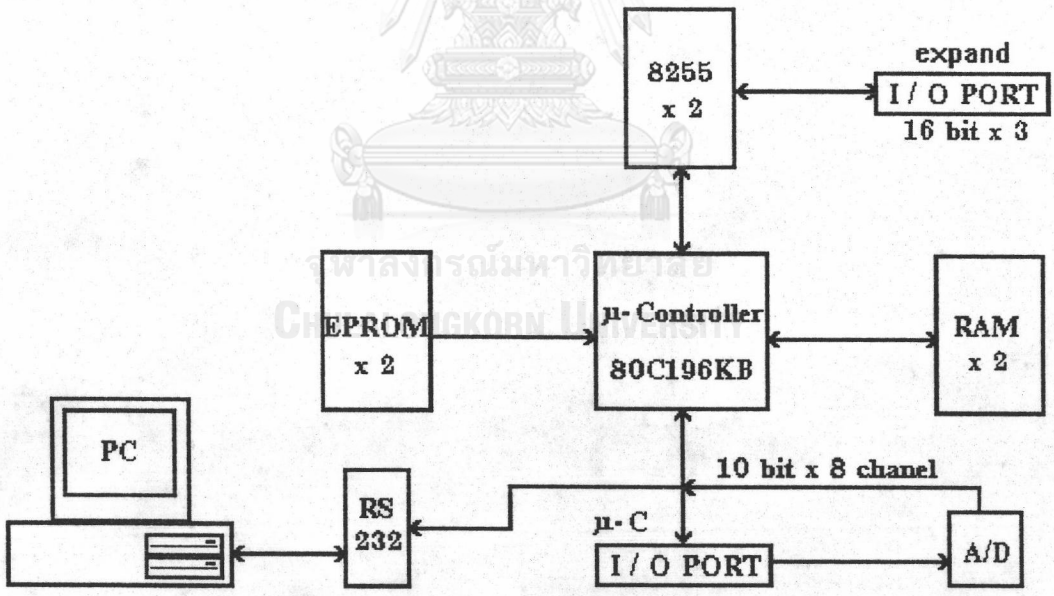
- ชุดแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงชนิดสวิตชิงแบบแกว่งด้วยตัวเอง ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

แรงดันไฟตรงด้านเข้า 310 V

แรงดันไฟตรงด้านออก 5 ชุด คือ

1. +5,0 V 1 A ,+18,0,-18 V 0.5 A
2. +12,0 V 0.4 A
3. +12,0 V 0.4 A
4. +12,0 V 0.4 A
5. +12,0 V 0.8 A

โดยที่แรงดันชุดที่ 1 จะใช้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และบอร์ดประกอบ และชุดที่ 2-5 จะใช้สำหรับชุดขับนำเกตของ IGBT



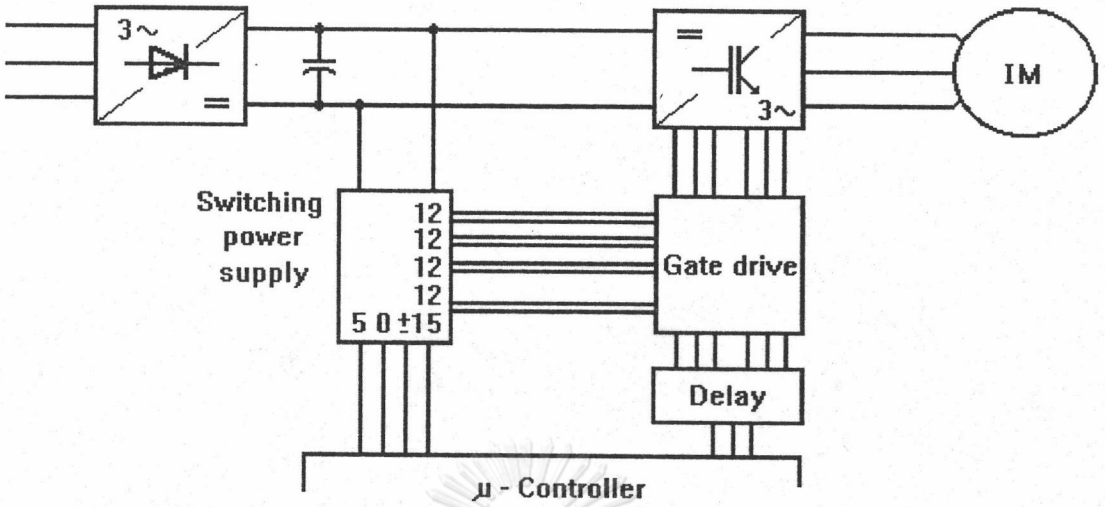
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบบอร์ดเดียว

2.2 ภาคกำลังด้านออก ประกอบด้วย

- ชุดขับนำเกตของ IGBT 6 ชุด ซึ่ง 3 ชุดบนจะใช้แหล่งจ่ายแยกกัน และ 3 ชุดล่างจะใช้แหล่งจ่ายชุดเดียวกัน

- ชุดสวิตช์กำลัง 6 ตัว ใช้ IGBT module แบบ 1 กิ่ง (2 ตัวบน-ล่าง) 3 ตัว

วงจรในภาคกำลังแสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ภาคกำลัง

ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์แบบเวกเตอร์แรงดัน

ซอฟต์แวร์ที่เขียนตามวิธีการสร้างรูปแบบสัญญาณการสวิตช์ด้วยสเปซเวกเตอร์ของแรงดัน สามารถแสดงด้วย PDL (Program Development Language) ได้ดังต่อไปนี้คือ

```
*************************************************************************
                VOLTAGE VECTOR INVERTER (VVINV) PROGRAM
*************************************************************************
```

Module : VVINV

Initialize

Initialize all variables

Initialize and enable HSO interrupt

Loop here forever (wait for interrupt)

Switching frequency Interrupt Service Routine (HSO ISR)

Set HSO

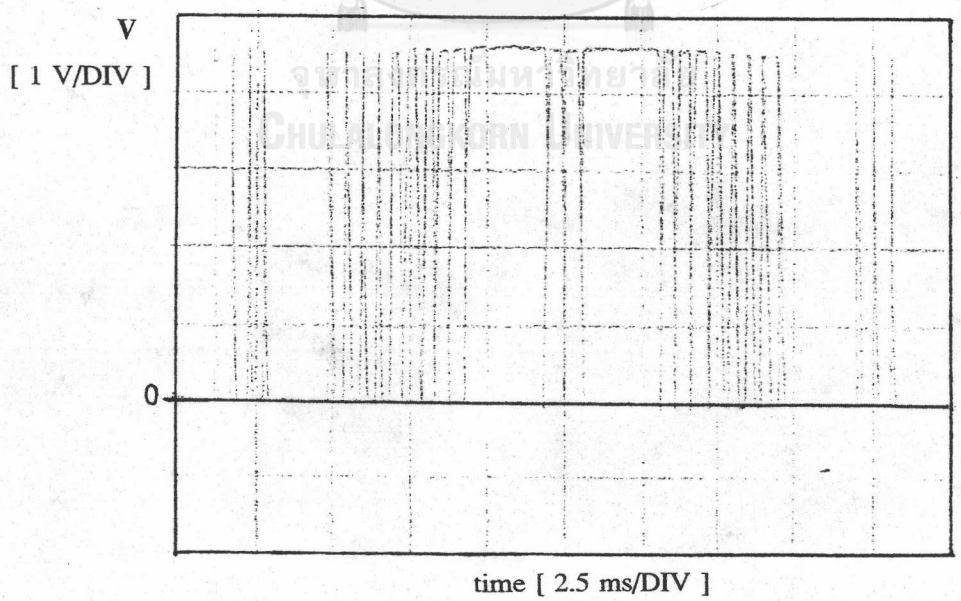
from previous ISR for timing and pattern

Get frequency command (used for testing VVINV)

Input (F_comm)

```
                Calculate voltage vector magnitude   V=kF_comm
                Calculate voltage vector angle (θ)
                Calculate magnitude of Vd,Vq
                        Vd=V*cos θ  ;  Vq= V*sin θ
        Find sector
        Calculate timing of each pattern
        Return
    END   VVINV
*****************************************************************************
```

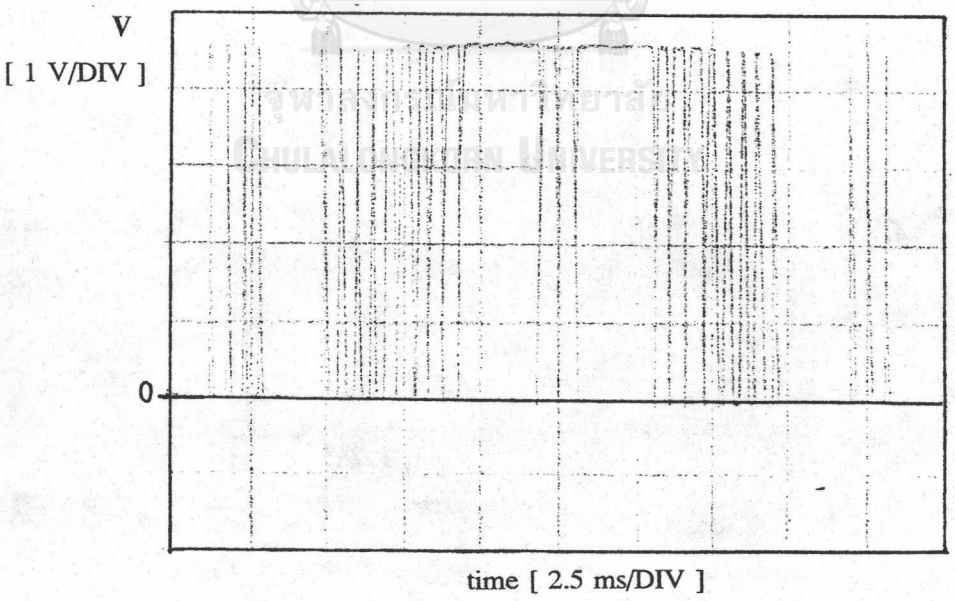
ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์แบบเวกเตอร์แรงดัน โดยที่ความถี่ในการสวิตช์ 2 kHz แสดงได้ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งแสดงให้เห็นสัญญาณขับนำเกต ที่ความถี่ 50 Hz โดยที่รูปที่ 3.10 แสดงถึงแรงดันสายถึงสายของอินเวอร์เตอร์ จะสังเกตได้ว่าแรงดันที่ได้มีความถี่มูลฐานเท่ากับ 50 Hz และความกว้างของพัลซ์จะมีการกระจายตัวลักษณะรูปคลื่นไซน์ และมีลักษณะที่เหมือนกันระหว่างด้านบวกกับด้านลบ ส่วนกระแสที่ได้แสดงได้ดังรูปที่ 3.11 ซึ่งจะเห็นถึงลักษณะความเป็นคลื่นไซน์โดยมีค่ายอดประมาณ 4.2 A ซึ่งเป็นเท่ากับค่ากระแสที่ทำการทดลองโดยการป้อนแรงดันจากการไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (ภาคผนวก)



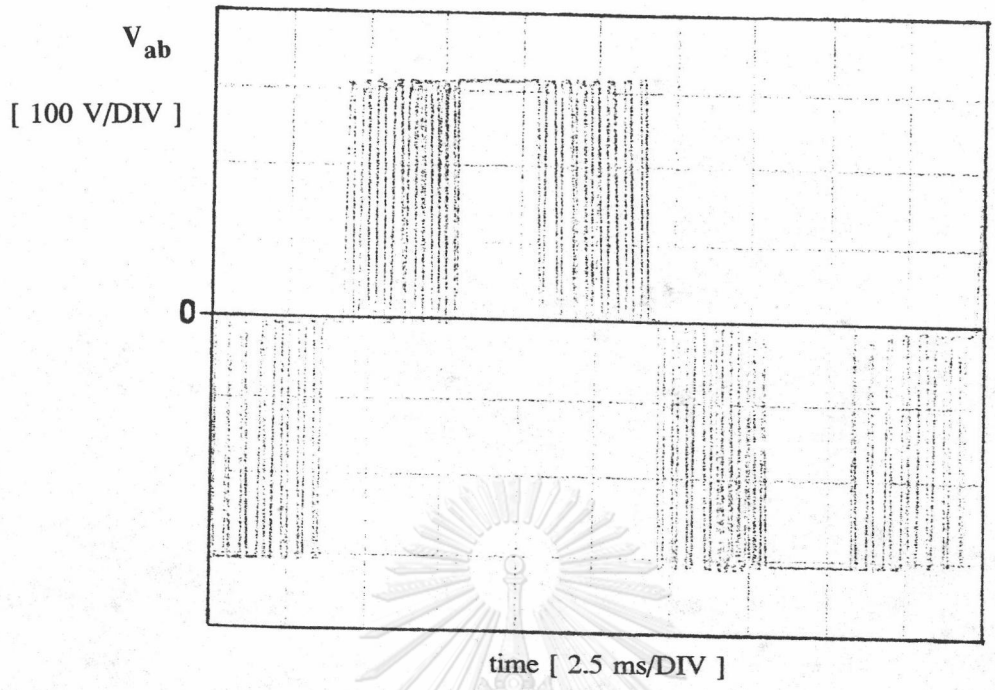
รูปที่ 3.9 สัญญาณ PWM ขับนำเกตที่ความถี่ 50 Hz

```
                Calculate voltage vector magnitude   V=kF_comm
                Calculate voltage vector angle (θ)
                Calculate magnitude of Vd,Vq
                        Vd=V*cos θ  ;   Vq= V*sin θ
            Find sector
            Calculate timing of each pattern
            Return
        END    VVINV
*****************************************************************************
```

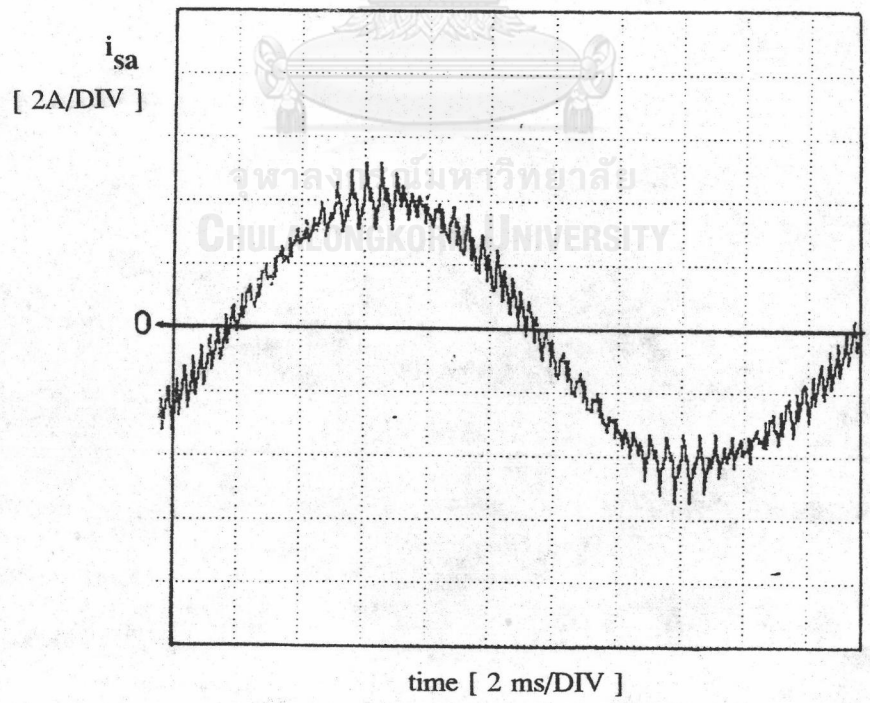
ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์แบบเวกเตอร์แรงดัน โดยที่ความถี่ในการสวิตช์ 2 kHz แสดงได้ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งแสดงให้เห็นสัญญาณขับนำเกต ที่ความถี่ 50 Hz โดยที่รูปที่ 3.10 แสดงถึงแรงดันสายถึงสายของอินเวอร์เตอร์ จะสังเกตได้ว่าแรงดันที่ได้มีความถี่มูลฐานเท่ากับ 50 Hz และความกว้างของพัลซ์จะมีการกระจายตัวลักษณะรูปคลื่นไซน์ และมีลักษณะที่เหมือนกันระหว่างด้านบวกกับด้านลบ ส่วนกระแสที่ได้แสดงได้ดังรูปที่ 3.11 ซึ่งจะเห็นถึงลักษณะความเป็นคลื่นไซน์โดยมีค่ายอดประมาณ 4.2 A ซึ่งเป็นเท่ากับค่ากระแสที่ทำการทดลองโดยการป้อนแรงดันจากการไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (ภาคผนวก)



รูปที่ 3.9 สัญญาณ PWM ขับนำเกตที่ความถี่ 50 Hz



รูปที่ 3.10 แรงดันระหว่างสายของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 50 Hz



รูปที่ 3.11 รูปคลื่นของกระแสที่ความถี่ 50 Hz

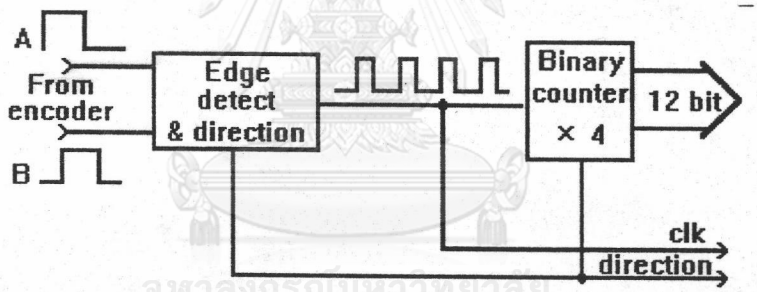
ผลการสร้างสัญญาณ PWM ด้วยหลักการสเปซเวกเตอร์นี้มีข้อดี คือสามารถสร้างสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยทั่วๆไปได้สะดวก อีกทั้งยังเหมาะสำหรับระบบควบคุมแบบเวกเตอร์ ที่เป็นแบบควบคุมแรงดัน ข้อดีที่สำคัญอีกประการหนึ่งของสเปซเวกเตอร์ คือค่าสูงสุดของดัชนีการมอดูเลตชั่นเท่ากับ 1 ในขณะที่การสร้างสัญญาณ PWM โดยทั่วไป (Suboscillation method) จะเท่ากับ 0.78 (J. Holtz, 1994) ดังนั้นแรงดันสูงสุดที่สร้างมาจากวิธีการนี้ จึงมีค่าสูงกว่าโดยไม่ต้องมีการปรับปรุง ส่วนแบบทั่วไปสามารถที่จะทำให้ดัชนีนี้สูงขึ้นได้เช่นกันแต่ต้องมีการปรับปรุง อาทิเช่นจะต้องมีการบวกฮาร์โมนิกที่ 3 เพิ่มเข้าไปในสัญญาณอ้างอิงเป็นต้น

เนื่องจากระบบควบคุมแบบเวกเตอร์ต้องทราบข้อมูลของความเร็วเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณจึงต้องมีฮาร์ดแวร์ประกอบเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

3. <u>ภาคแสดงผลและตรวจจับสัญญาณต่างๆ</u>

ประกอบด้วย

1. ชุดตรวจจับความเร็ว (Speed detector) แสดงดังรูปที่ 3.12

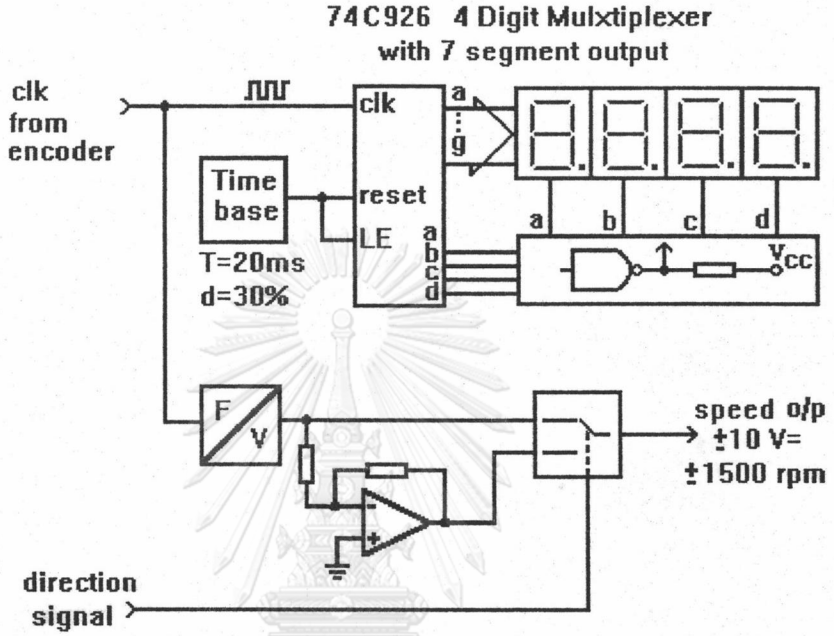


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.12 ชุดตรวจจับความเร็ว

โดยที่ชุดตรวจจับความเร็วจะรับสัญญาณ 2 สัญญาณคือ A และ B ที่มีมุมเฟสต่างกัน 90° มาจากตัวเข้าระหัส (encoder) ขนาด 1024 pulses/rev นำมาผ่านวงจรสร้างขอบเพื่อใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับวงจรนับและวงจรแสดงความเร็ว สัญญาณทั้ง 2 ยังผ่านวงจรตรวจสอบทิศทาง (สัญญาณ A หรือ B ที่นำหน้า) เพื่อนำไปใช้เป็นสัญญาณสำหรับวงจรนับว่าจะต้องนับขึ้นหรือนับลง โดยที่วงจรนับประกอบด้วยตัวนับแบบไบนารีขนาด 4 บิต 4 ตัวจะได้สัญญาณไบนารีขนาด 12 บิต เนื่องจากจำนวนพัลส์ต่อรอบที่ได้ในขั้นสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 4096 พัลส์ต่อ 1 รอบ สัญญาณนับที่ได้นี้จะเป็นสัญญาณบอกตำแหน่งของโรเตอร์แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

2. ชุดแสดงความเร็วแบบตัวเลขดิจิตอลและแอนะล็อก แสดงดังรูปที่ 3.13 ชุดแสดงความเร็วนี้จะรับสัญญาณนาฬิกามาจากชุดตรวจจับความเร็ว และจะนับพร้อมทั้งแสดงผลทาง LED แบบ 7 ส่วน 4 หลัก ภายในช่วงเวลาที่กำหนด ส่วนที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกจะนำสัญญาณนาฬิกานี้ผ่านวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันและใช้แอนะล็อกสวิตช์ในการเลือกเครื่องหมายตามสัญญาณบอกทิศทางที่ได้ข้างต้น

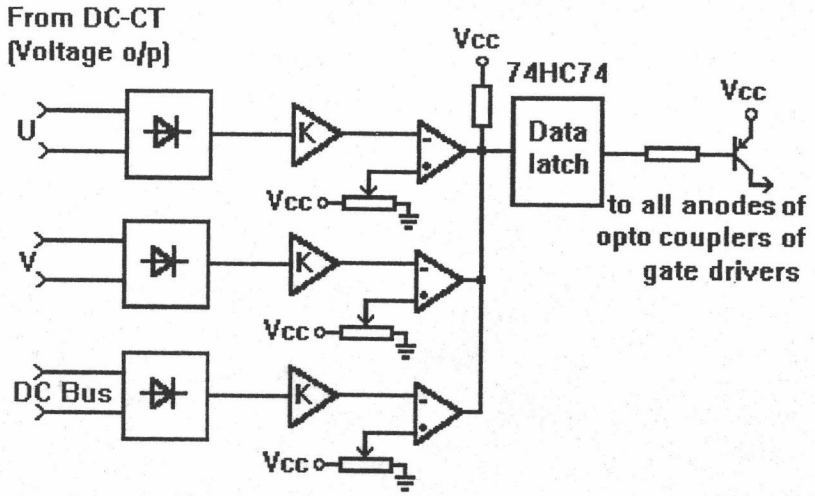


รูปที่ 3.13 ภาคแสดงความเร็วแบบตัวเลขดิจิตอลและแอนะล็อก

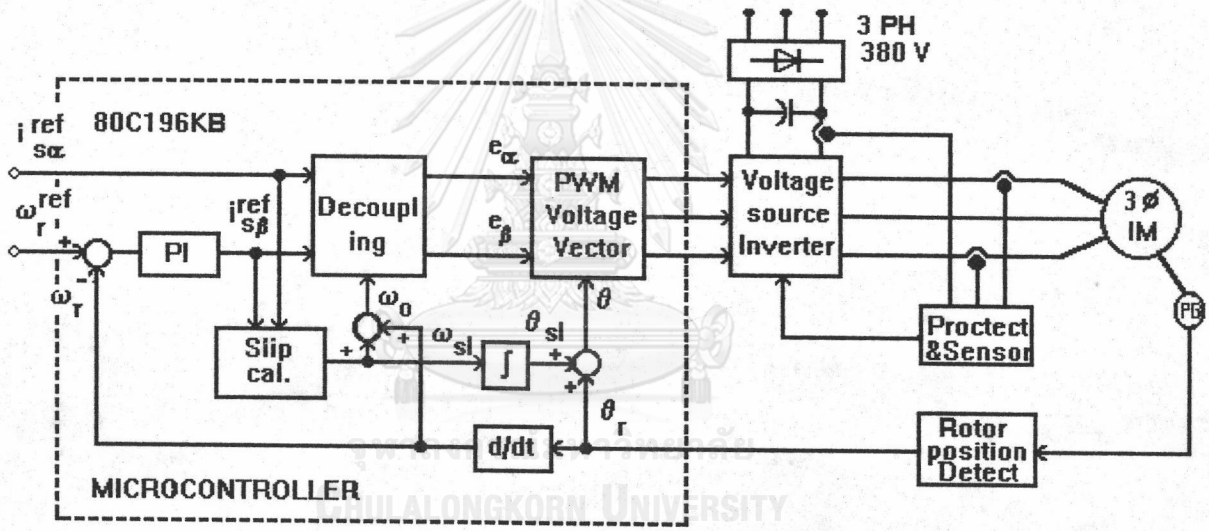
3.ชุดตรวจจับกระแสเพื่อการป้องกันกระแสเกิน แสดงดังรูปที่ 3.14 ชุดตรวจจับกระแสนี้จะทำการวัดกระแสขาออกของอินเวอร์เตอร์ 2 เฟสนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้เพื่อป้องกันกระแสเกินพิกัดที่กำหนดไว้ (1.5 เท่าของค่ากระแสพิกัดของมอเตอร์) อีกทั้งยังวัดกระแสของบัสไฟตรงเพื่อป้องกันกระแสเกินพิกัดของสวิตช์กำลัง

4.ชุดแสดงสถานะการทำงานของเครื่อง (เดินเครื่อง หยุดเดินหรือเกิดสิ่งผิดปกติ)

จากฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของอินเวอร์เตอร์แบบเวกเตอร์แรงดัน และจากส่วนประกอบเพิ่มเติมดังข้างต้น ทำให้เราสามารถเขียนระบบการควบคุมแบบเวกเตอร์ทั้งระบบโดยดังแสดงในบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.15 โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการคำนวณกระแสที่ทำให้เกิดแรงบิด ($i_{s\beta}$) จากผลต่างระหว่างความเร็วคำสั่งกับความเร็วจริง ผ่านระบบควบคุมแบบ PI ที่มีการจำกัดค่ากระแส $i_{s\beta}$ ไม่ให้เกินค่าพิกัด จากกระแส $i_{s\beta}$ ที่ได้ และกระแสที่สร้างฟลักซ์ $i_{s\alpha}$ ที่กำหนด(ค่าคงที่ที่ค่าพิกัด) ผ่านวิธีการแยกการควบคุมให้มีอิสระต่อกัน จะได้แรงดันระบบ



รูปที่ 3.14 ชุดตรวจจับกระแส



รูปที่ 3.15 โครงสร้างของระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์

2 เฟสบนแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์ จากนั้นจึงทำการย้ายแกนจากแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์มายังแกนอ้างอิงสเตเตอร์ เพื่อที่จะนำไปสร้างสัญญาณ PWM ให้แก่อินเวอร์เตอร์ต่อไป ซอฟต์แวร์ทั้งหมดสามารถเขียนได้ดังแสดงใน PDL ต่อไปนี้ และสามารถแสดงไดอะแกรมเวลาได้ดังรูปที่ 3.16 ซอฟต์แวร์โมดูลนี้จะใช้การอินเทอร์รัพต์ทุกๆ 500 ไมโครวินาที และโปรแกรมในการบริการการอินเทอร์รัพต์จะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 250 ไมโครวินาที

```
************************************************************************
        VECTOR CONTROL OF AN INDUCTION MOTOR PROGRAM (VT_CON)
************************************************************************
```

Module : VT_CON

Initialize

Initialize all variables

Initialize and enable HSO interrupt

Loop here forever (wait for interrupt only)

Switching frequency Interrupt Service Routine (HSO ISR)

Set HSO

from previous ISR for timing and pattern

Get speed command

Input (Wc) (from build-in A/D)

Detect rotor speed

Input (rotor Position(angle))

Calculate rotor speed (Wr) from rotor position(angle)

PI controller

Calculate speed error

Calculate PI output ($i_{s\beta}^{ref}$)

Decoupling control

Calculate Vα,Vβ (Eq. 2.36 & 2.37)

Coordinate transform (rotor flux frame to stator frame)

Calculate rotor flux position (angle)

Calculate slip frequency (Eq. 2.19)

Calculate slip angle

Calculate rotor flux position (angle)

Calculate Vd,Vq (Eq. 3.4)

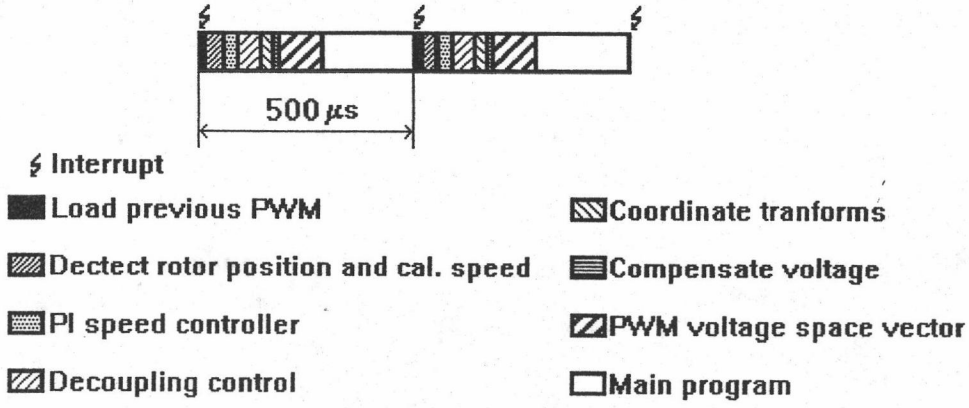
Find sector

Calculate timing of each pattern

Return

END VT_CON

****



รูปที่ 3.16 ไดอะแกรมเวลาของซอฟต์แวร์โมดูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

I 16716140.