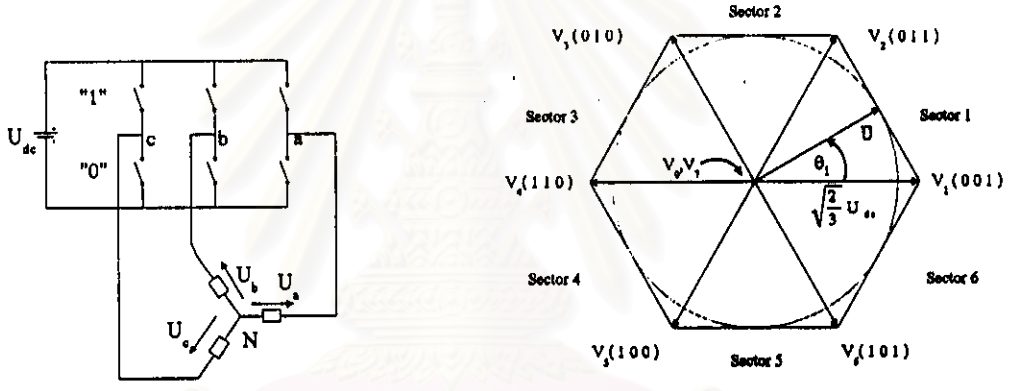
บทที่ 2

หลักการของอินเวอร์เตอร์แบบเวกเตอร์แรงดันที่แปรความถี่การสวิตช์

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการสร้างสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) โดยใช้วิธีสเปซเวกเตอร์ของแรงดัน(voltage space vector) รวมถึงการปรับให้เข้ากับระบบที่มีการแปรความถี่การสวิตช์ และอธิบายถึงหลักการประยุกต์ใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ว่ามีวิธีการอย่างไร

<u>อินเวอร์เตอร์แบบสเปซเวกเตอร์ของแรงดัน</u>

โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันแสดงดังรูปที่ 2.1



(ก) (ข)

รูปที่ 2.1 (ก) แบบจำลองของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน
(ข) เวกเตอร์แรงดันของชุดอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.1(ก) จะเห็นว่า รูปแบบการสวิตช์ของสวิตช์กำลังจะมีอยู่ 2^3 คือ 8 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1(ข) โดยจะมีเวกเตอร์แรงดันที่มีขนาดเป็นศูนย์หรือเวกเตอร์ศูนย์อยู่ 2 ตำแหน่ง คือ สถานะของสวิตช์เป็น (0 0 0) คือ V_0 และ (1 1 1) คือ V_7 อีก 6 เวกเตอร์ที่เหลือสามารถคำนวณขนาดได้ดังนี้

สมการของแรงดันระหว่างสายเป็นดังนี้

$$U_{ab} = U_a - U_b \tag{2.1}$$

$$U_{bc} = U_b - U_c \tag{2.2}$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$U_{ca} = U_c - U_a \tag{2.3}$$

และ $$U_a + U_b + U_c = 0 \tag{2.4}$$

โดยที่ U_a, U_b และ U_c เป็นแรงดันเฟสเมื่อเทียบกับจุดสะเทิน (neutral) ของมอเตอร์

สมมุติว่าเรากำหนดสถานะของสวิตช์เป็น (1 0 1) นั่นคือ สวิตช์ของเฟส a และ c ต่อกับขั้วบวกของ U_{dc} และสวิตช์ของเฟส b ต่ออยู่กับขั้วลบของ U_{dc} จะได้ว่า

$U_a=U_{dc}/3$, $U_b=-2*U_{dc}/3$ และ $U_c=U_{dc}/3$

จากนั้นเราสามารถแปลงแกนจาก 3 เฟสไปเป็น 2 เฟส ได้โดยใช้เมตริกซ์ดังต่อไปนี้ (สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์, 2538)

$$\begin{bmatrix} U_d \\ U_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & (-1/2) & (-1/2) \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} \tag{2.5}$$

โดยที่แกน d และแกน q เป็นแกนที่ตั้งฉากกัน

เมื่อแทนค่า U_a, U_b และ U_c ลงไปจะได้ $U_d = \sqrt{\frac{1}{6}}\, U_{dc}$ และ $U_q = -\sqrt{\frac{1}{2}}\, U_{dc}$ ดังนั้นขนาดของเวกเตอร์แรงดันที่ได้ก็คือ $V_6 = \sqrt{U_d^{\,2} + U_q^{\,2}} = \sqrt{\frac{2}{3}}\, U_{dc}$ โดยที่สถานะอื่น ๆ ของสวิตช์ในอีก 5 เวกเตอร์ที่เหลือ(คือ V_1 ถึง V_5)ก็จะได้แรงดันที่มีขนาดเท่ากันดังแสดงในรูปที่ 2.1(ข)

เนื่องจากเวกเตอร์แรงดันที่เราสามารถสร้างได้มี 8 แบบดังรูปที่ 2.1(ข) ดังนั้นการจะสร้างเวกเตอร์แรงดันซึ่งมีขนาดและตำแหน่งที่ต้องการ จะใช้วิธีสร้างเวกเตอร์ $\overline{U}$ ที่มีแรงดันเฉลี่ยเท่ากับแรงดันที่ต้องการแทน โดยใช้เวกเตอร์แรงดัน 2 เวกเตอร์ที่เป็นขอบของเซกเตอร์ที่เราต้องการสร้างเวกเตอร์แรงดัน และใช้เวกเตอร์ศูนย์ด้วยตามสมการ

$$\overline{U}.T_s = \overline{U}_x.t_x + \overline{U}_y.t_y + \overline{U}_0.t_0 \tag{2.6}$$

โดยที่

$$t_0 = T_s - (t_x + t_y) \tag{2.7}$$

เมื่อ

$\overline{U}_x$, $\overline{U}_y$ คือ เวกเตอร์ของแรงดันที่เป็นขอบของเซกเตอร์ที่ต้องการสร้างเวกเตอร์แรงดัน

$\overline{U}_0$ คือ เวกเตอร์ศูนย์(V_0, V_7)

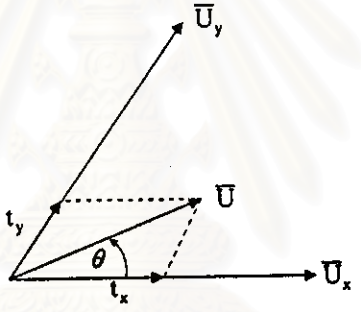
T_s คือ คาบเวลาการสวิตช์

t_x คือ เวลาที่ใช้ในการกำเนิดเวกเตอร์แรงดัน $\overline{U}_x$

t_y คือ เวลาที่ใช้ในการกำเนิดเวกเตอร์แรงดัน $\overline{U}_y$

t_0 คือ เวลาในการกำเนิดเวกเตอร์ศูนย์

โดยรูปของเวกเตอร์แรงดันที่สร้างขึ้นแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของเวกเตอร์แรงดัน

ในกรณีการสร้างเวกเตอร์แรงดันที่ไม่ต้องการให้มีโอเวอร์มอดูเลชัน(over-modulation) ขนาดของเวกเตอร์แรงดันจะเท่ากับรัศมีของวงกลมที่สัมผัสอยู่ในกรอบหกเหลี่ยมของเวกเตอร์แรงดัน(Kenjo, 1988) ดังแสดงในรูป 2.1(ข) ดังนั้น เวกเตอร์แรงดันจะมีขนาดสูงที่สุดเท่ากับ $\frac{\sqrt{3}}{2} * \sqrt{\frac{2}{3}} * U_{dc} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{dc}$ ซึ่ง ณ จุดที่มีขนาดของเวกเตอร์แรงดันสูงสุดนี้เราจะกำหนดให้ค่าดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 1

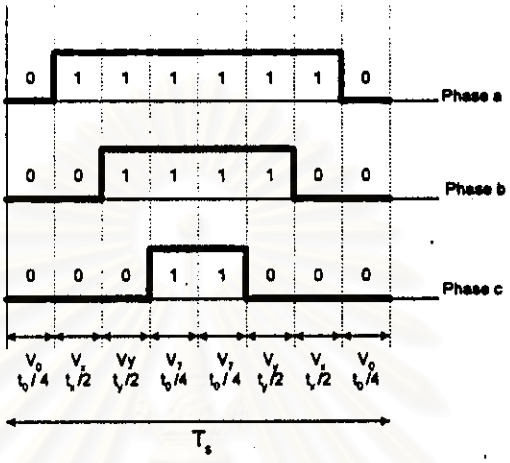
เราพิจารณาให้ดัชนีการมอดูเลตมีค่า $0 \leq M \leq 1$ จะได้สมการของ t_x และ t_y ดังนี้

$$t_x = M.T_s.\sin(60^\circ - \theta) \qquad (2.8)$$

$$t_y = M.T_s.\sin\theta \qquad (2.9)$$

โดยที่ $0 \le \theta \le 60°$ เนื่องจากพิจารณาเพียง 1 เซกเตอร์ก็เพียงพอ

เพื่อให้มีการกระจายฮาร์มอนิกที่ดี จึงได้เลือกวิธีการมอดูเลตแบบขอบคู่ (double edge) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนผังเวลารูปแบบการสวิตช์

เมื่อเราต้องการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เราก็จะใช้วิธีควบคุมเวกเตอร์แรงดันให้หมุนเป็นวงกลมตามความเร็วรอบที่เราต้องการ เนื่องจากเราต้องการควบคุมอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่ให้มีค่าคงที่ (v/f constant) เพื่อให้ฟลักซ์มีค่าคงที่ ดังนั้น ค่าดัชนีการมอดูเลตจะแปรผันตรงกับค่าความถี่ โดยที่ความถี่พิกัดของมอเตอร์จะมีดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 1

ในการคำนวณหาเซกเตอร์ที่จะสร้างเวกเตอร์แรงดันที่ต้องการ เราจะต้องรู้ตำแหน่งของเวกเตอร์แรงดันที่เราต้องการสร้างก็คือมุม θ_1 ในรูปที่ 2.1(ข) โดยมุม θ_1 จะมีค่าตั้งแต่ 0-360° เนื่องจากเราแบ่งเวกเตอร์แรงดันออกเป็น 6 เซกเตอร์ ดังนั้น แต่ละเซกเตอร์จะมีความกว้างเชิงมุมเท่ากับ 60° เราจึงสามารถคำนวณเซกเตอร์ที่จะกำเนิดเวกเตอร์แรงดันและมุม θ ได้ดังนี้

$0° \le \theta_1 \le 60°$	→	sector ที่ 1	→	$0° \le \theta \le 60°$
$60° \le \theta_1 \le 120°$	→	sector ที่ 2	→	$0° \le \theta \le 60°$
$120° \le \theta_1 \le 180°$	→	sector ที่ 3	→	$0° \le \theta \le 60°$
$180° \le \theta_1 \le 240°$	→	sector ที่ 4	→	$0° \le \theta \le 60°$
$240° \le \theta_1 \le 300°$	→	sector ที่ 5	→	$0° \le \theta \le 60°$
$300° \le \theta_1 \le 360°$	→	sector ที่ 6	→	$0° \le \theta \le 60°$

เมื่อเรารู้มุม θ แล้วเราก็สามารถใช้สมการ(2.7)ถึง(2.9)ในการคำนวณความกว้างพัลส์ โดยในแต่ละเซกเตอร์เราสามารถพิจารณาสถานะการสวิตช์เพื่อหาความกว้างพัลส์ที่ต้องสร้างในแต่ละเฟสได้ เช่น ในเซกเตอร์ที่ 2 เราก็ใช้เวกเตอร์แรงดัน V_2 และ V_3 ในการสร้างเวกเตอร์แรงดันที่ต้องการได้ โดยในการประยุกต์ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ค่าความกว้างพัลส์ในแต่ละเฟสที่คำนวณได้จะส่งให้กับหน่วยเปรียบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบกับตัวจับเวลา (timer) ภายใน เพื่อสร้างความกว้างพัลส์ที่ต้องการออกมา ดังนั้น ทุก ๆ คาบการสวิตช์จะต้องทำการคำนวณค่าความกว้างพัลส์ของแต่ละเฟส โดยเราสามารถกำหนดค่าดังกล่าวได้โดยใช้ตารางสถานะการสวิตช์เพื่อช่วยในการคำนวณค่าความกว้างพัลส์ที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 2.1 .

Sector 1								
voltage vector	V_0	V_1	V_2	V_7	V_7	V_2	V_1	V_0
time duration	$t_0/4$	$t_x/2$	$t_y/2$	$t_0/4$	$t_0/4$	$t_y/2$	$t_x/2$	$t_0/4$
Phase c	0	0	0	1	1	0	0	0
Phase b	0	0	1	1	1	1	0	0
Phase a	0	1	1	1	1	1	1	0
Sector 2								
voltage vector	V_7	V_2	V_3	V_0	V_0	V_3	V_2	V_7
time duration	$t_0/4$	$t_x/2$	$t_y/2$	$t_0/4$	$t_0/4$	$t_y/2$	$t_x/2$	$t_0/4$
Phase c	1	0	0	0	0	0	0	1
Phase b	1	1	1	0	0	1	1	1
Phase a	1	1	0	0	0	0	1	1
Sector 3								
voltage vector	V_0	V_3	V_4	V_7	V_7	V_4	V_3	V_0
time duration	$t_0/4$	$t_x/2$	$t_y/2$	$t_0/4$	$t_0/4$	$t_y/2$	$t_x/2$	$t_0/4$
Phase c	0	0	1	1	1	1	0	0
Phase b	0	1	1	1	1	1	1	0
Phase a	0	0	0	1	1	0	0	0

ตารางที่ 2.1 สถานะการสวิตช์ในกำเนิดสัญญาณเวกเตอร์แรงดัน

Sector 4								
voltage vector	V_7	V_4	V_5	V_0	V_0	V_5	V_4	V_7
time duration	$t_0/4$	$t_x/2$	$t_y/2$	$t_0/4$	$t_0/4$	$t_y/2$	$t_x/2$	$t_0/4$
Phase c	1	1	1	0	0	1	1	1
Phase b	1	1	0	0	0	0	1	1
Phase a	1	0	0	0	0	0	0	1
Sector 5								
voltage vector	V_0	V_5	V_6	V_7	V_7	V_6	V_5	V_0
time duration	$t_0/4$	$t_x/2$	$t_y/2$	$t_0/4$	$t_0/4$	$t_y/2$	$t_x/2$	$t_0/4$
Phase c	0	1	1	1	1	1	1	0
Phase b	0	0	0	1	1	0	0	0
Phase a	0	0	1	1	1	1	0	0
Sector 6								
voltage vector	V_7	V_6	V_1	V_0	V_0	V_1	V_6	V_7
time duration	$t_0/4$	$t_x/2$	$t_y/2$	$t_0/4$	$t_0/4$	$t_y/2$	$t_x/2$	$t_0/4$
Phase c	1	1	0	0	0	0	1	1
Phase b	1	0	0	0	0	0	0	1
Phase a	1	1	1	0	0	1	1	1

ตารางที่ 2.1(ต่อ) สถานะการสวิตช์ในกำเนิดสัญญาณเวกเตอร์แรงดัน

จากตารางที่ 2.1 ทำให้เราสามารถรู้ถึงความกว้างพัลส์ของแต่ละเฟสที่เราจะต้องสร้างขึ้นในเซกเตอร์ต่าง ๆ ได้ โดยสามารถสรุปออกมาได้ดังตารางที่ 2.2

	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6
Phase c	$\frac{t_0}{2}$	$\overline{\frac{t_0}{2}+t_x+t_y}$	$\frac{t_0}{2}+t_y$	$\overline{\frac{t_0}{2}}$	$\frac{t_0}{2}+t_x+t_y$	$\overline{\frac{t_0}{2}+t_y}$
Phase b	$\frac{t_0}{2}+t_y$	$\overline{\frac{t_0}{2}}$	$\frac{t_0}{2}+t_x+t_y$	$\overline{\frac{t_0}{2}+t_y}$	$\frac{t_0}{2}$	$\overline{\frac{t_0}{2}+t_x+t_y}$
Phase a	$\frac{t_0}{2}+t_x+t_y$	$\overline{\frac{t_0}{2}+t_y}$	$\frac{t_0}{2}$	$\overline{\frac{t_0}{2}+t_x+t_y}$	$\frac{t_0}{2}+t_y$	$\overline{\frac{t_0}{2}}$

ตารางที่ 2.2 ความกว้างพัลส์ที่จะต้องสร้างของแต่ละเฟสในแต่ละเซกเตอร์

โดยที่

$$\overline{\frac{t_0}{2}} = T_s - \frac{t_0}{2} \qquad (2.10)$$

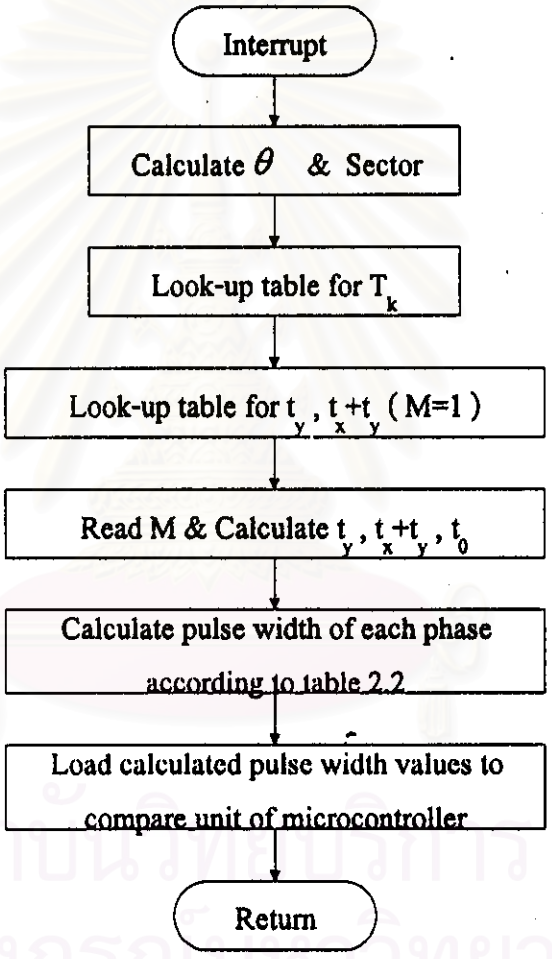
$$\overline{\frac{t_0}{2}+t_y} = T_s - \left(\frac{t_0}{2}+t_y\right) \qquad (2.11)$$

และ $$\overline{\frac{t_0}{2}+t_y+t_x} = T_s - \left(\frac{t_0}{2}+t_y+t_x\right) \qquad (2.12)$$

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นว่าในทุก ๆ เซกเตอร์จะมีการคำนวณความกว้างพัลส์ที่คล้าย ๆ กัน แต่จะสลับเฟสกันเท่านั้นเอง ดังนั้น เราสามารถคำนวณค่า t_y และ $t_x + t_y$ สำหรับดัชนีการมอดูเลต เท่ากับ 1 เก็บไว้ในตารางสำหรับ 1 เซกเตอร์ก็เพียงพอ โดยในส่วนของซอฟต์แวร์จะทำหน้าที่พิจารณาว่าเวกเตอร์แรงดันที่สร้างขึ้นจะอยู่ ณ เซกเตอร์ใด จากนั้น ก็จะคำนวณความกว้างพัลส์ที่เหมาะสมกับแต่ละเฟสออกมา การใช้วิธีการเปิดตารางนี้มีข้อดีในแง่ของความเร็วในการคำนวณ เพราะได้คำนวณค่าไว้ล่วงหน้าแล้ว อีกทั้งสมการ (2.8) และ (2.9) จะเห็นว่าอยู่ในรูปของฟังก์ชันไซน์ ซึ่งยากที่จะเขียนโปรแกรมคำนวณแบบเวลาจริง และถึงแม้จะสามารถเขียนได้ก็จะใช้เวลาในการคำนวณที่นานจึงไม่เหมาะจะใช้กับระบบที่ต้องมีการคำนวณทุก ๆ คาบการสวิตช์

จากสมการ (2.8) และ (2.9) จะเห็นว่ามีตัวแปรอีก 2 ตัวที่เราจะต้องใช้ในการคำนวณ คือ M และ T_s โดยค่า M เปลี่ยนไปตามความถี่คำสั่งที่เราต้องการ เพื่อรักษาอัตราส่วนของแรงดันต่อ

ความถี่ (v/f) ให้คงที่ ส่วนค่า T_s ในระบบที่มีความถี่การสวิตช์คงที่จะมีค่าคงที่ แต่ในระบบที่มีการแปรความถี่การสวิตช์ค่า T_s จะเปลี่ยนไปในแต่ละคาบการสวิตช์ ดังนั้นจึงนิยามคาบการสวิตช์ใหม่จาก T_s เป็น T_k โดยในแต่ละคาบการสวิตช์จะต้องคำนวณค่าความกว้างพัลส์ในแต่ละเฟสดังแสดงได้ตามแผนผังโปรแกรม (flow chart) รูปที่ 2.4 ซึ่งลักษณะการแปรค่าของ T_k จะขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบระบบว่าต้องการแปรความถี่ในลักษณะใดและเพื่อวัตถุประสงค์ใด ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 2.4 แผนผังโปรแกรมแสดงการคำนวณค่าความกว้างพัลส์ในแต่ละคาบการสวิตช์

<u>การแปรความถี่การสวิตช์</u>

ในระบบอินเวอร์เตอร์แบบปกติที่มีความถี่การสวิตช์คงที่นั้น ค่าคาบเวลาการสวิตช์จะคงที่ แต่ในระบบอินเวอร์เตอร์ที่มีการแปรความถี่การสวิตช์นั้น ค่าคาบเวลา T_k จะมีการแปรค่าโดยลักษณะของการแปรความถี่การสวิตช์นั้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบระบบว่าต้องการ

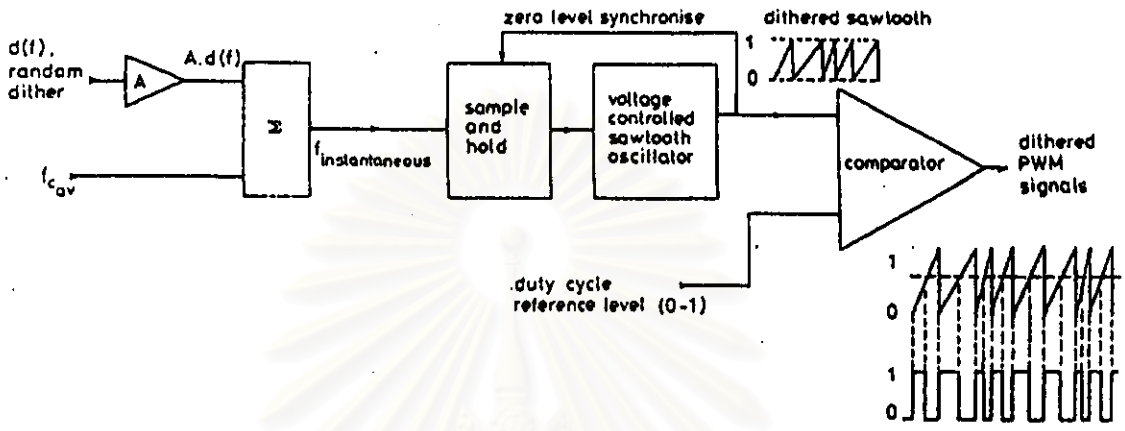
แปรความถี่การสวิตช์เพื่ออะไร ในการแปรความถี่การสวิตช์เพื่อต้องการลดเสียงรบกวนจากตัวมอเตอร์นั้น ในงานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นในการกระจายฮาร์มอนิกของแรงดันที่ป้อนให้แก่มอเตอร์(Boys and Handley, 1992; Habetler and Divan, 1991) โดยมีวิธีการแปรค่าความถี่การสวิตช์อยู่ 2 วิธีใหญ่ๆ คือ

1. ใช้การสุ่มค่า (random) ความถี่การสวิตช์ โดยที่ให้มีค่าความถี่การสวิตช์เฉลี่ยในหนึ่งคาบความถี่หลักมูลมีค่าคงที่
2. ใช้วิธีการสร้างแบบแผนการแปรความถี่ที่แน่นอนใน 1 คาบความถี่หลักมูล (pseudo-random)

ในวิธีที่1. ทุกครั้งที่เริ่มต้นคาบความถี่หลักมูล จะต้องมีการกำเนิดค่าสุ่มของความถี่การสวิตช์ ซึ่งจะต้องทำการคำนวณไว้ล่วงหน้า วิธีการดังกล่าวมีวัตถุประสงค์ที่จะให้มีการกระจายฮาร์มอนิกของแรงดันแบบสุ่ม โดยมุ่งหวังว่าสเปกตรัมของฮาร์มอนิกของแรงดันจะมีการกระจายตัวที่ราบเรียบ แต่วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ เนื่องจากต้องทำการคำนวณค่าแบบสุ่มของความถี่การสวิตช์ไว้ล่วงหน้า ซึ่งจะต้องใช้โปรแกรมที่ยุ่งยากในการประยุกต์ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ อีกทั้งผลที่เกิดขึ้นเป็นผลที่เกิดจากการสุ่ม จึงยากที่จะคาดเดาว่าจะเกิดอะไรขึ้นกับระบบ เนื่องจากเราไม่สามารถควบคุมลักษณะการแปรความถี่การสวิตช์ได้

ส่วนในวิธีที่ 2. จะมีการกำหนดแบบแผนการแปรความถี่การสวิตช์ (pattern) ไว้ล่วงหน้าโดยอาจใช้การเก็บในรูปของตาราง(look up table) โดยการกำหนดแบบแผนของการแปรความถี่การสวิตช์นี้ โดยส่วนใหญ่จะใช้ฟังก์ชันง่าย ๆ ในทางคณิตศาสตร์เข้าทำการทดลองว่าฟังก์ชันใดให้ผลการกระจายของสเปกตรัมของแรงดันได้ดีที่สุด (Pedersen, Blaabjerg and Frederiksen, 1991)

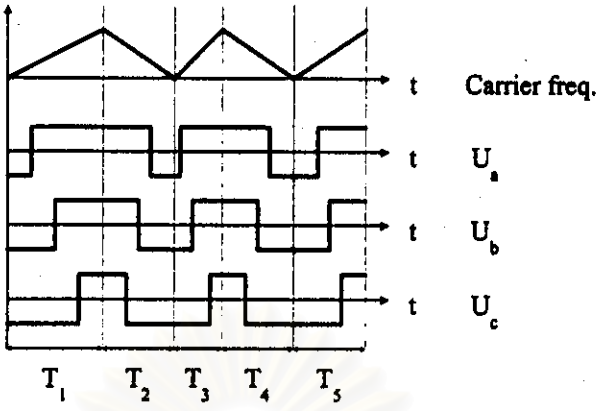
วิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีที่2. เนื่องจากง่ายในการสร้าง และเสนอแนวความคิดว่า การที่จะลดเสียงรบกวนจากตัวมอเตอร์นั้น ควรจะทำการแปรความถี่การสวิตช์เพื่อให้ได้การกระจายของสเปกตรัมของกระแสมากกว่าที่จะเป็นแรงดันเนื่องจากกระแสเป็นตัวสร้างฟลักซ์แม่เหล็ก(Wallace, Spee and Martin, 1990) ดังนั้น เราจะศึกษาวิธีที่จะทำให้กระแสมีสเปกตรัมที่กระจายตัวได้ดี โดยจะอธิบายในบทที่3 โครงสร้างของระบบอินเวอร์เตอร์ที่มีการแปรความถี่การสวิตช์แบบง่าย ๆ แสดงดังรูปที่ 2.5(Boys and Handley, 1992)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของระบบอินเวอร์เตอร์แบบแปรความถี่การสวิตช์

ในรูปที่2.5 จะเห็นว่าความถี่การสวิตช์จะกำหนดโดยการแปรความถี่การสวิตช์ในรูปของฟังก์ชัน d(f) รอบ ๆ ค่าความถี่การสวิตช์เฉลี่ย fc_{av} โดยค่าความถี่การสวิตช์ที่แปรค่าจะถูกชักตัวอย่างและคงค่า(sample and hold)ก่อนที่จะนำไปสร้างสัญญาณพาหะ เพื่อรักษาความชันของสัญญาณคลื่นพาหะในแต่ละคาบการสวิตช์ให้คงที่ โดยสัญญาณคลื่นพาหะอาจเป็นได้ทั้งรูปคลื่นฟันเลื่อย (สำหรับการมอดูเลตแบบขอบเดี่ยว (single edge)) หรือรูปคลื่นสามเหลี่ยม (สำหรับการมอดูเลตแบบขอบคู่ (double edge)) โดยในรูปที่ 2.5 จะแสดงให้เห็นถึงการมอดูเลตแบบขอบเดี่ยว

เมื่อเราต้องการมอดูเลตแบบขอบคู่ เราจะพบว่าวิธีการที่ทำให้ความถี่การสวิตช์สามารถแปรค่าได้ละเอียดที่สุดก็คือ ทุก ๆ ครึ่งคาบของความถี่คลื่นพาหะสามเหลี่ยมจะมีการเปลี่ยนความถี่การสวิตช์ ด้วยวิธีนี้จะทำให้ต้องมีการชักตัวอย่างและคงค่าทุก ๆ ครั้งที่รูปคลื่นสามเหลี่ยมมีค่าเป็นศูนย์และมีค่าสูงสุด รูปคลื่น PWM ที่ได้จากวิธีนี้จะเป็นดังรูปที่ 2.6 เราเรียกครึ่งคาบเวลาของคลื่นสามเหลี่ยมนี้ว่า subcycle



รูปที่ 2.6 รูปคลื่น PWM ที่มีการแปรความถี่การสวิตช์ทุก ๆ subcycle

อย่างไรก็ตาม ในการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบอินเวอร์เตอร์ที่มีการแปรความถี่การสวิตช์ เราจะใช้ตัวจับเวลา(timer)ในไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่แทนสัญญาณพาหะ ดังนั้นถ้าเราต้องการมอดูเลตแบบขอบคู่ก็จะต้องใช้ตัวจับเวลาที่สามารถนับขึ้นและนับลงได้ เนื่องจากสัญญาณนาฬิกาที่เป็นฐานเวลาของตัวจับเวลามีค่าความถี่ที่คงที่ ดังนั้น การเปลี่ยนความถี่การสวิตช์ก็คือการเปลี่ยนเวลาในการนับขึ้นและนับลงนั่นเอง ซึ่งค่าเวลาดังกล่าวก็คือค่า T_k โดยจะมีลักษณะการแปรค่าที่ขึ้นอยู่กับระบบที่ออกแบบขึ้น ดังนั้น จากแผนผังโปรแกรมในรูปที่2.4 ค่า T_k จะใช้วิธีเปิดตารางโดยมีการคำนวณ T_k ไว้ล่วงหน้า ซึ่งค่า T_k นี้จะเป็นฟังก์ชันของมุม θ ดังนั้น เมื่อเรารู้ค่ามุม θ ก็จะสามารถอ่านค่า T_k ที่เหมาะสมได้ อย่างไรก็ตาม แผนผังโปรแกรมในรูป 2.4 เป็นเพียงการอธิบายแนวคิดในการคำนวณค่าความกว้างพัลส์แบบง่าย ๆ เท่านั้น การประยุกต์ใช้กับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องมีจุดที่ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบคือลักษณะการโหลดข้อมูลไปใช้งานในการสร้างพัลส์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ค่าความกว้างพัลส์ที่คำนวณได้ในคาบการสวิตช์นี้ จะถูกนำไปกำเนิดพัลส์ในคาบการสวิตช์หน้า ซึ่งในระบบที่มีความถี่การสวิตช์คงที่จะไม่เห็นผลกระทบที่เกิดจากการหน่วงข้อมูลนี้ แต่ในระบบที่มีการแปรความถี่การสวิตช์จะเห็นผลกระทบนี้อย่างชัดเจน ดังจะได้แสดงให้เห็นและอธิบายถึงปรากฏการณ์นี้โดยละเอียดในบทของการทดสอบระบบ