

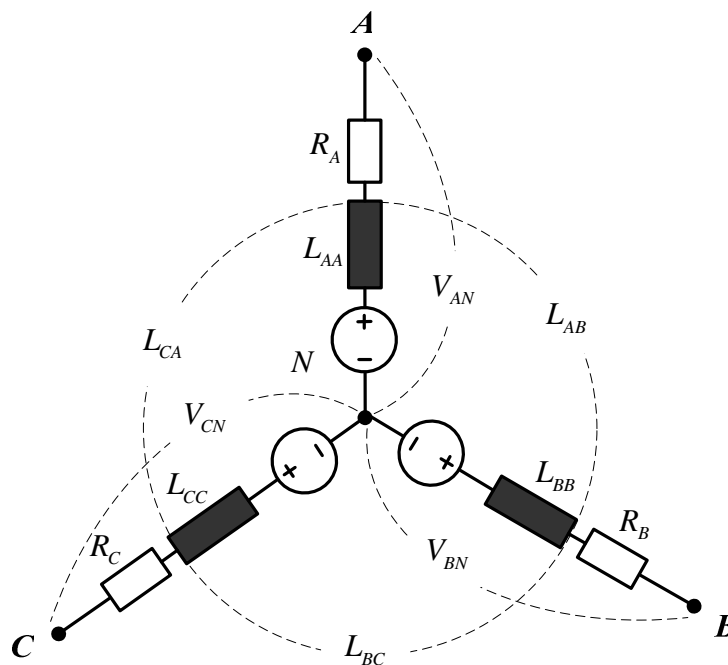
บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานและงานที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์ BLDC ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หลักการทำงานของมอเตอร์เบื้องต้น มอเตอร์ BLDC กับคอมเพรสเซอร์ และการขับเคลื่อนมอเตอร์ BLDC แบบเดิม

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ BLDC

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์จะแสดงแบบไว้แบ่งถ่าน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นมอเตอร์ชนิดที่มีรูปทรงของแรงดัน BEMF เป็นแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal back emf) ขดลวดสเตเตอร์มีสามขดขนาดเท่ากันวางเรียงกันทำมุม 120 องศาทางไฟฟ้า โดยที่ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่นำมาพิจารณาในแต่ละเฟสมีค่าเท่ากัน



รูปที่ 2.1 แบบจำลองของมอเตอร์ BLDC

สมการแรงดันของขดลวดสเตเตอร์จากแบบจำลองของมอเตอร์กระแสตรงแบบไว้
แปรผันสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} v_{AN} \\ v_{BN} \\ v_{CN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_N & 0 & 0 \\ 0 & R_N & 0 \\ 0 & 0 & R_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{AN} \\ i_{BN} \\ i_{CN} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_{AA} & L_{AB} & L_{AC} \\ L_{BA} & L_{BB} & L_{BC} \\ L_{CA} & L_{CB} & L_{CC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_A \\ e_B \\ e_C \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

เมื่อ v_{AN}, v_{BN}, v_{CN} คือ แรงดันที่จ่ายให้ขดลวดสเตเตอร์ i_{AN}, i_{BN}, i_{CN} คือ กระแสที่จ่ายให้
ขดลวดสเตเตอร์ L_{AA}, L_{BB}, L_{CC} คือ ค่าความเหนี่ยวนำในตัวเองของขดลวดสเตเตอร์
 L_{BA}, L_{CB}, L_{CA} คือค่าความเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดสเตเตอร์ $R_A = R_B = R_C = R_N$ คือค่า
ความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ต่อหนึ่งเฟสที่สมมุติให้มีค่าเท่ากันทุกเฟส e_{AN}, e_{BN}, e_{CN} คือ
ค่าแรงดัน BEMF ทั้งสามเฟสที่สมมุติให้เป็นแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู เมื่อ E_p คือค่าสูงสุดของ
BEMF ดังนั้นสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$E_p = (Blv)N = N(Blr\omega_m) = N\phi_a\omega_m = \lambda_p\omega_m \quad (2.2)$$

เมื่อ N คือจำนวนรอบของขดลวดสเตเตอร์ต่อหนึ่งเฟส v คือ ความเร็ว l คือความยาวของลวด
ตัวนำ r คือรัศมีของโรเตอร์ ω_m คือความเร็วเชิงมุม B คือค่าความหนาแน่นฟลักซ์ของ
สนามแม่เหล็กที่เฟสใดๆ ที่ลวดคัลอยู่

ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของวงจรแม่เหล็กของโรเตอร์ (reluctance)
เนื่องจากเป็นโรเตอร์แบบไม่มีโพลยื่น (non-salient pole rotor) และสมมุติว่าทุกเฟสสมมาตรกัน
ดังนั้นจะได้ว่า

$$L_{AA} = L_{BB} = L_{CC} = L \text{ และ } L_{AB} = L_{BA} = L_{AC} = L_{CA} = L_{BC} = L_{CB} = M \quad (2.3)$$

$$\begin{bmatrix} v_{AN} \\ v_{BN} \\ v_{CN} \end{bmatrix} = R_N \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{AN} \\ i_{BN} \\ i_{CN} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L & M & M \\ M & L & M \\ M & M & L \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{AN} \\ e_{BN} \\ e_{CN} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

และเมื่อกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์สมดุลกันทั้งสามเฟสโดยที่ $i_{AN} + i_{BN} + i_{CN} = 0$ ซึ่งนำมาจัดรูปค่าความเหนี่ยวนำเป็นแบบแมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} v_{AN} \\ v_{BN} \\ v_{CN} \end{bmatrix} = R_N \begin{bmatrix} R_N & 0 & 0 \\ 0 & R_N & 0 \\ 0 & 0 & R_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{AN} \\ i_{BN} \\ i_{CN} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L-M & 0 & 0 \\ 0 & L-M & 0 \\ 0 & 0 & L-M \end{bmatrix} P \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{AN} \\ e_{BN} \\ e_{CN} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

ดังนั้นสมการแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้าของมอเตอร์ (electromagnetic torque) แสดงได้ดังนี้

$$T_E = [e_{AN}i_{AN} + e_{BN}i_{BN} + e_{CN}i_{CN}] \frac{1}{\omega} \quad (N.m) \quad (2.6)$$

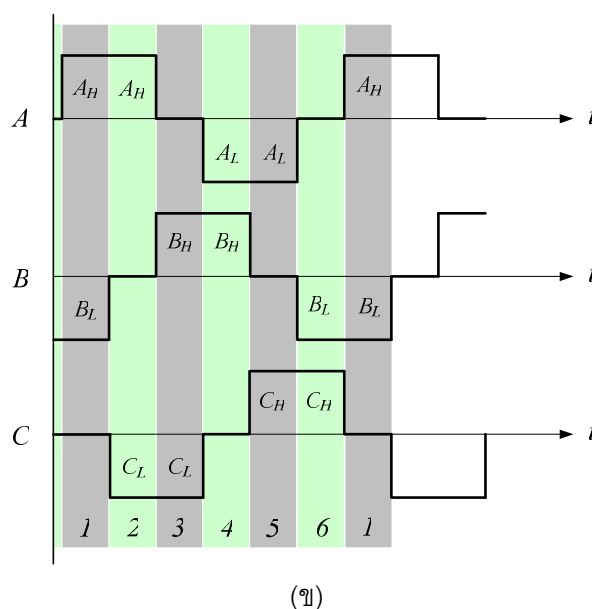
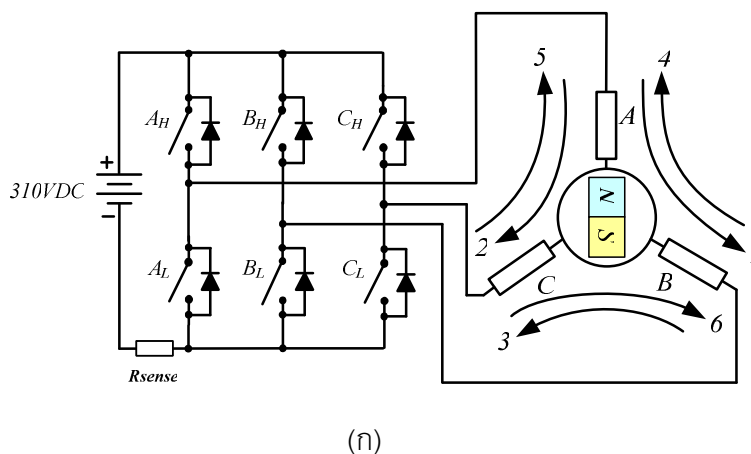
แรงดัน BEMF สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} e_{AN} &= f_{AN}(\theta_r) \lambda_p \omega_m \\ e_{BN} &= f_{BN}(\theta_r) \lambda_p \omega_m \\ e_{CN} &= f_{CN}(\theta_r) \lambda_p \omega_m \end{aligned} \quad (2.7)$$

เมื่อฟังก์ชัน $f_{AN}(\theta_r)$, $f_{BN}(\theta_r)$, $f_{CN}(\theta_r)$ มีรูปทรงของแรงดัน BEMF เหมือนกับ e_{AN} , e_{BN} และ e_{CN} ด้วยขนาดสูงสุดที่ ± 1

2.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ BLDC

หลักการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ BLDC จะใช้การสร้างสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ของมอเตอร์เหมือนกับกรณีการสร้างสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์เพียงเพื่อจะต้องทำการรักษาทิศทางสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์ให้มีทิศทางทำมุมตั้งฉากอยู่กับทิศทางของสนามแม่เหล็กของโรเตอร์อยู่ตลอดเวลา ซึ่งก็จะทำให้ได้แรงบิดที่ดีที่สุดของมอเตอร์การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ BLDC จะใช้หลักการพื้นฐานของการขับเคลื่อนแบบสวิตช์ 6 ขั้น 120 องศา (Six-step, 120° Drives) ตามมาตรฐานของการขับเคลื่อนฮาล์ฟบริดจ์สามเฟส (Standard half bridge) โดยที่สัญญาณกระแสในแต่ละเฟสจะนำหน้าและล่าหลัง 120 องศาทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ทิศทางของกระแสเฟสจากการสวิตช์และรูปสัญญาณกระแสทั้งสามเฟส

จากรูปที่ 2.2 (ก) จะเป็นทิศทางของกระแสในแต่ละเฟสของการขับเคลื่อนแบบ 6 ขั้น 120 องศา ในหนึ่งขั้นจะมีการจ่ายสัญญาณแรงดันพัลส์ให้สองในสามขดซึ่งจะทำให้มีกระแสไหลผ่านเฉพาะสองขดโดยที่อีกขดที่เหลือถูกปล่อยลอยและไม่มีกระแสไหลผ่าน ในแต่ละขั้นจะมีทิศทางการไหลของกระแสดังรูป ส่วนในรูปที่ 2.2(ข) จะเป็นลำดับขั้นการจ่ายสัญญาณแรงดันพัลส์ซึ่งมีลำดับดังต่อไปนี้ (A_H, B_L) , (A_H, C_L) , (B_H, C_L) , (B_H, A_L) , (C_H, A_L) , (C_H, B_L) การเรียงลำดับขั้นจะเป็นไปตามทิศทางการหมุน ซึ่งถ้าต้องการเปลี่ยนทิศทางการหมุนก็กระทำโดยเปลี่ยนลำดับขั้นเป็น (C_H, B_L) , (C_H, A_L) , (B_H, A_L) , (B_H, C_L) , (A_H, C_L) , (A_H, B_L) เป็นต้น

2.3 มอเตอร์ BLDC กับคอมเพรสเซอร์

คอมเพรสเซอร์ คือเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่อัดสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นแก๊สให้มีแรงดันสูงขึ้น ซึ่งมีใช้ในระบบทำความเย็นต่างๆ เช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น พลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในระบบทำความเย็นมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์จะถูกใช้โดยคอมเพรสเซอร์ ส่วนที่เหลือจะถูกใช้โดยระบบควบคุมและพัดลมระบายอากาศ

ในระบบทำความเย็นอัตราการไหลของมวลสารทำความเย็นจะมีผลกับความเย็นของระบบ เมื่อปรับอัตราการไหลให้มากขึ้นหรือน้อยลงก็จะทำให้ได้ความเย็นในระบบมากขึ้นและน้อยลงตามความต้องการ ในการปรับอัตราการไหลของมวลสารทำความเย็นสามารถกระทำได้โดยการปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ ดังนั้นจึงสามารถใช้การปรับความเร็วรอบคอมเพรสเซอร์ในการรักษาระดับความเย็นของระบบแทนการตัดต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในระบบเก่า

การปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์จะมีผลกับการใช้พลังงานของระบบ เมื่อปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ให้สูงขึ้นการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนจะมากขึ้นและเมื่อลดความเร็วรอบการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนก็จะน้อยลง ด้วยเหตุนี้ระบบที่สามารถปรับความเร็วรอบคอมเพรสเซอร์ได้จะสามารถเพิ่มลดการใช้พลังงานได้ เช่น เมื่อตั้งอุณหภูมิภายในห้องไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส ระบบจะปรับความเร็วรอบคอมเพรสเซอร์ให้อุณหภูมิถึงระดับที่ตั้งไว้ หลังจากนั้นจะปรับความเร็วรอบลงเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิในระบบให้คงที่ ซึ่งวิธีการเดิมการใช้การตัดต่อการทำงานและใช้พลังงานอย่างเต็มพิกัดในการรักษาระดับอุณหภูมิ ด้วยเหตุที่สามารถปรับความเร็วรอบคอมเพรสเซอร์ได้จึงทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น

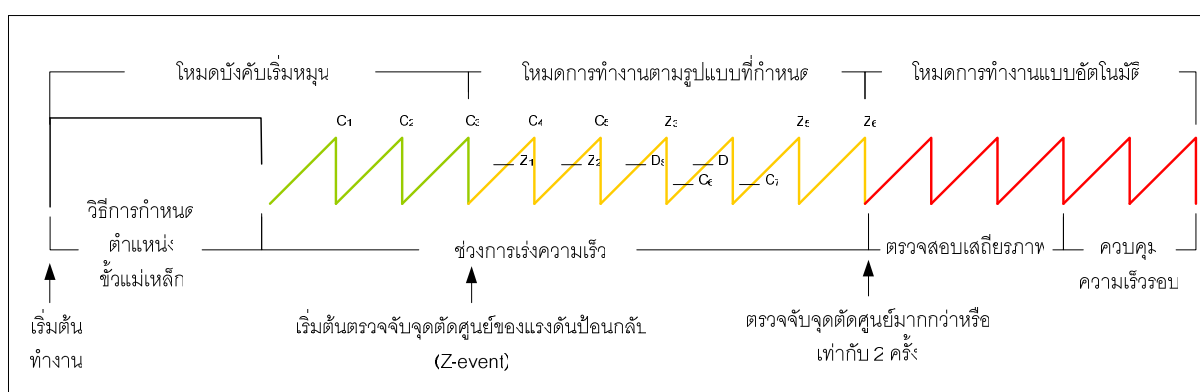
คอมเพรสเซอร์แบบเดิมที่ใช้มอเตอร์อินดักชันแบบเฟสเดียว (single phase induction motor) จะมีประสิทธิภาพต่ำ และไม่มีการปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำเอามอเตอร์ BLDC มาใช้กับคอมเพรสเซอร์ ซึ่งข้อดีของมอเตอร์ BLDC ที่มีประสิทธิภาพสูง ทนทาน การบำรุงรักษาต่ำ เสี่ยงรบกวนต่ำ ด้วยข้อดีเหล่านี้ และการที่ทำให้มอเตอร์ BLDC สามารถปรับความเร็วรอบได้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นให้สูงขึ้นได้

คุณลักษณะของภาระของคอมเพรสเซอร์ (load torque) อาจจะมีที่มาจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น ภาระที่เกิดจากแรงอัดในระบบปั๊มแบบโรตารีของคอมเพรสเซอร์ ภาระที่เกิด

จากแรงบิดของซี่ทางระหว่างซี่ของแม่เหล็กถาวรที่โรเตอร์กระทำกับแกนเหล็กที่สเตเตอร์ และภาระที่เกิดจากแรงเสียดทานและความฝืดของระบบปั๊มแบบโรตารีของคอมเพรสเซอร์

2.4 การเริ่มต้นทำงานมอเตอร์ BLDC ด้วยวิธีการเดิม

วิธีการเริ่มต้นทำงานของมอเตอร์ BLDC ด้วยวิธีการเดิม จะมีขั้นตอนการทำงาน ตั้งแต่การกำหนดตำแหน่งขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์จนกระทั่งถึงจุดเริ่มต้นการควบคุมการทำงานด้วยวิธีการแบบไรต์ตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์ ขั้นตอนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.3 จากรูปจะแบ่งขั้นตอนออกเป็นโหมดได้ดังนี้ โหมดการบังคับเริ่มหมุน เป็นขั้นตอนแรกซึ่งจะทำการบังคับให้โรเตอร์เข้ามาอยู่ในตำแหน่งที่กำหนด หลังจากนั้นจะบังคับให้มอเตอร์เริ่มหมุนโดยที่ไม่มีการควบคุมตำแหน่งของโรเตอร์ ในโหมดการสวิตช์ตามรูปแบบที่กำหนด จะเป็นขั้นตอนการบังคับหมุนโดยจะใช้จุดตัดศูนย์ของแรงดัน BEMF หรือเรียกโดยย่อว่า Z-event ซึ่งในโปรแกรมจะกำหนดให้เป็นอินเตอร์รัพท์หนึ่งที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการกำหนดตำแหน่งในการสวิตช์ และโหมดการทำงานแบบอัตโนมัติ จะมีขั้นตอนการตรวจสอบเสถียรภาพความเร็วของมอเตอร์ ก่อนที่จะเข้าสู่การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ตามความเร็วที่กำหนด



รูปที่ 2.3 แผนผังขั้นตอนการเริ่มต้นทำงาน

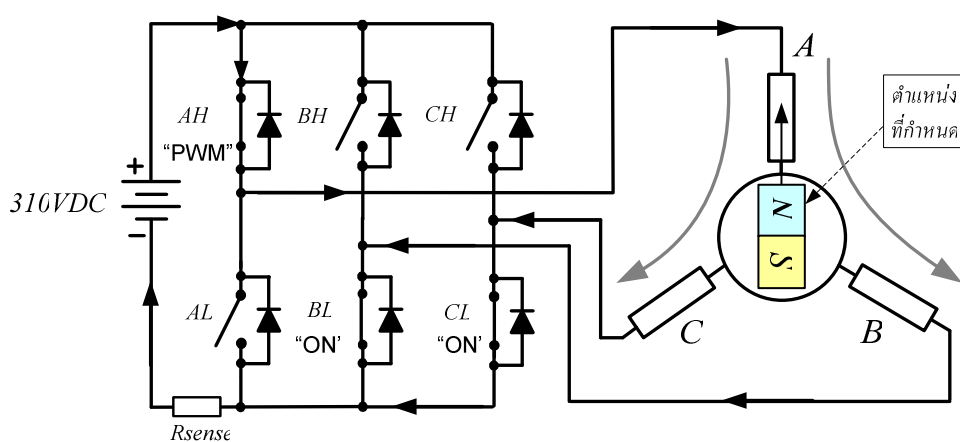
ในโหมดการบังคับเริ่มหมุน จะมีทั้งวิธีการเลือกตำแหน่งสวิตช์เริ่มต้น และการเร่งความเร็วขึ้น ในขั้นตอนการเร่งความเร็วนี้ จะใช้วิธีการบังคับหมุนให้โรเตอร์เริ่มหมุนในทิศทางที่กำหนดด้วยด้วยลำดับขั้นตามวิธีการขับเคลื่อนแบบสวิตช์ 6 ขั้น 120 องศา ในขณะที่โรเตอร์เริ่มมี

การขยับและเริ่มหมุนก็จะสามารถตรวจวัดสัญญาณแรงดัน BEMF ได้ เมื่อ Z_n คือจุดตัดศูนย์ของแรงดัน BEMF หรือ Z-event C_n คือเริ่มต้นการสวิตช์ในแต่ละขั้น (commutation event) หรือ C-event และ D_n คือจุดที่ตรวจสอบว่าสภาพความเป็นแม่เหล็กของขดลวดได้คลายออกจนหมดก่อนเริ่มสวิตช์ในขั้นถัดไป (demagnetization event) หรือ D-event และเมื่อเริ่มมีการตรวจจับ Z-event ได้ ก็จะทำให้การเริ่มนับจำนวนครั้งตามที่กำหนด การกำหนดจำนวนครั้งของ Z-event และช่วงเวลาการเร่งความเร็วขึ้นต้องสัมพันธ์กัน โดยปกติจะปล่อยให้มอเตอร์เริ่มหมุน 1 รอบทางกลโดยที่ไม่มีการตรวจจับ Z-event เพื่อต้องการให้มอเตอร์เริ่มหมุนอย่างเสถียรและมีแรงดัน BEMF มากพอเสียก่อน จึงจะเริ่มทำการตรวจจับ (โดยที่ 1 รอบทางกล หรือ 2 รอบทางไฟฟ้า เมื่อเป็นมอเตอร์แบบ 4 ขั้วแม่เหล็ก) โดยทั่วไปสามารถที่จะเริ่มตรวจจับ Z-event ได้ตั้งแต่แรกเริ่มหมุน เพราะในโหมดการสวิตช์แบบอัตโนมัติจะใช้ Z-event เพียงสองสามครั้งก็สามารถเข้าสู่โหมดการทำงานได้แล้ว แต่เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในช่วงแรก ซึ่งอาจจะทำให้การตรวจจับผิดพลาดได้ จึงจำเป็นต้องหน่วงเวลาออกไป ถ้าหน่วงเวลามากไปก็อาจเกิดปัญหาได้เช่นกัน เพราะจะเหลือเวลาที่จะตรวจจับน้อยเกินไป เมื่อตรวจจับ Z-event ได้จำนวนครั้งไม่เพียงพอ โปรแกรมจะสั่งให้มอเตอร์ก็จะหยุดทำงานทันที ในขั้นตอนการตรวจสอบความเสถียรของมอเตอร์จะเว้นระยะไปอีกสองถึงสามขั้นตอนการสวิตช์ก่อนจะเข้าสู่โหมดการสวิตช์แบบอัตโนมัติ และเข้าสู่ขั้นตอนตรวจสอบความเร็วของมอเตอร์ เมื่อตรวจสอบพบว่าตรงกับความเร็วที่กำหนดจากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ (speed loop regulation)

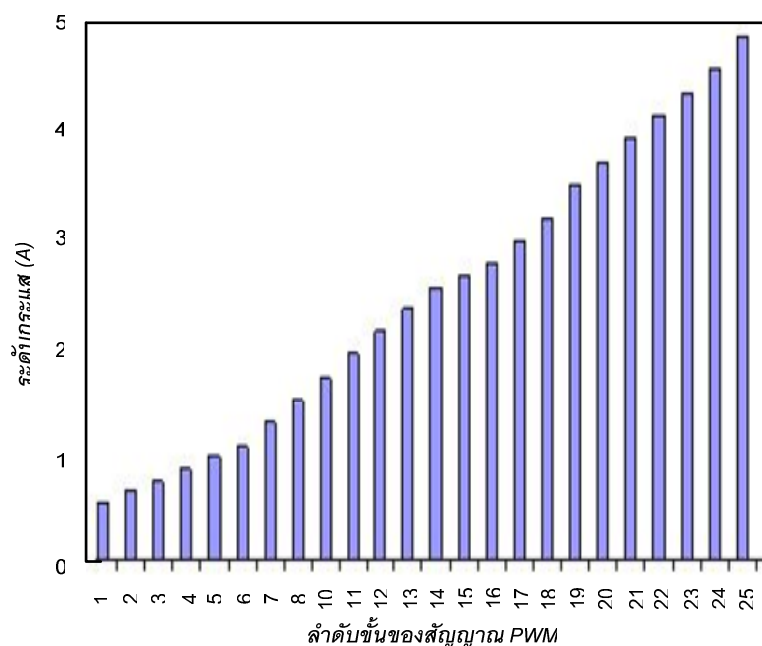
2.4.1 วิธีการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของโรเตอร์

วิธีการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของโรเตอร์จะทำได้โดยการบังคับให้โรเตอร์เข้ามาอยู่ในตำแหน่งอ้างอิงที่กำหนดซึ่งเป็นตำแหน่งขั้วเหนือของโรเตอร์อยู่กับเฟส A ดังแสดงดังรูปที่ 2.4 การกำหนดกระทำโดยการจ่ายสัญญาณแรงดันพัลส์เข้าไปที่ขด A บน ขด B ล่าง และขด C ล่าง (สวิตช์ T_1 "PWM" T_4 และ T_6 "ON") โดยกำหนดให้โรเตอร์อยู่ในตำแหน่งตรงกับเฟส A หรือตำแหน่งปรับแนวกับเฟส A ซึ่งตำแหน่งนี้เป็นจุดที่จะกำหนดตำแหน่งสวิตช์ในการเริ่มต้นทำงาน การกำหนดสัญญาณ PWM จะกำหนดให้มีขนาดความกว้างพัลส์เท่าๆ กัน ในลักษณะที่จะทำให้ระดับกระแสค่อยๆ เพิ่มขึ้น (progressive current level) ซึ่งความกว้างพัลส์และคาบเวลาการจ่ายแรงดันพัลส์จะพิจารณาจากความต้องการของภาระซึ่งอาจจะมีจำนวนพัลส์ไม่เท่ากันในแต่ละขนาดกำลังของมอเตอร์ เมื่อกำหนดความกว้างพัลส์น้อยๆ จะทำให้ระดับของกระแสค่อยๆ ไต่

สูงขึ้นจนถึงจุดที่สามารถจุดลากให้โรเตอร์เข้าสู่ตำแหน่งที่กำหนดได้ ลักษณะของแรงดันพัลส์ดังแสดงในรูปที่ 2.5 จากรูปแสดงลักษณะระดับการได้กระแสที่เกิดขึ้นในขณะที่จ่ายแรงดันพัลส์เมื่อกำหนดความกว้างพัลส์คงที่เท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ การกำหนดเปอร์เซ็นต์ความกว้างพัลส์นี้จะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันบัลไฟตรงที่ใช้ด้วยเมื่อแรงดันบัลไฟตรงสูงก็ต้องปรับความกว้างพัลส์ลดน้อยลง ทั้งนี้ต้องทำการทดลองหลายๆครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุดที่จะทำให้โรเตอร์เข้าสู่ตำแหน่งที่กำหนดโดยไม่เกิดการออสซิลเลชัน



รูปที่ 2.4 ตำแหน่งปรับแนวที่กำหนดชั่วแม่เหล็กของโรเตอร์

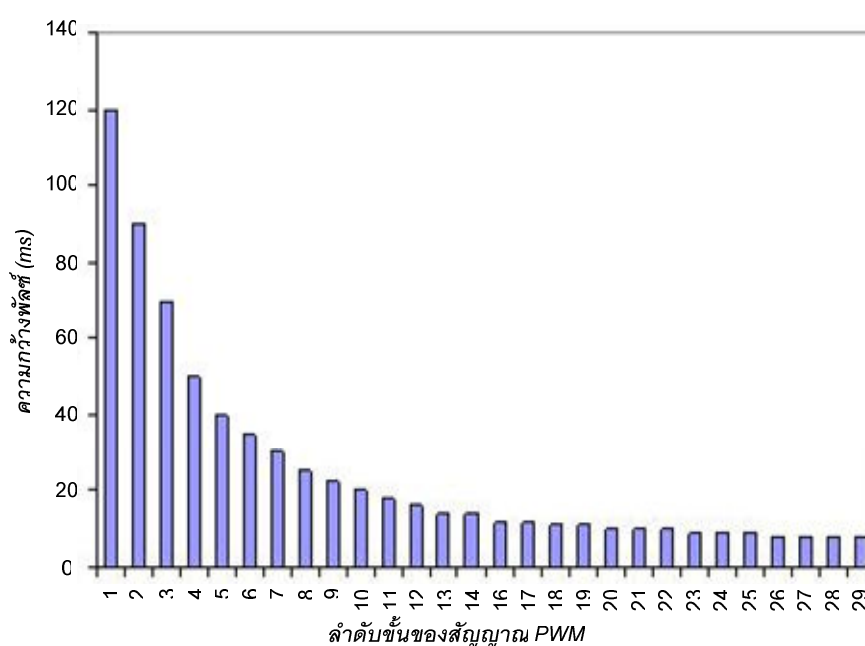


รูปที่ 2.5 ระดับกระแสและลำดับขั้นของสัญญาณ PWM ในช่วงกำหนดตำแหน่งปรับแนว

จากรูปที่ 2.5 จะแสดงลักษณะของแรงดันพัลส์คงที่และลักษณะระดับการไต่กระแสที่เกิดขึ้นในขณะที่ย้ายแรงดันพัลส์ โดยที่กำหนดคาบเวลาของแรงดันพัลส์เท่ากับ 30 ms จำนวนพัลส์เท่ากับ 25 พัลส์ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการช่วงการกำหนดตำแหน่งปรับแนวจะเท่ากับ 750 ms (30ms x 25)

2.4.2 การบังคับเริ่มหมุนด้วยการกำหนดระดับกระแส

การบังคับเริ่มหมุนด้วยการกำหนดระดับกระแส จะใช้การจ่ายสัญญาณแรงดันพัลส์ที่ถูกกำหนดขนาดขึ้นโดยเฉพาะที่จะทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนจากตำแหน่งเริ่มต้นของโรเตอร์และเร่งความเร็วขึ้นจนสามารถตรวจจับ Z-event ของสัญญาณแรงดัน BEMF ได้ โดยที่การกำหนดขนาดของสัญญาณแรงดันพัลส์ในช่วงบังคับเริ่มต้นหมุนจะมีการกำหนดขนาดเหมือนกับในขั้นตอนกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของโรเตอร์ แต่จะไม่เหมือนกับขั้นตอนการทำงานในโหมดการสวิตช์แบบอัตโนมัติที่การกำหนดขนาดจะได้จากการกำหนดความกว้างพัลส์ของสัญญาณ PWM ทั้งนี้ขนาดแรงดันพัลส์จะขึ้นอยู่กับค่าความเฉื่อยของโรเตอร์ และภาระของมอเตอร์ ซึ่งอาจจะต้องทำการทดสอบเพื่อค่าที่ดีที่สุดสำหรับการใช้งาน ตัวอย่างสัญญาณแรงดันพัลส์ในช่วงบังคับเริ่มหมุนดังแสดงในรูปที่ 2.6 จากรูปตัวอย่างจะกำหนดจำนวนขั้นเท่ากับ 29 ขั้นในแต่ละขั้นจะกำหนดความ

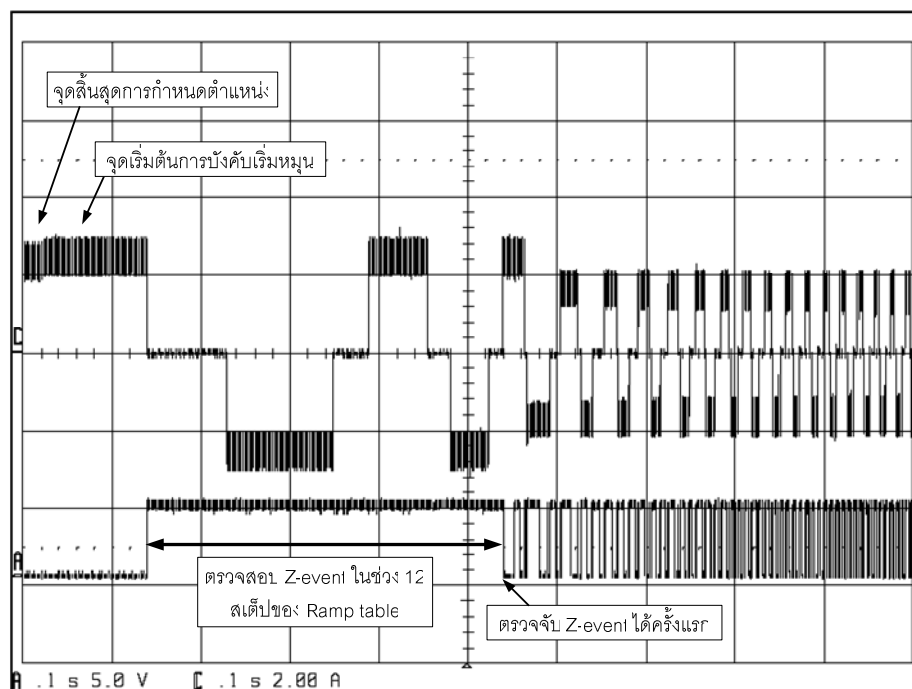


รูปที่ 2.6 ความกว้างพัลส์และลำดับขั้นของสัญญาณ PWM ในช่วงการบังคับเริ่มหมุน

กว้างพัลส์เรียงจากมากไปหาน้อย ความกว้างพัลส์ที่มากในช่วงแรกเพื่อให้มอเตอร์สามารถเร่งให้เริ่มต้นหมุนได้ และจะค่อยๆลดขนาดลงตามลำดับ อัตราเร่งดังกล่าวจะเป็นลักษณะเอกโปเนนเชียล ซึ่งมอเตอร์บางตัวอัตราเร่งจะเป็นลักษณะเส้นตรง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดฟลักซ์ของมอเตอร์และค่าภาระของมอเตอร์ในขณะนั้นๆ

ในช่วงที่ความเร็วของมอเตอร์ต่ำ สัญญาณแรงดัน BEMF จะอ่อนและยากแก่การตรวจวัด Z-event ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดให้ขนาดแรงดันพัลส์มากเพียงพอที่จะเร่งความเร็วมอเตอร์ในช่วงเริ่มต้นให้สูงขึ้นเมื่อความเร็วสูงขึ้น สัญญาณแรงดัน BEMF ก็จะมีขนาดมากขึ้นและง่ายแก่การตรวจวัด

การกำหนดขนาดแรงดันพัลส์ในช่วงเริ่มต้นหมุนควรมีขนาดเท่ากับขนาดแรงดันพัลส์ในช่วงสุดท้ายของการกำหนดตำแหน่งของโรเตอร์ เพื่อป้องกันการเกิดกระแสะกระชากขึ้นในช่วงเริ่มต้นหมุนที่ต่อจากช่วงกำหนดตำแหน่งของโรเตอร์ จากรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นจุดสิ้นสุดการกำหนดตำแหน่ง และจุดเริ่มต้นการบังคับเริ่มหมุน ซึ่งจะมีระดับที่ใกล้เคียงเพื่อลดปัญหาการเกิดกระแสะกระชากดังกล่าว ในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุนด้วยขั้น จาก Starting ramp table ได้เท่ากับ 12 ขั้นจากนั้นก็จะเริ่มต้นการตรวจจับ Z-event เมื่อตรวจจับ Z-event ได้ตามจำนวนที่กำหนดหลังจากนั้นจะเริ่มใช้ Z-event เป็นจุดอ้างอิงในการควบคุมการทำงานแบบไรต์ตรวจจับตำแหน่ง



รูปที่ 2.7 สัญญาณกระแสเฟสในช่วงบังคับเริ่มหมุน และสัญญาณการตรวจวัด Z-event [1]

2.5 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเริ่มต้นทำงานเป็นหนึ่งในปัญหาหลักของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน โดยส่วนใหญ่จะใช้เทคนิคการประมาณค่าตำแหน่งจากแรงดัน BEMF แต่ในขณะที่มอเตอร์หยุดนิ่งจะไม่สามารถตรวจจับตำแหน่งได้เนื่องจากไม่มีแรงดัน BEMF เกิดขึ้น จึงได้มีการนำเสนอวิธีการเพื่อที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวที่เรียกว่า การเริ่มต้นทำงานแบบลูปเปิด (open loop start-up) ซึ่งก็คือการบังคับเริ่มหมุนแบบไม่มีการควบคุมการทำงานจนกระทั่งมอเตอร์มีความเร็วมากพอที่จะสามารถตรวจจับสัญญาณแรงดัน BEMF ได้ อย่างไรก็ตามก็ยังมีปัญหาในเรื่องการหมุนผิดทิศทาง หรือไม่สามารถเริ่มต้นทำงานได้ เนื่องจากไม่มีการควบคุมตำแหน่งการสวิตช์ให้เหมาะสมกับภาระที่ไม่คงที่ในขณะนั้นได้ วิธีการเริ่มต้นทำงานอีกวิธีหนึ่ง โดยจะใช้วิธีการบังคับให้โรเตอร์เข้าสู่ตำแหน่งปรับแนวที่กำหนดก่อนที่จะเริ่มต้นทำงาน วิธีการกำหนดตำแหน่งปรับแนว จะใช้การจ่ายแรงดันพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์คงที่ และจำนวนพัลส์ตามที่กำหนดซึ่งต้องเพียงพอที่จะทำให้โรเตอร์หมุนเข้าสู่ตำแหน่งปรับแนวที่กำหนดได้ แต่อย่างไรก็ตาม อาจเกิดการหมุนที่ผิดทิศทางขึ้นได้เนื่องจากตำแหน่งเริ่มต้นของโรเตอร์ไม่ตรงกับลำดับขั้นเริ่มต้นการทำงาน หรือการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในขณะเริ่มต้นทำงานเนื่องจากภาระที่มากเกินไปจนไม่สามารถเริ่มต้นทำงานได้ ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการเดียวกันกับที่ได้นำเสนอผลการทดสอบมาแล้วก่อนหน้านี้

เพื่อแก้ปัญหการเริ่มต้นทำงานนี้ ควรจะต้องทำการประมาณค่าตำแหน่งเริ่มต้นของโรเตอร์ก่อนที่จะเริ่มต้นทำงาน เทคนิคการประมาณค่าตำแหน่งของโรเตอร์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือใช้ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำที่ขดลวดสเตเตอร์เนื่องมาจากแม่เหล็กถาวรที่โรเตอร์ซึ่งทำให้แกนเหล็กสเตเตอร์เกิดการอิ่มตัวขึ้น [3-7] ใน [3] จะใช้วิธีการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของโรเตอร์โดยใช้อัตราส่วนของผลตอบสนองของกระแสที่ได้จากการจ่ายแรงดันพัลส์เข้าสู่มอเตอร์ ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะทำให้ได้ผลการประมาณค่าตำแหน่งที่ดี แต่ต้องใช้ตัวตรวจจับกระแสในแต่ละเฟสซึ่งจะทำให้ไม่เหมาะกับการนำมาใช้งานที่ต้องการราคาต้นทุนต่ำ ใน [4] จะใช้การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลตอบสนองของกระแสที่มีระดับมากน้อยต่างกัน เมื่อตรวจวัดและบันทึกผลของระดับกระแสที่ได้จากการจ่ายแรงดันพัลส์แล้ว จากนั้นจะนำไปเปรียบเทียบระดับกระแสในแต่ละเฟสถึงสามครั้ง และนำผลดังกล่าวมาประมาณค่าตำแหน่งของโรเตอร์ ซึ่งผลการเปรียบเทียบสามารถประมาณได้ถึง 30 องศา แต่อย่างไรก็ตามผลตอบสนองเหล่านี้ในบางครั้งมีระดับกระแสใกล้เคียงกันมาก จึงไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้ การที่จะแยกแยะความแตกต่างนี้อาจจะต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (analog to digital converter) ที่มี

ความละเอียดสูง และนั่นก็หมายความว่าต้องใช้ตัวควบคุมการทำงานที่มีสมรรถนะสูง ซึ่งราคาก็สูงตามไปด้วย ใน [6,7] ได้นำเสนอวิธีการประมาณค่าตำแหน่งขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ที่สามารถประมาณค่าตำแหน่งได้โดยไม่ต้องใช้ตัวตรวจวัดกระแส แต่จะใช้การตรวจวัดแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์แทน ใน [6] ตำแหน่งขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ถูกกำหนดโดยการใช้ช่วงเวลาคายสภาพความเป็นแม่เหล็กของขดลวดสเตเตอร์ (regenerating) ของขดลวดสเตเตอร์หลังจากจ่ายแรงดันพัลส์เข้าสู่มอเตอร์ วิธีการจะใช้เวลาเปรียบเทียบช่วงเวลา regenerating ที่มากน้อยต่างกันในการประมาณค่าตำแหน่งโรเตอร์ จากผลการประมาณค่าตำแหน่งที่ได้จะพบว่าในช่วงรอยต่อของมุมจะมีเงื่อนไขการพิจารณาได้ถึงสองเงื่อนไขดังนั้นก็ไม่สามารถบอกได้ว่าโรเตอร์อยู่ในตำแหน่งใด ในขณะที่ [7] วิธีการจะทำการจ่ายแรงดันดีซีให้กับขดลวดอาร์มาเจอร์ ผลรวมของฟลักซ์ (magnetic flux) ที่เกิดขึ้นจากขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์และจากการกระตุ้นด้วยแรงดันพัลส์จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ ซึ่งเป็นผลทำให้แรงดัน BEMF ที่ถูกเหนี่ยวนำจากขดลวดอาร์มาเจอร์เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ อย่างไรก็ตามวิธีการที่กล่าวมาแล้วนี้ ต้องการใช้เทคนิคการตรวจวัดที่ยุ่งยากซับซ้อน หรือต้องใช้เวลาในการคำนวณเพื่อการประมาณค่าตำแหน่งของโรเตอร์ ซึ่งทำให้ไม่สามารถนำมาใช้งานจริงที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ราคาถูกลงได้

2.6 แนวทางในการวิจัย

วิธีการที่นำเสนอนี้ จะอาศัยผลจากการเปลี่ยนแปลงระดับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสเตเตอร์และผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าระดับกระแสที่เกิดการอิ่มตัวในแกนเหล็กสเตเตอร์ที่ได้รับอิทธิพลมาจากแม่เหล็กถาวรที่โรเตอร์เพื่อใช้ในการประมาณค่าตำแหน่งของโรเตอร์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำจะสัมพันธ์กันกับการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันเฟสในลักษณะแปรผันตรง ระดับกระแสเฟสสูงสุดจะเท่ากับระดับกระแส DC-link ดังนั้นจึงสามารถใช้เปรียบเทียบระดับแรงดันเฟสและระดับกระแส DC-link แทนการเปรียบเทียบระดับค่าความเหนี่ยวนำและระดับกระแสเฟสในการประมาณค่าตำแหน่งของโรเตอร์ได้ การประมาณค่าตำแหน่งจะใช้วิธีการง่ายๆ ด้วยการเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับแรงดันเฟสและกระแส DC-link ซึ่งวิธีการนี้จะไม่ใช้การคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อนหรือต้องใช้ตัวควบคุมการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงแต่อย่างใด ซึ่งจะทำให้ง่ายแก่การทดลองหรือการนำไปใช้งานจริง ดังนั้นด้วยวิธีการที่นำเสนอนี้จะสามารถช่วยลดการกระชากของกระแสในช่วงเริ่มต้นการทำงานได้ การเริ่มต้นการทำงานจะใช้ตำแหน่งที่ประมาณได้เป็นจุดอ้างอิงในการเลือกตำแหน่งสวิตช์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้สามารถเริ่มต้นการทำงานได้อย่างนุ่มนวล ลดการกระชากของกระแสให้น้อยลงได้