บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส อินเวอร์เตอร์ โรงเรือนปิดปศุสัตว์ วิธีการควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศในโรงเรือนปิดปศุสัตว์ และขั้นตอนการออกแบบรูปแบบการควบคุมพัดลมระบายอากาศสำหรับวิธีอินเวอร์เตอร์

2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำทั่วไปแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสและ 3 เฟส ในวิทยานิพนธ์นี้ จะกล่าวถึงเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึง โครงสร้างของมอเตอร์ หลักการทำงานของมอเตอร์ วิธีการปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์ มอเตอร์สำหรับขับโหลดพัดลม และส่วนประกอบของพัดลมระบายอากาศ

2.1.1 โครงสร้างของมอเตอร์

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนด้วยกันคือ สเตเตอร์หรือส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) และโรเตอร์หรือส่วนที่หมุน (Rotor) [13]

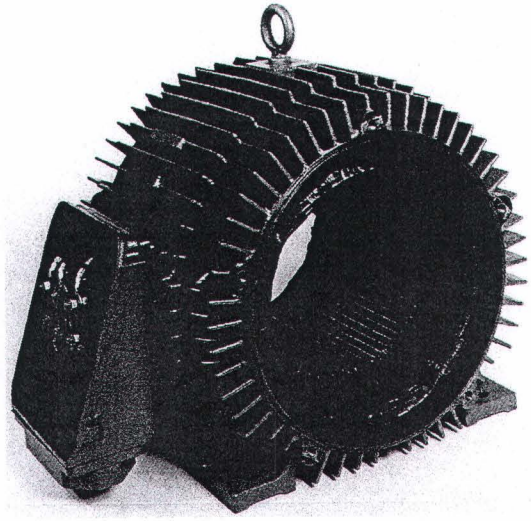
2.1.1.1 สเตเตอร์หรือส่วนที่อยู่กับที่ (Stator)

โครงสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทำมาจากเหล็กหล่อ (Cast iron) หรือเหล็กกล้า (Steel iron) โครงสเตเตอร์มีหน้าที่ยึดขดลวดอาร์เมเจอร์ที่บรรจุอยู่ในสล๊อต ทำด้วยแผ่นลามิเนท (Laminated sheet) บาง ๆ อัดเป็นรูปทรงดังรูปที่ 2.1 (ก) [14]

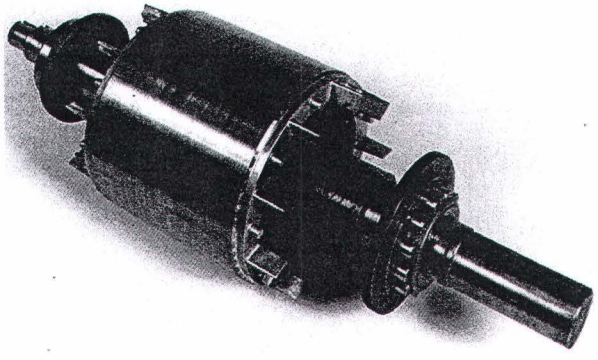
2.1.1.2 โรเตอร์หรือส่วนหมุน (Rotor)

(ก) แบบกรงกระรอก (Squirrel cage) มีลักษณะเป็นแท่งตัวนำคล้ายกรงกระรอกฝังอยู่ภายในโรเตอร์ที่ปลายทั้งสองด้านของแท่งตัวนำถูกลัดวงจรด้วยตัวนำรูปวงแหวนดังรูปที่ 2.1 (ข) [13] แท่งตัวนำของโรเตอร์มักมีลักษณะเฉียงเพราะจะทำให้โรเตอร์หมุนได้ราบเรียบและลดปัญหาเสียงฮัมของแม่เหล็ก (magnetic hum)

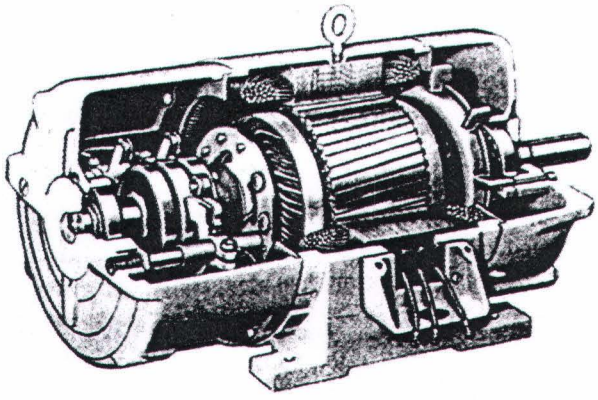
(ข) แบบขดลวดพันรอบโรเตอร์ (Wound rotor) โรเตอร์ลักษณะนี้จะมีขดลวดพันรอบตัวโรเตอร์ ส่วนปลายของขดลวดจะต่อกับสลิบริงซึ่งมีแปลงถ่านติดอยู่ ซึ่งจะต่างจากโรเตอร์แบบกรงกระรอก โรเตอร์แบบวาด์วโรเตอร์นี้มีข้อจำกัดคือ จำนวนขั้วของโรเตอร์จะต้องมีค่าเท่ากับขั้วที่จำนวนขั้วที่สเตเตอร์ ในรูปที่ 2.1 (ค) [13]



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

(ก) สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ [14]

(ข) โรเตอร์แบบกรงกระรอกของมอเตอร์เหนี่ยวนำ [14]

(ค) โรเตอร์แบบพันรอบโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ [13]

2.1.2 หลักการทำงานของมอเตอร์

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้กับขดลวดสเตเตอร์ แล้วจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดสเตเตอร์นี้ ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดัน 3 เฟสดังกล่าว กระแสไฟฟ้านี้ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนรอบ ๆ ช่องอากาศ (Air Gap) และฟลั๊กซ์แม่เหล็กของสนามแม่เหล็กหมุน เคลื่อนตัวตัดผ่านลวดตัวนำที่ฝังอยู่ในโรเตอร์แล้วจะเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นภายในลวดตัวของโรเตอร์ และเนื่องจากลวดตัวนำของโรเตอร์ถูกลัดวงจรทำให้มีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลอยู่ในลวดตัวนำนี้ ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือและขั้วใต้ที่โรเตอร์เช่นเดียวกับที่สเตเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่หมุนที่สเตเตอร์นั้นจะเกิดการผลักและดูดกับขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่โรเตอร์ในทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุน ผลที่ได้ของการดูดและผลักระหว่างขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์และโรเตอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น เป็นผลให้โรเตอร์หมุนไปในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุน สนามแม่เหล็กหมุนดังกล่าวจะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส (n_s) ซึ่งหาค่าได้จาก

$$n_s = \frac{120 f_e}{p} \tag{2.1}$$

โดยที่ n_s คือ ความเร็วซิงโครนัส

f_e คือ ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของระบบ

p คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

เนื่องจากโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะหมุนไปทิศทางเดียวกันสนามแม่เหล็กหมุนของสเตเตอร์ แต่ไม่ได้หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส ความแตกต่างระหว่างความเร็วซิงโครนัส (n_s) กับความเร็วของโรเตอร์ (n_r) เรียกว่า ความเร็วสลิบ (slip speed; n_{slip}) หาค่าได้จาก

$$n_{slip} = n_s - n_r \tag{2.2}$$

อัตราส่วนความเร็วสลิบกับความเร็วซิงโครนัสเรียกว่า สลิบ (Slip) เขียนได้ดังนี้

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \tag{2.3}$$

โดยที่ s คือ อัตราส่วนความเร็วสลิบกับความเร็วซิงโครนัส

n_r คือ ความเร็วโรเตอร์ของมอเตอร์

2.1.3 วิธีการปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์

สำหรับวิธีการปรับเปลี่ยนมอเตอร์สามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธีดังนี้ [15]

2.1.3.1 เปลี่ยนจำนวนขั้วของมอเตอร์

2.1.3.2 เปลี่ยนค่าความต้านทานโรเตอร์

2.1.3.3 เปลี่ยนขนาดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์

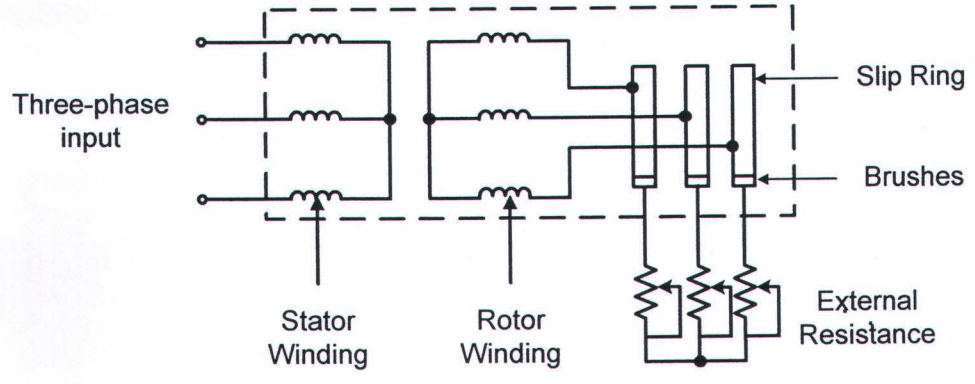
2.1.3.4 เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ (V/f) ที่จ่ายให้มอเตอร์

2.1.3.1 เปลี่ยนจำนวนขั้วของมอเตอร์

พิจารณาสมการ ความเร็วซิงโครนัสมอเตอร์ในสมการที่ (2.1) จะเห็นว่าความเร็วซิงโครนัสขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วมอเตอร์ด้วย คือ ถ้าจำนวนขั้วมอเตอร์น้อยความเร็วซิงโครนัสมอเตอร์ก็จะเพิ่มสูงขึ้น แต่ถ้าจำนวนขั้วมอเตอร์มากขึ้น ความเร็วซิงโครนัสก็จะลดลง วิธีการนี้ใช้ได้เฉพาะกับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก เนื่องจากมอเตอร์แบบนี้ จะสร้างสนามแม่เหล็กโรเตอร์ที่มีจำนวนขั้วเหมือนกับหรือเท่ากับสนามแม่เหล็กที่สร้างจากด้านสเตเตอร์ ทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องการเปลี่ยนขดลวดโรเตอร์ใหม่เมื่อมีการเปลี่ยนขั้ว วิธีการนี้ไม่เหมาะสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบพันรอบโรเตอร์ เนื่องโรเตอร์จะต้องจัดเรียงขดลวดใหม่เมื่อมีการเปลี่ยนขั้วมอเตอร์

2.1.3.2 เปลี่ยนค่าความต้านทานโรเตอร์

วิธีการนี้ เป็นการปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์แบบเปลี่ยนค่าความต้านทานโรเตอร์ สามารถทำได้เฉพาะกับมอเตอร์แบบพันรอบโรเตอร์เท่านั้น ซึ่งวิธีการนี้ทำได้โดยการปรับเปลี่ยนความต้านทานภายนอกที่ต่ออยู่แปลงถ่าน และแปลงถ่านนี้จะต่ออยู่กับวงแหวน (Slip Ring) ดังรูปที่ 2.2 เมื่อปรับตัวทานภายนอกมากๆ ความเร็วมอเตอร์ก็จะต่ำสุด แต่ถ้าปรับตัวต้านภายนอกน้อยๆ ก็จะทำให้ความเร็วมอเตอร์เพิ่มขึ้นสูง แต่ข้อเสียของวิธีนี้จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ต่ำ



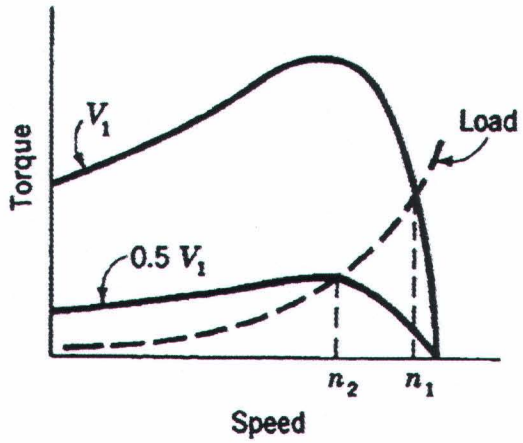
รูปที่ 2.2 การต่อความต้านทานภายนอกกับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบพันรอบโรเตอร์

2.1.3.3 เปลี่ยนขนาดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์

การปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์ในวิธีนี้ ทำได้โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าของขั้วสเตเตอร์ (V_1) เพียงอย่างเดียว จากสมการแรงบิดที่เกิดขึ้นในมอเตอร์จะได้ว่า

$$T = \frac{1}{\omega_s} \frac{3V_1^2 (R_2 / s)}{(R_{el} + R_2 / s)^2 + (X_{el} + X_2)^2} \times 100\% \qquad (2.4)$$

พิจารณาจากสมการแรงบิดที่เกิดขึ้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำดังสมการที่ (2.4) จะเห็นว่าทอร์กที่เกิดขึ้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันทางด้านเข้าของขั้วสเตเตอร์กำลังสอง (V_1^2) กล่าวคือถ้าลดแรงดันที่จ่ายเข้าทางขั้วสเตเตอร์ของมอเตอร์ ทอร์คที่เกิดขึ้นก็จะลดลงตามไปด้วย พิจารณารูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์กับแรงบิดที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ จะเห็นว่าจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าที่ขั้วสเตเตอร์เท่ากับพิกัดแรงดัน (V_1) เมื่อความเร็วสูงๆ จะส่งผลให้แรงบิดลดลงและเมื่อลดแรงดันเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันพิกัด $(0.5V_1)$ แรงบิดก็จะลดลงตามแรงดันไฟฟ้าไปด้วย นอกจากนี้การลดแรงดันลงยังทำให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานต่ำอีกด้วย วิธีการปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์แบบนี้ส่วนมากใช้กับมอเตอร์ชนิดกรงกระรอกขนาดเล็กที่มีโหลดทอร์กต่ำๆ เช่น มอเตอร์พัดลม เป็นต้น

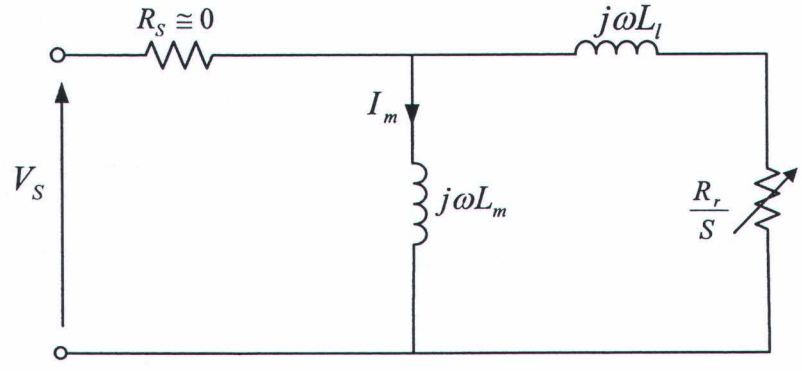


รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ความเร็วมอเตอร์กับแรงบิดที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนแรงดันทางด้านเข้ามอเตอร์

2.1.3.4 เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ (V/f) ที่จ่ายให้มอเตอร์

เนื่องจากความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำมีความสัมพันธ์กับความถี่ดังสมการที่ (2.1) กล่าวคือความเร็วมอเตอร์แปรผันตรงกับความถี่ อินเวอร์เตอร์จึงอาศัยหลักการควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยวิธีควบคุมอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่ (V/f control) หรือเรียกว่า “สเกลลาร์คอนโทรล” (Scalar Control) วิธีการ

นี้จะทำโดยควบคุมการปรับทั้งขนาดแรงดันและความถี่ที่สเตเตอร์ไปพร้อมๆกัน กล่าวคือให้อัตราส่วนแรงดันต่อความถี่มีค่าคงที่ เพื่อที่จะรักษาระดับเส้นแรงแม่เหล็กในช่องอากาศ (Air gap flux, λ_m) ให้คงที่ ที่สภาวะคงตัว หรือกล่าวได้ว่าเส้นแรงแม่เหล็กในช่องอากาศ (λ_m) มีค่าเท่ากับอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่โดยประมาณ พิจารณาวงจรสมมูลย์อย่างง่ายที่สภาวะคงตัว ดังรูปที่2.4 เพื่อประกอบการอธิบายการปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์แบบแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ (V_S/f)



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลย์อย่างง่ายที่สภาวะคงที่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

โดยที่ R_S คือ ความต้านทานสเตเตอร์ (Stator resistance)

R_r คือ ความต้านทานโรเตอร์ (Rotor resistance)

$L_l = L_{ls} + L_{lr}$ คือ ค่าความเหนี่ยวนำรั่วรวม (Total leakage inductance)

L_m คือ ค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (Magnetizing inductance)

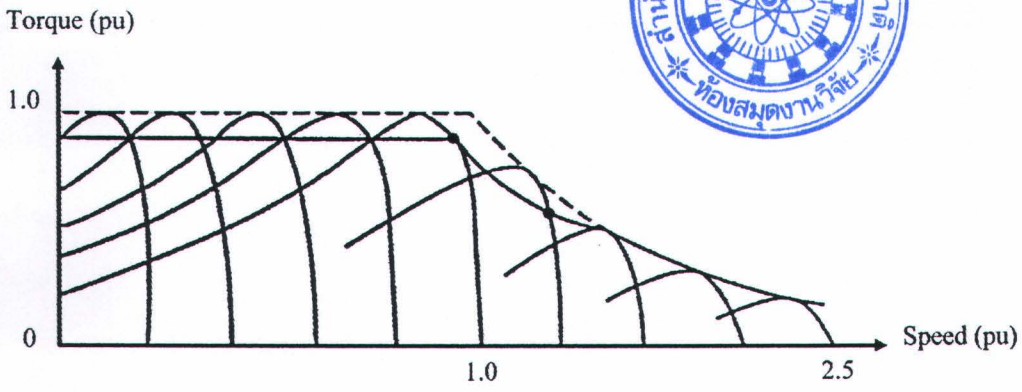
สมการเฟสเซอร์ (Phasor) พิจารณาที่สภาวะคงตัวเขียนได้ดังนี้

$$I_m \cong \frac{V_s}{j\omega L_m} \tag{2.5}$$

$$I_m = \frac{\lambda_m}{L_m} \cong \frac{V_s}{(2\pi f) L_m} \Rightarrow \lambda_m \propto \frac{V_s}{f} \tag{2.6}$$

เนื่องจากจะต้องรักษาระดับเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศ (λ_m) ให้มีค่าคงที่ ดังนั้นอัตราส่วนแรงดันสเตเตอร์ต่อความถี่ (V_s / f) จะต้องคงที่ที่ทุกความเร็วด้วย เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น แรงดันสเตเตอร์จะต้องเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามไปด้วยเพื่อรักษาอัตราส่วนแรงดันสเตเตอร์ต่อความถี่ ให้คงที่ รวมไปถึงกระแสที่ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetizing current) จะต้องมีค่าคงที่ด้วย เพื่อทำให้แรงบิดสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกันมาก ๆ จนถือได้ว่าแรงบิดสูงสุดมีค่าคงที่ ดังรูปที่ 2.5

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เนื่องจากวิธีการปรับเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์นี้ มีข้อจำกัดอยู่ว่า ถ้าอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่มากไปจะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กภายในแกนเหล็กของมอเตอร์เกิดการอิ่มตัว มอเตอร์จะร้อนเกิดความเสียหายแก่มอเตอร์ แต่ถ้าอัตราส่วน แรงดันสเตเตอร์ต่อความถี่ (V_s / f) น้อยไปมอเตอร์จะไม่สามารถขับโหลดได้ เนื่องจากแรงบิดที่เกิดขึ้นต่ำมาก ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนแรงดันสเตเตอร์กับความถี่ (V_s / f) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังรูปที่ 2.6 และรายละเอียดในแต่ละช่วงเป็นดังนี้

- ช่วงความถี่ระหว่างศูนย์ถึงความถี่คัตอ๊อฟ $(0 - f_c \ Hz)$ แรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานสเตเตอร์ จะถูกชดเชยด้วยการเพิ่มค่าแรงดันสเตเตอร์ (V_s) ดังนั้น ช่วงนี้อัตราส่วนแรงดันสเตเตอร์ต่อความถี่ (V_s / f) จะไม่เป็นเชิงเส้น ส่วนการหาค่าความถี่คัตอ๊อฟ (Cut-off frequency , f_c) และแรงดันสเตเตอร์ที่เหมาะสมสามารถคำนวณได้จากวงจรสมมูลย์ที่สภาวะคงตัวโดย กำหนดให้ค่าความต้านทานที่สเตเตอร์เป็นศูนย์ ($R_S \neq 0$)
- ช่วงความถี่ระหว่างความถี่คัตอ๊อฟถึงความถี่ที่พิกัด $(f_c - f_{rated} \ Hz)$ อัตราส่วนของแรงดันสเตเตอร์เตอร์ต่อความถี่ (V_s / f) จะคงที่ ซึ่งความชันของกราฟก็คือค่าเส้นแรงแม่เหล็กในช่องอากาศ (Air gap flux , λ_m)
- ช่วงความถี่มากกว่าความถี่ที่พิกัด ($f_{rated} \ Hz$) อัตราส่วนแรงดันสเตเตอร์ต่อความถี่ (V_s / f)ไม่สามารถที่จะทำให้คงที่ได้ เนื่องจากแรงดันสเตเตอร์ถูกจำกัดไว้ที่ค่าแรงดันพิกัด เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด Breakdown ของฉนวนที่ขดลวดสเตเตอร์ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กในช่องอากาศ (Air gap flux, λ_m) จึงมีค่าลดลงทำให้แรงบิดที่ถูกสร้างขึ้นลดลงตามไปด้วย ซึ่งช่วงนี้เรียกว่า "Field-weakening region" หรือ "Constant power region"

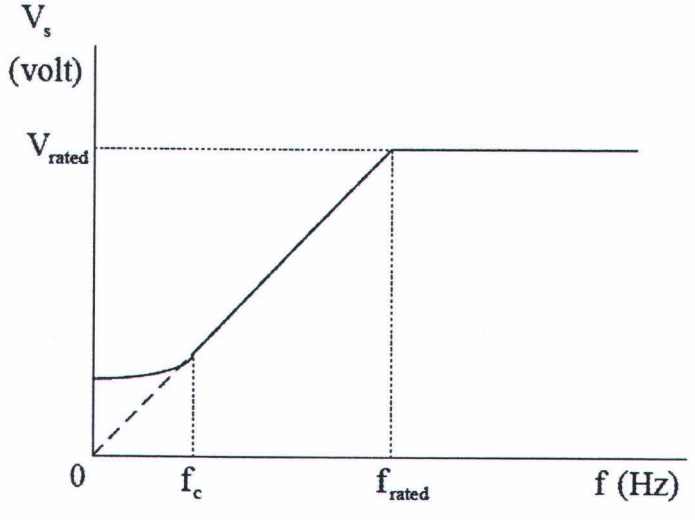
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 19 มิ.ย. 2555
เลขทะเบียน 246661
เลขเรียกหนังสือ

นอกจากนี้แล้วยังมีรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันสเตเตอร์ต่อความถี่ (V_s / f) อื่นๆอีกมากมาย ที่ประยุกต์ใช้งานตามความเหมาะสมของงานนั้นๆ เช่น รูปแบบความสัมพันธ์ของแรงดันกับความถี่ (V_s / f) ของอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Toshiba รุ่น VF-AS1 [16] แสดงในรูปที่ 2.7 (ก) รูปที่ 2.7 (ข) และ รูปที่ 2.7 (ค) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

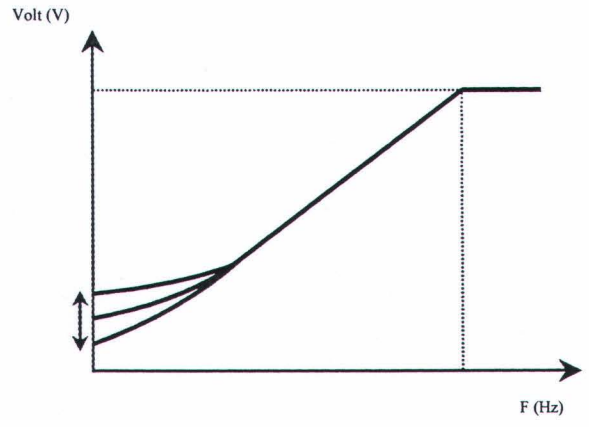
ในรูปที่ 2.7 (ก) แสดงรูปแบบแรงดันไฟฟ้าสเตเตอร์ต่อความถี่ (V_s / f) ชนิดแรงบิดคงที่ (Constant torque boost curve) รูปแบบนี้เหมาะสำหรับโหลดที่มีลักษณะเหมือนสายพานลำเอียงและปั่นจั่น ซึ่งโหลดประเภทนี้ต้องการแรงบิดคงที่ ที่ความเร็วพิกัดต่ำๆ

ในรูปที่ 2.7 (ข) แสดงรูปแบบแรงดันไฟฟ้าสเตเตอร์ต่อความถี่ (V_s / f) ชนิดลดลงแรงดันไฟฟ้า (Voltage decrease curve) รูปแบบนี้เหมาะสำหรับโหลดที่มีลักษณะความเร็วรอบเป็นกำลังสองกับแรงบิด เช่น โหลดพัดลม (Fans) ปั๊มน้ำ (Pump) และเครื่องเป่า (blowers) เป็นต้น

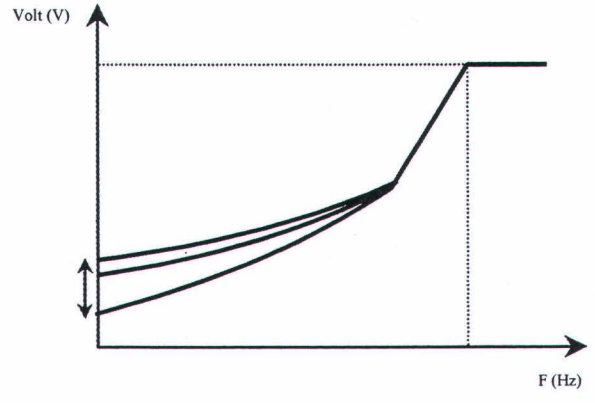
ในรูปที่ 2.7 (ค) แสดงรูปแบบแรงดันไฟฟ้าสเตเตอร์ต่อความถี่ (V_s / f) ชนิดปรับแรงบิดอัตโนมัติ (Automatic torque boost) รูปแบบนี้สามารถปรับอัตราส่วนแรงบิดออกตัว (Torque boost) จากอินเวอร์เตอร์ได้อย่างอัตโนมัติ เป็นผลให้เกิดความของคงที่ของแรงบิดและทำให้เกิดความเสถียรภาพขณะทำงานของอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้แล้วจับกระแสโหลดโหลดได้ในย่านความเร็ว



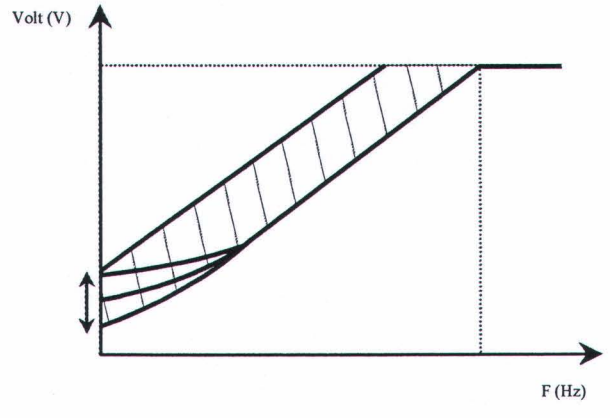
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่สเตเตอร์และความถี่ (V_s / f)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่สเตเตอร์และความถี่ (V_s / f) [16]

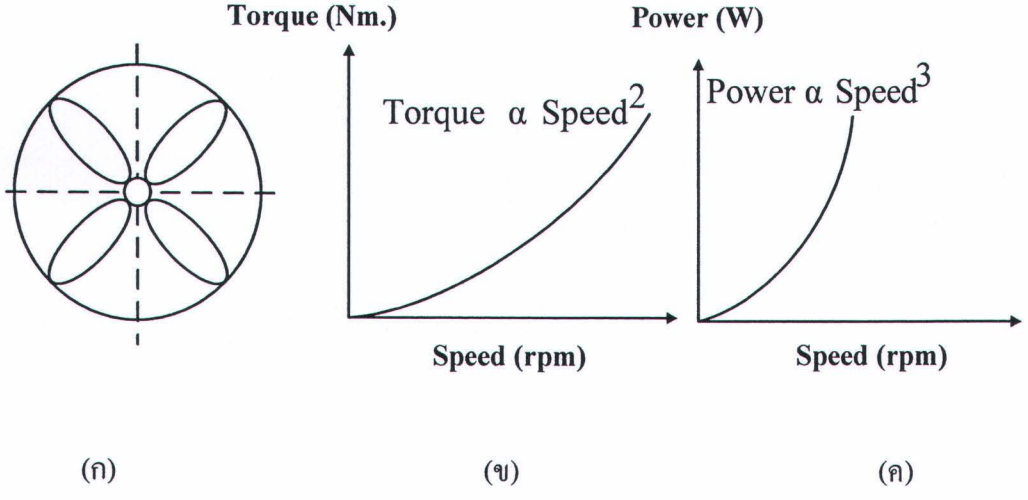
(ก) ชนิดแรงบิดคงที่ (Constant torque characteristics curve)

(ข) ชนิดลดแรงดันไฟฟ้า (Voltage decrease curve)

(ค) ชนิดปรับแรงบิดอัตโนมัติ (Automatic torque boost)

2.1.4 มอเตอร์ขับสำหรับขับโหลดพัดลม [17]

ลักษณะความสัมพันธ์ของความเร็วพัดลมกับแรงบิดและกำลังไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.8 สำหรับรูปที่ 2.8 (ข) แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดที่แปรผันกับความเร็วพัดลมกำลังสอง ดังนั้นการเลือกใช้มอเตอร์สำหรับโหลดที่เป็นประเภทใบพัดลม ควรเป็นมอเตอร์ที่สามารถขับโหลดประเภทแรงบิดแปรผันกับโหลดได้ (Variable Torque load) รูปที่ 2.8 (ค) แสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่แปรผันกับความเร็วพัดลมกำลังสาม ถ้าหากเราเปลี่ยนความเร็วรอบของโหลดโดยการลดความเร็ว จะทำให้กำลังไฟฟ้าลดลงอย่างมาก ซึ่งก็จะทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วย เมื่อมีการลดความเร็วพัดลมลง



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของความเร็วพัดลมกับแรงบิดและกำลังไฟฟ้า [17]
(ก) ใบพัดลม
(ข) ความสัมพันธ์ของความเร็วพัดลมกำลังสองกับแรงบิด
(ค) ความสัมพันธ์ของความเร็วพัดลมกำลังสามกับกำลังไฟฟ้า

2.1.5 ส่วนประกอบของพัดลมระบายอากาศ

ส่วนประกอบที่สำคัญของพัดลมระบายอากาศที่ใช้ในโรงเรือนปิดจริง [18] ได้แสดงดังรูปที่ 2.9 (ก) และ 2.9 (ข) แต่ละส่วนมีหน้าที่และความสำคัญดังต่อไปนี้

1. **มอเตอร์เหนี่ยวนำ** มีหน้าที่ขับใบพัดลม ซึ่งขับโดยผ่านพูลเลย์และสายพาน มอเตอร์ที่ใช้ขับใบพัดลมนี้ ในงานวิจัยนี้ใช้ขนาด 1.5 แรงม้า 380 Vrms 50 Hz

2. **ใบพัดลม** มีหน้าที่ระบายอากาศในโรงเรือน ซึ่งจะถูกขับโดยมอเตอร์ ใบพัดลมนี้ทำจากวัสดุที่เป็นสแตนเลส มีขนาด 50 นิ้ว มีทั้งประเภท 3 ใบพัดและ 6 ใบพัด

3. **ใบชัตเตอร์** มีหน้าที่เปิด-ปิดทางลม ใบชัตเตอร์จะเปิดเมื่อใบพัดลมหมุนเร็วจนทำให้เกิดแรงลมพอที่จะดันให้ชัตเตอร์เปิดได้ และจะปิดเมื่อความเร็วใบพัดลมลดลง จนแรงลมไม่พอที่จะดันใบชัตเตอร์ และจะปิดทันทีเมื่อใบพัดลมหยุดหมุน ซึ่งจะเป็นการป้องกันไม่ให้สิ่งไม่พึงประสงค์เข้าไปในโรงเรือนผ่านทางช่องพัดลม

4. **ตุ้มถ่วงน้ำหนัก** ทำหน้าที่เปิด-ปิดใบชัตเตอร์ ถ้าใบพัดลมไม่หมุน ตุ้มถ่วงน้ำหนักนี้ก็จะดึงให้ชัตเตอร์ปิด ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากใบพัดลมหมุนที่ความเร็วพอ จนทำให้เกิดแรงลมมากพอที่ดันใบชัตเตอร์และดันแรงตุ้มถ่วงน้ำหนักได้ ก็จะทำให้ใบชัตเตอร์ถูกเปิดออก

5. **พูลเลย์เล็ก (Small Pulley)** มีลักษณะเป็นเหล็กกลมที่มีร่องตัววีสำหรับรองรับสายพาน ซึ่งติดอยู่ตรงเพลามอเตอร์เหนี่ยวนำ ทำหน้าที่ส่งถ่ายกำลังผ่านสายพานไปสู่พูลเลย์ใหญ่

6. **สายพาน** ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างพูลเลย์เล็กกับพูลเลย์ใหญ่ เพื่อให้ใบพัดลมหมุนไปตามมอเตอร์เหนี่ยวนำ

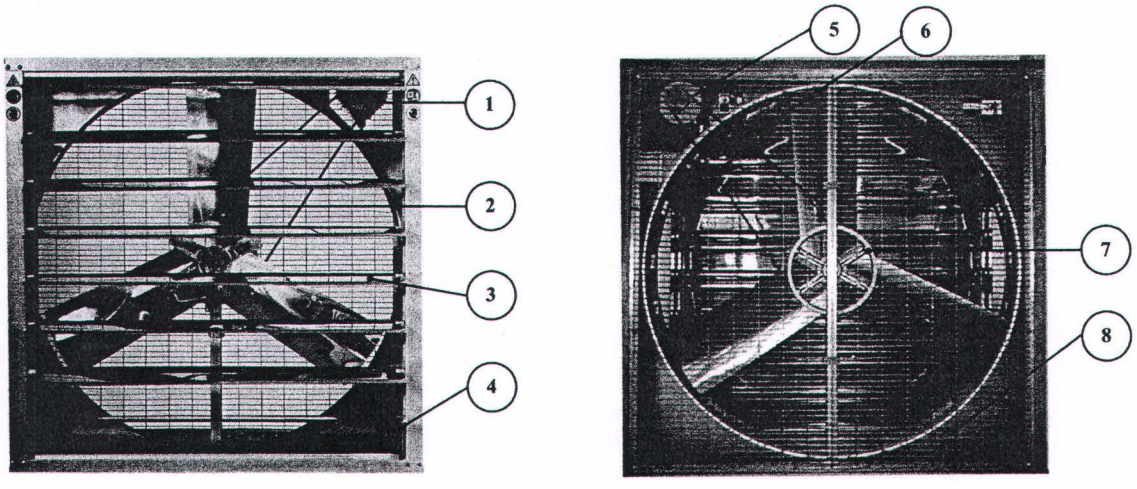
7. **พูลเลย์ใหญ่** (Big Pulley) มีลักษณะเป็นเหล็กกลมที่มีร่องตัววีคล้ายพูลเลย์เล็ก แต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า ทำหน้าที่รับกำลังจากพูลเลย์เล็กที่ส่งถ่ายผ่านสายพานมา แล้วขับใบพัดลมนอกจากนี้แล้ว พูลเลย์ใหญ่นี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวลดรอบความเร็วลงจากความเร็วมอเตอร์ที่พิกัด

8. **เวนจูรี่** (Venturi) ลักษณะเป็นลวดตาข่าย ทำหน้าที่ป้องกันสิ่งไม่พึงประสงค์เข้าไปโดนใบพัด

นอกจากนี้ยังรายละเอียดส่วนอื่นๆของพัดลมระบายอากาศเพิ่มเติม แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติต่างๆของพัดลมระบายอากาศ 50 นิ้ว ประเภท 3 และ 6 ใบพัด [18]

มอเตอร์ (HP)	แรงดันไฟฟ้า (Volt)	ความเร็วรอบ (RPM)	ความดัน Static Pressure ($IN.H_2O$)	ปริมาณลม (3 พัด) (CFM)	ปริมาณลมต่อวัตต์ (CFM/Watt)	ϕ พูลเลย์ พัดลม 3 ใบพัด		ϕ พูลเลย์ พัดลม 6 ใบพัด	
						เล็ก (mm)	ใหญ่ (in)	เล็ก (mm)	ใหญ่ (in)
1.0	380	520	0.12	18,500	23.00	115	12	85	12
1.5	380	540	0.12	21,500	20.00	115	12	85	12



(ก) (ข)

รูปที่ 2.9 พัดลมระบายอากาศทางด้านหน้าและด้านหลัง ขนาด 50 นิ้วประเภท 3 ใบพัด [18]

(ก) ด้านหน้า

(ข) ด้านหลัง

2.2 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์สามารถแบ่งได้ตามประเภทแหล่งจ่ายได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดควบคุมแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter, VSI) และชนิดควบคุมแหล่งจ่ายกระแส (Current Source Inverter, CSI) ในวิทยานิพนธ์นี้ จะขอกล่าวถึงเฉพาะอินเวอร์เตอร์ชนิดควบคุมแหล่งแหล่งจ่ายแรงดัน ส่วนในหัวข้อย่อยของหัวข้อ 2.2 นี้ จะกล่าวถึงความหมายของอินเวอร์เตอร์ ส่วนประกอบของอินเวอร์เตอร์ และหลักการพลัสวิดมอดดูเลชั่น (Plus Width Modulation Conception, PWM)

2.2.1 ความหมายของอินเวอร์เตอร์

ในความหมายทางวิชาการ "อินเวอร์เตอร์" หมายถึง วงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ในทางอุตสาหกรรมแล้ว เมื่อกล่าวถึง"อินเวอร์เตอร์" จะหมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับปรับเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ [19]

2.2.2 ส่วนประกอบของอินเวอร์เตอร์ [20]

ส่วนประกอบของอินเวอร์เตอร์ที่สำคัญโดยทั่วไป แสดงดังรูป 2.10 ซึ่งประกอบด้วย ชุดวงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) ชุดดีซีบัส (DC Bus) ชุดป้องกันแรงดันเกิน (Dynamic Breaking) ชุดวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) ชุดควบคุม (Controller) โดยในแต่ละส่วนประกอบนั้น มีหน้าที่ทำงานแตกต่างกันดังนี้

1. **ชุดวงจรเรียงกระแส** (Rectifier circuit) มีไดโอด (Diode) เป็นส่วนประกอบหลักในวงจร ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงและจะส่งต่อไปยังชุดทางเดินไฟฟ้ากระแสตรงต่อไป

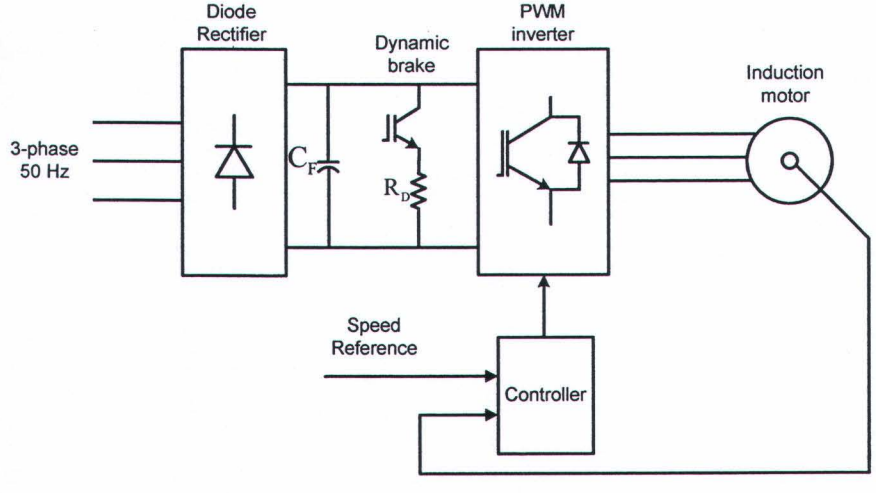
2. **ชุดทางเดินไฟฟ้ากระแสตรง** (DC Bus) ทำหน้าที่รับเอาแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากชุดวงจรเรียงกระแส เพื่อมากรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เรียบขึ้น โดยมีตัวคาปาซิเตอร์เป็นตัวกรองแรงดันไฟฟ้า

3. **ชุดป้องกันแรงดันเกิน** (Dynamic Braking) ในบางครั้งมอเตอร์เหนี่ยวนำที่กำลังทำงานอยู่และหมุนไปในทิศทางหนึ่ง มอเตอร์อาจถูกทำให้หยุดโดยมีแรงต้านทานการหมุนทิศทางตรงกันข้ามของมอเตอร์ ในสภาวะนี้มอเตอร์จะทำหน้าที่เป็นเจนเนอร์เรเตอร์ (Generator) ชั่วขณะ ทำให้เกิดกระแสไหลย้อนกลับเข้าไปยังตัวเก็บประจุ ทำให้เกิดแรงดันเพิ่ม เมื่อมอเตอร์ถูกต้านทานให้หยุดบ่อยครั้ง ก็จะทำให้แรงดันเข้าไปที่ตัวเก็บประจุมากตามไปด้วย

ซึ่งจะทำให้ตัวเก็บประจุเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นชุดป้องกันแรงดันเกิน จึงมีหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุไม่ให้เกินพิกัด ในขณะที่มอเตอร์ถูกทำให้หยุด (Breaking) อย่างรวดเร็ว แต่อินเวอร์เตอร์ในวิทยานิพนธ์นี้ไม่จำเป็นต้องใช้ชุดป้องกันแรงดันเกินนี้ เนื่องจากมีโหลดเป็นพัดลม ซึ่งเป็นโหลดที่แปรผันตามแรงบิด เป็นโหลดที่เบา จึงทำให้ไม่มีโอกาสเกิดเกิดแรงต้านทานการหมุนของมอเตอร์

4. **ชุดวงจรอินเวอร์เตอร์** (Inverter Circuit) คือส่วนที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่รับจากชุดทางเดินไฟฟ้ากระแสตรง (DC Bus) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งชุดวงจรนี้ประกอบไปด้วยสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 6 ตัว เช่น IGBT, MOSFET เป็นต้น สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเหล่านี้จะถูกควบคุมให้เปิด-ปิด เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เทคนิคการควบคุมการเปิด-ปิดของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้ง 6 ตัวนั้นมีหลายวิธี แต่วิธีที่มักนิยมกันก็คือ วิธีไซน์สามเหลี่ยมพลัสวิดมอดดูเลชั่น (Sine-Triangle Pulse Width Modulation) และวิธีสเปซเวคเตอร์พลัสวิดมอดดูเลชั่น (Space-Vector Pulse Width Modulation) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะได้อธิบายรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

5. **ชุดควบคุม** (Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังทั้ง 6 ตัว โดยควบคุมการเปิด-ปิดสวิตช์ทั้ง 6 ตัว เพื่อที่จะสร้างแรงดันและความถี่ด้านออกให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบต่างๆของอินเวอร์เตอร์โดยทั่วไป

2.2.3 หลักการพลัสวิดมอดดูเลชั่น (Pulse Width Modulation Concept, PWM)

สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้ง 6 ตัวนี้ ในวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสจะถูกควบคุมให้เปิด-ปิดเพื่อให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC bus) เกิดเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่มีทั้งขนาดและความถี่ที่ปรับค่าได้ให้แก่มอเตอร์เหนี่ยวนำ เทคนิคการควบคุมการเปิด-ปิด เราเรียกว่า "พลัสวิดมอดดูเลชั่น" (Pulse Width Modulation ,PWM) ซึ่งหลักการนี้มีอยู่ 2 เทคนิคที่นิยมกันคือ ไซน์สามเหลี่ยมพลัสวิดมอดดูเลชั่น (Sine-Triangle PWM) และสเปซเวคเตอร์พลัสวิดมอดดูเลชั่น (Space-Vector PWM) ทั้งสองเทคนิคนี้มีวิธีการทำงานที่ต่างกัน มีข้อดีและข้อที่เสียที่แตกต่างกัน สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้เทคนิคสเปซเวคเตอร์ รายละเอียดทั้งสองเทคนิคนี้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.3.1 ไซน์สามเหลี่ยมพลัสวิดมอดดูเลชั่น (Sine -Triangle PWM) [20]

วิธีการไซน์สามเหลี่ยมพลัสวิดมอดดูเลชั่นนี้ เป็นการนำรูปคลื่นสัญญาณไซน์ (Sine Wave) มาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave) ตามเงื่อนไขที่กำหนด (สำหรับรูปคลื่นไซน์บางครั้งเราเรียกว่าสัญญาณควบคุมและในที่นี้จะเรียก "สัญญาณควบคุม") หลังจากการเปรียบเทียบของสัญญาณทั้งสองแล้วก็จะได้สัญญาณที่เป็นรูปคลื่นพลัสวิด (Pulse Width) ในรูปที่ 2.11 หลักการพลัสวิดมอดดูเลชั่นแบบรูปคลื่นไซน์ ซึ่งเปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยมและแสดงสัญญาณพลัสวิด ที่ได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสอง เมื่อได้สัญญาณพลัสวิด แล้วสัญญาณนี้จะไปขับสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้ง 6 ในวงจรอินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 2.12 สำหรับเงื่อนไขการเปรียบระหว่างสัญญาณรูปคลื่นไซน์และสัญญาณสามเหลี่ยม พิจารณารูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.12 ประกอบ และสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2.7 – 2.9 ดังต่อไปนี้

- $V_{Control} > V_{tri}\,;\; V_{AO} = V_{DC}/2\,;\; T_a \;\; on, T_{a'} \;\; off$ (2.7)
- $V_{Control} < V_{tri}\,;\; V_{AO} = -V_{DC}/2\,;\; T_a \;\; off, T_{a'} \;\; on$ (2.8)
- $V_{AB} = V_{A0} - V_{B0}\,;\; V_{BC} = V_{B0} - V_{C0}\,; V_{CA} = V_{C0} - V_{A0}$ (2.9)

เมื่อ $V_{Control}$ คือ สัญญาณควบคุมหรือสัญญาณไซน์

V_{tri} คือ สัญญาณสามเหลี่ยม

จากเงื่อนไขดังกล่าวแสดงการควบคุมแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์เฉพาะเฟส A ส่วนในเฟส B และ C ก็จะทำงานตามเงื่อนไขเดียวกัน สิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสองคือ อัตราส่วนของการมอดดูเลชั่น (Amplitude Modulation index (m_a)) ซึ่งนิยามได้ว่า

$$m_a = \frac{V_{Conrol}}{V_{tri}} = \frac{Peak\ of\ V_{A0}}{V_{DC}/2} \tag{2.10}$$

โดยที่ m_a จะสามารถบ่งบอกสภาวะการทำงานได้ ดังนี้

1. เมื่อ $m_a < 1$ จะอยู่ในย่านการมอดดูเลต (linear modulation) นั่นก็คือ แอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณความถี่มูลฐานจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น
2. เมื่อ $m_a > 1$ จะอยู่ในย่านการมอดดูเลตเกิน (Over modulation) นั่นก็คือ แอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณความถี่มูลฐานจะเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นเชิงเส้น

และอัตราส่วนความถี่ของการมอดดูเลชั่น (Frequency Modulation ratio (m_f))

$$m_f = \frac{f_s}{f_l} \tag{2.11}$$

เมื่อ f_l คือ ความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) เท่ากับความถี่สัญญาณควบคุม ($f_{V_{Control}}$)

f_s คือ ความถี่ในการสับสวิตช์ (Switching Frequency) เท่ากับความถี่สัญญาณสามเหลี่ยม ($f_{V_{tri}}$)

โดยปกติ f_s จะเลือกให้อยู่ให้ช่วง 10-20 kHz และสำหรับ m_f ควรเลือกให้เป็นเลขจำนวนคี่ (odd integer) เนื่องจาก

- ถ้า m_f ไม่เป็นเลขจำนวนเต็ม (integer) จะทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออก เกิดฮาร์มอนิกส์ย่อยๆ (Subhamonic)
- ถ้า m_f ไม่เป็นเลขจำนวนคี่ (odd) จะทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออก เกิดฮาร์มอนิกส์เลขคู่ออกมา

นอกจากนี้แล้วควรเลือก m_f ให้เป็นจำนวนเท่าของเลข 3 จะพบว่าฮาร์มอนิกส์ที่เป็นจำนวนเท่าของเลข 3 จะหายไป

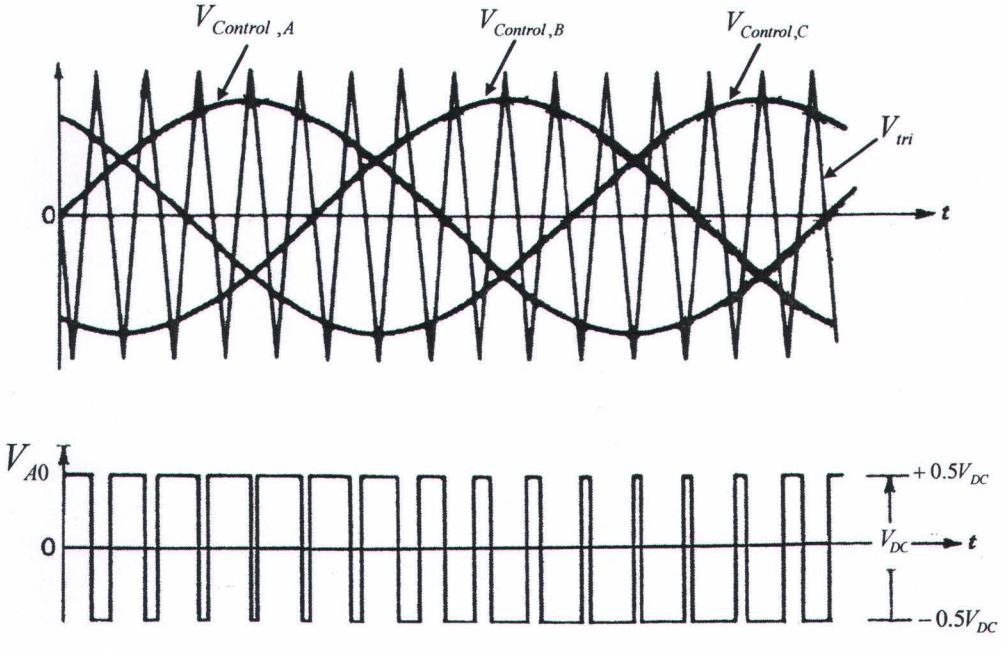
สำหรับข้อดีและข้อเสียของวิธีการไซน์สามเหลี่ยมพลัสวิดมอดดูเลชั่นเป็นดังนี้

ข้อดี

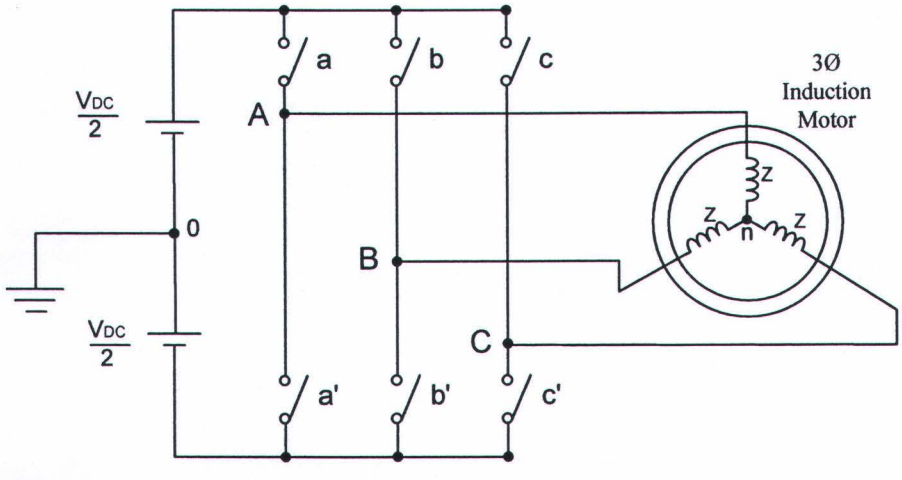
1) ง่ายสำหรับการสร้างสัญญาณทั้งในทางอนาล็อก (Analog) และทางดิจิตอล (Digital)
2) แรงดันไฟฟ้าด้านออก จะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราส่วนของการมอดดูเลชั่น (Amplitude Modulation ratio (m_a)) กล่าวคือ เมื่อ m_a เปลี่ยนจาก 0 ถึง 1 การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น

ข้อเสีย

1) ให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีสเปซเวคเตอร์พลัสวิดมอดดูเลชั่น
2) เกิดฮาร์มอนิกส์สูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีสเปซเวคเตอร์พลัสวิดมอดดูเลชั่น



รูปที่ 2.11 หลักการพลัสวิดมอดดูเลชั่นแบบไซน์สามเหลี่ยม (Sine-Triangle PWM) [19]



รูปที่ 2.12 ตำแหน่งสถานะสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

2.2.3.2 สเปซเวกเตอร์พลัสวิดมอดดูเลชั่น (Space Vector PWM) [21, 22]

สเปซเวกเตอร์ เป็นเทคนิคหนึ่งในการทำพลัสวิดมอดดูเลชั่น(PWM) ในรูปแบบของสเปซเวกเตอร์ ซึ่งจะนำเอาสเปซเวกเตอร์แรงดันที่สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ มาคำนวณหาแรงดันเฉลี่ยที่ต้องการจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Bus) เพื่อนำไปคำนวณหาคาบเวลาและจะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมที่นำมามอดดูเลชั่น แล้วจะได้สัญญาณสำหรับขับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้ง 6 ในชุดวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ วิธีการนี้ข่อนข้างซับซ้อน หัวข้อนี้จึงแบ่งการอธิบายออกเป็น เวกเตอร์แรงดันและขั้นตอนการทำสเปซเวกเตอร์พลัสวิดมอดดูเลชั่น (SVPWM) และสำหรับข้อดีและเสียของวิธีการนี้เป็นดังนี้

ข้อดี

1) ให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกสูงกว่าวิธีวิธีไซน์สามเหลี่ยมพลัสวิดมอดดูเลชั่นประมาณ 15%
2) เกิดฮาร์มอนิกส์ (Harmonics) ต่ำกว่าวิธีไซน์สามเหลี่ยมพลัสวิดมอดดูเลชั่น (Sine PWM)

ข้อเสีย

1) เนื่องรูปแบบการคำนวณเวลาในการสับสวิตช์มีความซับซ้อน ต้องอาศัยตัวควบคุมที่มีความเร็วในการประมวลผลที่สูง
2) การสร้างสัญญาณทำได้ยากในทางอนาล็อก

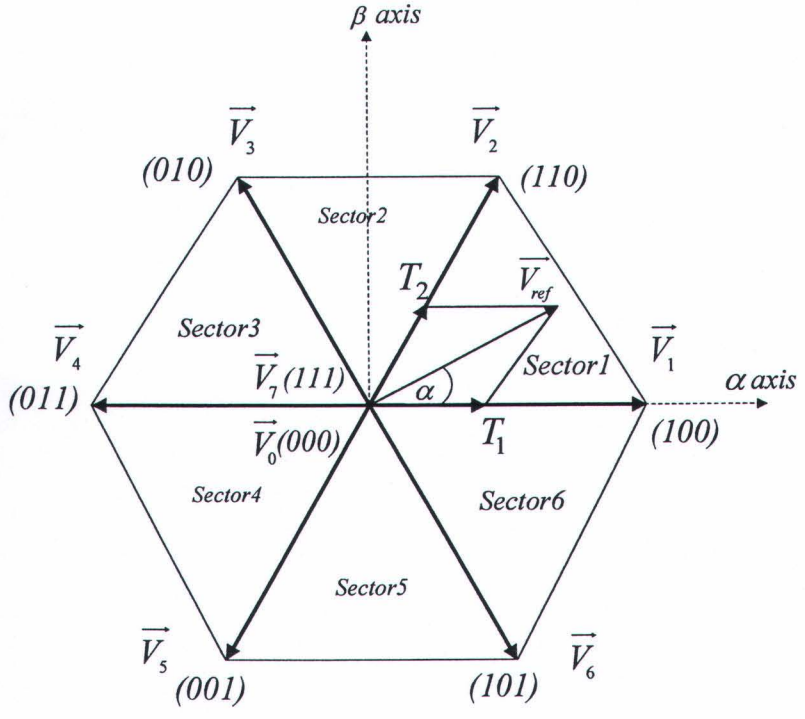
2.2.3.2.1 เวกเตอร์แรงดัน (Voltage Vector)

สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 6 ตัวในอินเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถสร้างเวกเตอร์แรงดันได้เป็น 8 เวกเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยเวกเตอร์ทำงาน (Active Vector) จำนวน 6 เวกเตอร์ และเวกเตอร์ศูนย์ (Zero Vector) จำนวน 2 เวกเตอร์ สวิตช์กำลัง 2 ตัวในกิ่งเดียวกันจะทำงานให้เกิดสองสถานะคือ สถานะ “0” เมื่อสวิตช์เปิดวงจร และสถานะ “1” เมื่อสวิตช์ปิดวงจร ซึ่งการสถานะของสวิตช์ตัวบนและตัวล่างจะมีสถานะตรงกันข้ามเสมอ การเปิดปิดของสวิตช์ทั้ง 3 ตัวบน ทำให้เกิดสถานะที่แตกต่างกันแปดสถานะที่เรียกว่า $\overrightarrow{V_0}$ ถึง $\overrightarrow{V_7}$ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และแสดงดังรูปที่ 2.13

ตารางที่ 2.2 รูปแบบสวิตช์แรงดันเฟสที่มอเตอร์และแรงดันเทียบจุดอ้างอิงศูนย์ (0) ของอินเวอร์เตอร์

Voltage Vector	Switching Vector			Line to neutral Voltage			Zero Reference Voltage		
	a	b	c	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	V_{A0}	V_{B0}	V_{C0}
$\vec{V}_0$	0	0	0	0	0	0	$-V_{DC}/2$	$-V_{DC}/2$	$-V_{DC}/2$
$\vec{V}_1$	1	0	0	2/3	-1/3	-1/3	$+V_{DC}/2$	$-V_{DC}/2$	$-V_{DC}/2$
$\vec{V}_2$	1	1	0	1/3	1/3	-2/3	$+V_{DC}/2$	$+V_{DC}/2$	$-V_{DC}/2$
$\vec{V}_3$	0	1	0	-1/3	2/3	-1/3	$-V_{DC}/2$	$+V_{DC}/2$	$-V_{DC}/2$
$\vec{V}_4$	0	1	1	-2/3	1/3	1/3	$-V_{DC}/2$	$+V_{DC}/2$	$+V_{DC}/2$
$\vec{V}_5$	0	0	1	-1/3	-1/3	2/3	$-V_{DC}/2$	$-V_{DC}/2$	$+V_{DC}/2$
$\vec{V}_6$	1	0	1	1/3	-2/3	1/3	$+V_{DC}/2$	$-V_{DC}/2$	$+V_{DC}/2$
$\vec{V}_7$	1	1	1	0	0	0	$+V_{DC}/2$	$+V_{DC}/2$	$+V_{DC}/2$

"0" = สวิตช์ตัวบนเปิด, "1" สวิตช์ตัวบนปิด (สวิตช์ตัวบนและตัวล่างมีสถานตรงกันข้ามเสมอ)



รูปที่ 2.13 สเปซเวกเตอร์ของแรงดัน

2.2.3.2.2 ขั้นตอนการทำสเปซเวกเตอร์มอดดูเลชั่น

- **ขั้นตอนที่ 1** ต้องทราบแรงดันสเตเตอร์ V_{as}, V_{bs}, V_{cs} ที่ต้องการจากส่วนควบคุม

$$V_{as} = V_{max}cos(\gamma) \tag{2.12}$$

$$V_{bs} = V_{max}cos(\gamma - 120) \tag{2.13}$$

$$V_{as} = V_{max}cos(\gamma - 240) \tag{2.14}$$

- **ขั้นตอนที่ 2** ทำการแปลงแรงดัน V_{as}, V_{bs}, V_{cs} ให้เป็นอยู่ในแกนอ้างอิง α, β โดยใช้ Clark Transformation และทำการหามุม γ จากรูป 2.14 (ก) สามารถหา $V_{\alpha s}$, $V_{\beta s}$ ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_{\alpha s} \\ V_{\beta s} \end{bmatrix} = \frac{2}{3}\begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix} \tag{2.15}$$

$$\left|\overrightarrow{V_{ref}}\right| = \sqrt{V_{\alpha s}^2 + V_{\beta s}^2} \tag{2.16}$$

$$\gamma = tan^{-1}\left(\frac{V_{\beta s}}{V_{\alpha s}}\right) = \omega t = 2\pi f t \tag{2.17}$$

เมื่อ f คือความถี่พื้นฐานของระบบ

- **ขั้นตอนที่ 3** เลือกเวกเตอร์ที่ใช้ในการสวิตช์ โดยจะพิจารณาว่า $\overrightarrow{V_{ref}}$ ตกอยู่ที่เซกเตอร์ใด (Sector) การเรียงลำดับของแรงดันเวกเตอร์ในแต่ละเซกเตอร์เป็นดังนี้

$$Sector1 = \overrightarrow{V_0}, \overrightarrow{V_1}, \overrightarrow{V_2}, \overrightarrow{V_7}$$

$$Sector2 = \overrightarrow{V_0}, \overrightarrow{V_3}, \overrightarrow{V_2}, \overrightarrow{V_7}$$

$$Sector3 = \overrightarrow{V_0}, \overrightarrow{V_3}, \overrightarrow{V_4}, \overrightarrow{V_7}$$

$$Sector4 = \overrightarrow{V_0}, \overrightarrow{V_5}, \overrightarrow{V_4}, \overrightarrow{V_7}$$

$$Sector5 = \overrightarrow{V_0}, \overrightarrow{V_5}, \overrightarrow{V_6}, \overrightarrow{V_7}$$

$$Sector6 = \overrightarrow{V_0}, \overrightarrow{V_1}, \overrightarrow{V_6}, \overrightarrow{V_7}$$

- **ขั้นตอนที่ 4** หาเวลาในการสวิตช์ที่เวกเตอร์นั้นๆ โดยหาความสัมพันธ์แรงดันเวกเตอร์และเวลาดังรูปที่ 2.14 (ข) ในตัวอย่างนี้จะพิจารณาในเซกเตอร์ที่ 1 เพื่อหา T_1, T_2

  - เมื่อแรงดันเวกเตอร์ $\overrightarrow{V_{ref}}$ อยู่ในเซกเตอร์ที่ 1 $(0 \le \gamma \le 60^\circ)$

$$\int_0^{T_Z} \overrightarrow{V_{ref}} dt = \int_0^{T_1} \overrightarrow{V_1} dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} \overrightarrow{V_2} dt + \int_{T_1+T_2}^{T_Z} \overrightarrow{V_0} dt \tag{2.18}$$

$$\therefore T_Z . \overrightarrow{V_{ref}} = (T_1 . \overrightarrow{V_1} + T_2 . \overrightarrow{V_2}) \tag{2.19}$$

$$T_z . \left|\overrightarrow{V_{ref}}\right| . \begin{bmatrix} \cos(\gamma) \\ \sin(\gamma) \end{bmatrix} = T_1 . \frac{2}{3} . V_{dc} . \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + T2 . \frac{2}{3} . V_{dc} \begin{bmatrix} \cos(60) \\ \sin(60) \end{bmatrix} \tag{2.20}$$

$$\therefore T_1 = T_Z . a . \frac{\sin(60-\gamma)}{\sin(60)} \tag{2.21}$$

$$\therefore T_2 = T_Z . a . \frac{\sin(\gamma)}{\sin(60)} \tag{2.22}$$

$$\therefore T_7 = T_8 = T_0 = T_Z - (T_1 + T_2) \tag{2.23}$$

$$T_Z = \frac{1}{f_Z}; a = \frac{\left|\overrightarrow{V_{ref}}\right|}{\frac{2}{3} V_{dc}} \tag{2.24}$$

  - เมื่อแรงดันเวกเตอร์ $\overrightarrow{V_{ref}}$ อยู่ในเซกเตอร์ที่อื่นๆ จะได้ว่า

$$\therefore T_1 = \frac{\sqrt{3} . T_Z . \left|\overrightarrow{V_{ref}}\right|}{V_{dc}} . \sin\left(60^\circ - \gamma + \left[(n-1)\right]60\right) \tag{2.25}$$

$$= \frac{\sqrt{3} . T_Z . \left|\overrightarrow{V_{ref}}\right|}{V_{dc}} . \sin\left(n.60^\circ - \gamma\right) \tag{2.26}$$

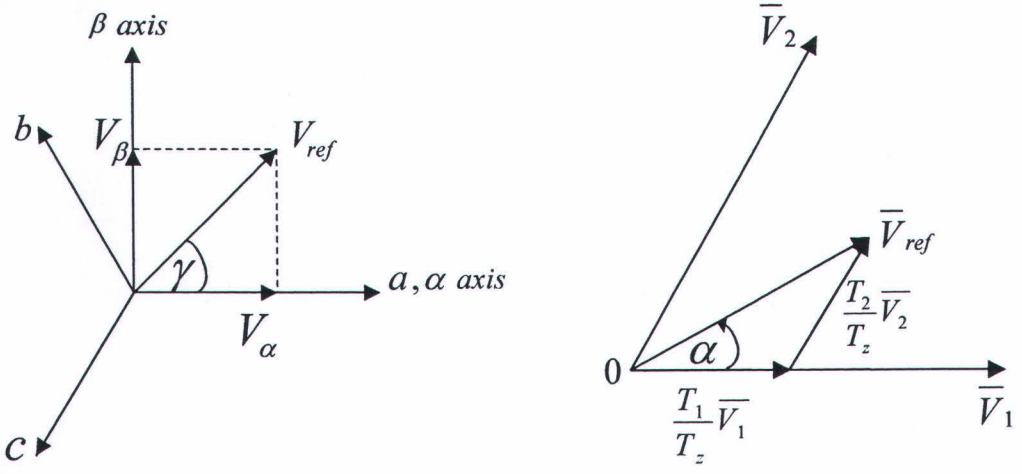
$$\therefore T_2 = \frac{\sqrt{3} . T_Z . \left|\overrightarrow{V_{ref}}\right|}{V_{dc}} . \sin\left(\gamma - (n-1).60\right) \tag{2.27}$$

$$\therefore T_7 = T_8 = T_0 = T_Z - (T_1 + T_2) \tag{2.28}$$

เมื่อ n คือเซกเตอร์ที่กำลังพิจารณา

T_Z คือเวลารวมในการสับสวิตช์

- **ขั้นตอนที่ 5** เขียนรูปแบบการสวิตช์ของเซกเตอร์ที่พิจารณา รูปที่ 2.15 แสดงรูปแบบการสวิตช์ของเทคนิคสเปซเวกเตอร์ในเซกเตอร์ที่ 1 สำหรับรูปที่ 2.16 ตัวอย่างแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์เมื่อเทียบกับจุดศูนย์

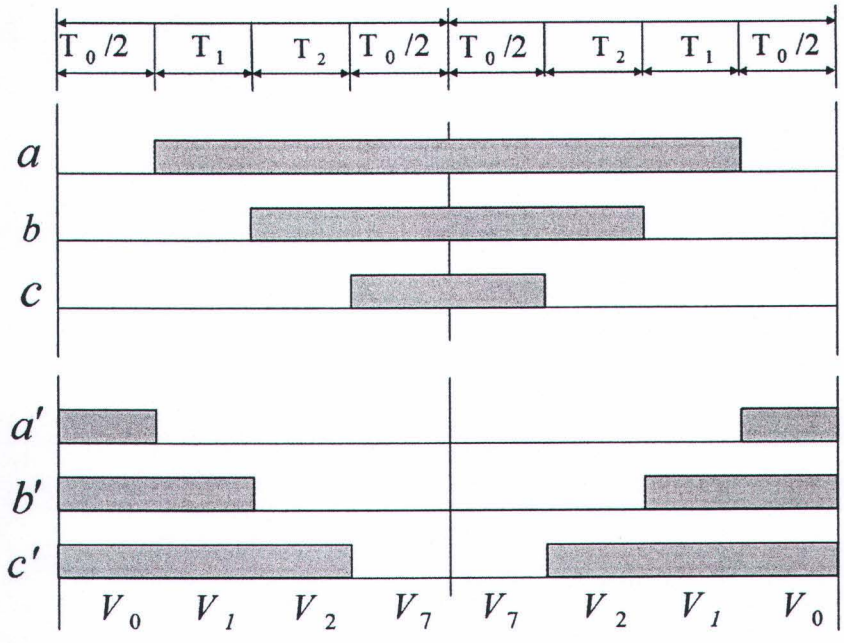


(ก) (ข)

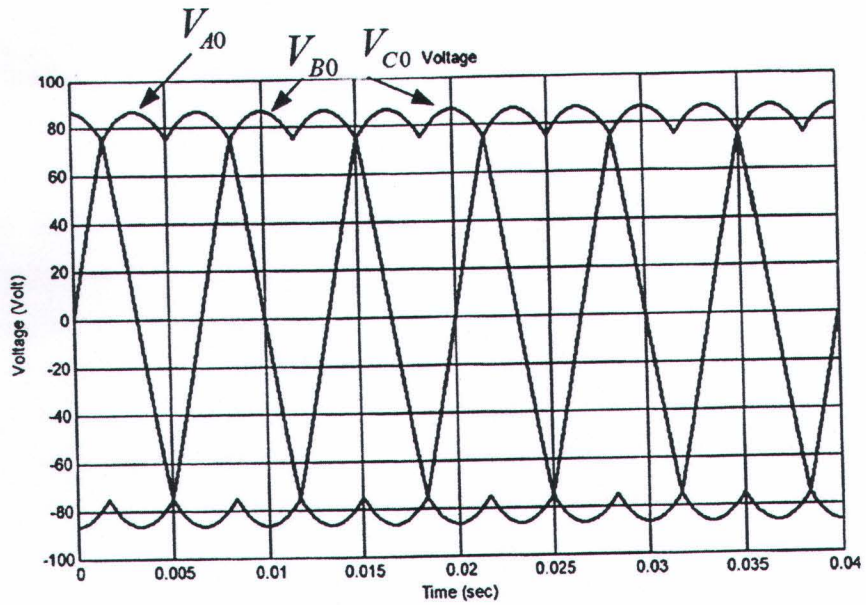
รูปที่ 2.14 แรงดันเวกเตอร์

(ก) แรงดันเวกเตอร์และส่วนประกอบของมันในแกน α,β เมื่อเทียบกับแกนอ้างอิงในแกน a,b,c

(ข) ความสัมพันธ์ของแรงดันเวกเตอร์กับเวลาในเซกเตอร์ที่ 1



รูปที่ 2.15 ลำดับการสวิตช์ของเทคนิคสเปซเวกเตอร์ ในเซกเตอร์ที่ 1



รูปที่ 2.16 แรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่เทียบกับจุดศูนย์เมื่อมีการสวิตช์แบบสเปซเวกเตอร์

2.3 โรงเรือนปิดปศุสัตว์

ปัจจุบันการเลี้ยงสัตว์นิยมทำกันในโรงเรือนปิดมากกว่าโรงเรือนเปิด เพราะสามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ตลอดจนควบคุมสภาวะอากาศที่เหมาะสมได้ อีกทั้งยังลดความเสี่ยงในการผลิตได้ และควบคุมคุณภาพให้มีมาตรฐานเดียวกันได้ง่าย จะเห็นได้ว่าโรงเรือนปิดปศุสัตว์มีประโยชน์อย่างมาก สำหรับกระบวนผลิตปศุสัตว์ ในหัวข้อย่อยนี้ได้อธิบายถึงรายละเอียด ความหมายและประโยชน์ของโรงเรือนปิด โรงเรือนและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสำหรับควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศในโรงเรือนปิด และสภาวะการเลี้ยงปศุสัตว์ที่เหมาะสม

2.3.1 ความหมายและประโยชน์ของโรงเรือนปิด

ตามระเบียบกรมปศุสัตว์ พ.ศ. 2542 "โรงเรือนปิด" หมายถึง โรงเรือนที่สามารถควบคุมสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น การระบายอากาศ และแสงสว่าง ให้เหมาะสมกับความเป็นอยู่ของสัตว์ปีก สามารถป้องกันนกและแมลงได้ ส่วนสำหรับประโยชน์ของโรงเรือนปิดที่สำคัญเป็นดังนี้

1. สามารถควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น การระบายอากาศและแสงสว่างในโรงเรือนได้
2. ลดความเครียดของสัตว์ในโรงเรือน อันเนื่องมาจากความร้อน
3. ป้องกันเชื้อโรคที่แพร่มาทางอากาศ

2.3.2 โรงเรือนและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสำหรับควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศ

โรงเรือนและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสำหรับควบสภาวะอากาศและระบายอากาศในโรงเรือนนั้น อุปกรณ์ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2.17 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. โรงเรือน คือ สถานที่อาศัยของสัตว์ ควรก่อสร้างด้วยวัสดุถาวร จะต้องมีลักษณะเหมาะสมกับจำนวนสัตว์

2. พัดลมระบายอากาศ เป็นพัดลมชนิดดูดอากาศที่มีมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นตัวขับเคลื่อน พัดลมนี้จะติดตั้งอยู่ท้ายโรงเรือน ทำหน้าที่ดูดอากาศจากต้นโรงไปยังท้ายโรง

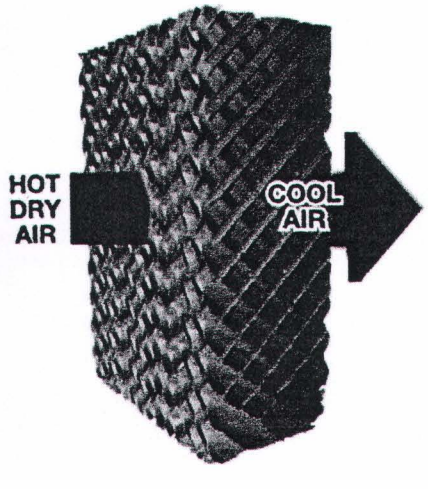
3. แผ่นระเหยน้ำ (Cooling Pad) ทำจากกระดาษหรือวัสดุสังเคราะห์ แผ่นระเหยน้ำนี้จะเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้อุณหภูมิในโรงเรือนลดลงโดยอาศัยน้ำที่ไหลผ่าน การติดตั้งควรติดให้อยู่ตรงข้ามกับด้านที่มีพัดลมระบายอากาศอยู่

4. ปั๊มน้ำ มีหน้าที่สูบน้ำจากที่พักน้ำข้างโรงไปยังแผ่นระเหยน้ำ (Cooling pad)

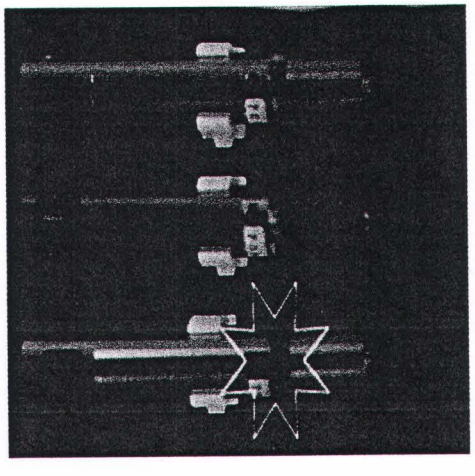
5. อุปกรณ์สำหรับควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศ คืออุปกรณ์ควบคุมพัดลมระบายอากาศและควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำ เพื่อให้ได้สภาวะอากาศที่เหมาะสมตามที่ต้องการควบคุม

6. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เป็นตัววัดอุณหภูมิภายในและนอกโรงเรือน เพื่อส่งค่าอุณหภูมิไปยังอุปกรณ์สำหรับควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศ

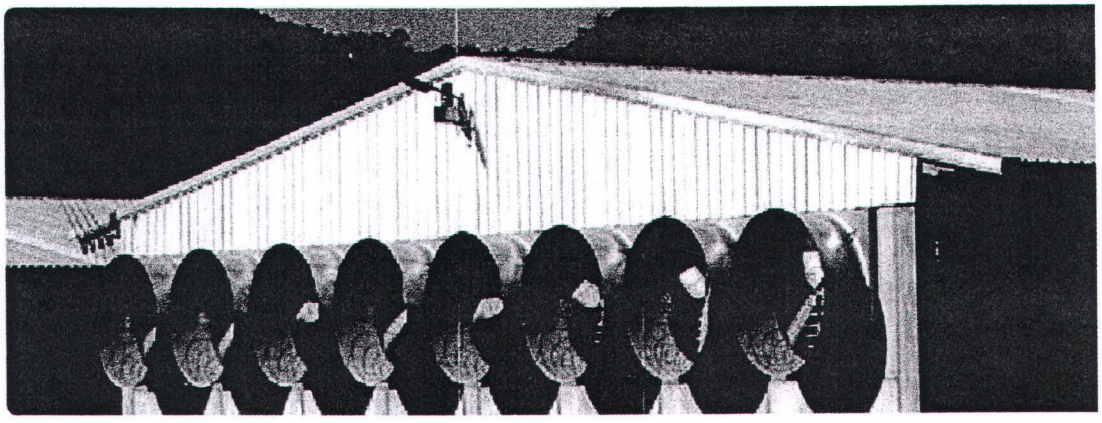
7. เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ เป็นตัววัดความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนปิด เพื่อส่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ไปยังอุปกรณ์สำหรับควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.17 โรงเรือนและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสำหรับการควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศ
(ก) แผ่นระเหยน้ำ (Cooling Pad) [23]
(ข) ตัวตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น [24]
(ค) พัดลมระบายอากาศและโรงเรือนปิดปศุสัตว์ [25]

2.3.3 สภาวะการเลี้ยงปศุสัตว์ที่เหมาะสม [26, 27]

สภาวะการเลี้ยงปศุสัตว์ที่เหมาะสมนั้น จะแตกต่างกันในสัตว์แต่ละประเภท ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสัตว์ 2 ประเภท คือ ประเภทสัตว์ปีก เช่น ไก่ เป็ด ห่าน นกพิราบ นกกระทา เป็นต้น และสัตว์สี่เท้า คือ สุกร ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสม คือ พื้นที่ของการเลี้ยง การหมุนเวียนของอากาศ ปริมาณฝุ่นละออง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณแก๊สและแสงสว่าง องค์ประกอบเหล่านี้มีรายละเอียดดังนี้

2.3.3.1 พื้นที่ของการเลี้ยง

พื้นที่การเลี้ยงต้องมีเพียงพอต่อการอยู่ของสัตว์ หากพื้นที่น้อยไปก็จะทำให้เกิดความไม่สบายในการอยู่ร่วมกัน เกิดการเบียดกัน พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไก่และสุกรเป็นดังนี้

<u>สำหรับไก่เนื้อ :</u>

*โรงเรือนระบบเปิด – น้ำหนักไก่เป็นรวมไม่เกิน 20 กิโลกรัม ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร
โรงเรือนระบบปิด – น้ำหนักไก่เป็นรวมไม่เกิน 34 กิโลกรัม ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร

*โรงเรือนเปิด คือ โรงเรือนที่ควบคุมสภาวะแวดล้อมของสัตว์ปีกตามธรรมชาติ และอุณหภูมิจะแปรไปตามสภาพของอากาศรอบโรงเรือน ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

สำหรับสุกร :

- สุกรพ่อพันธุ์ ไม่น้อยกว่า 4.4 ตารางเมตร/ตัว
- สุกรแม่พันธุ์ ไม่น้อยกว่า 1.32 ตารางเมตร/ตัว
- คอกคลอด ไม่น้อยกว่า 3.6 ตารางเมตร/ตัว
- ซองคลอด ไม่น้อยกว่า 1.32 ตารางเมตร/ตัว
- กล่องกก ไม่น้อยกว่า 0.04 ตารางเมตร/ตัว
- สุกรอนุบาล ไม่น้อยกว่า 0.30 ตารางเมตร/ตัว
- สุกรรุ่น – ขุน ไม่น้อยกว่า 1 ตารางเมตร/ตัว

2.3.3.2 การหมุนเวียนอากาศ

การหมุนเวียนอากาศในโรงเรือน คือ การถ่ายเอาอากาศเก่าภายในโรงเรือนออกนอกโรง แล้วนำอากาศใหม่เข้ามาแทนที่ โดยใช้พัดลมเป็นตัวถ่ายเทอากาศเป็นหลัก เพื่อให้สัตว์ภายในโรงเรือนได้รับอากาศที่สดชื่น (Fresh Air) และจะเกิดความสบายตัวแก่สัตว์ ข้อกำหนดการหมุนเวียนอากาศสำหรับไก่เนื้อและสุกรเป็นดังนี้

สำหรับไก่เนื้อ :

อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในโรงเรือนปิดทั้งหมด (cfm) แบ่งเป็นในช่วงอากาศหนาวอย่างน้อย 5 ถึง 8 นาที และในช่วงอากาศปกติอย่างน้อย 45 วินาที ถึง 1 นาที 15 วินาที

สำหรับสุกร : ข้อกำหนดการหมุนเวียนอากาศภายในโรงเรือนแบ่งตามชนิดของสุกร ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสมภายในโรงเรือนสำหรับสุกร (cfm/ตัว)

ชนิดสุกร	น้าหนัก(กก.)	อากาศหนาว (cfm/ตัว)	อากาศร้อน (cfm/ตัว)
แม่สุกรเลี้ยงลูก	200	80	500
แม่สุกรอุ้มท้อง	160	40	150
พ่อ – แม่พันธุ์	200	50	300
ลูกสุกร	6 – 15	10	25
สุกรอนุบาล	16 – 37	15	35
สุกรรุ่น	38 – 75	24	75
สุกรขุน	76 – 110	35	120

2.3.3.3 ฝุ่นละออง

สำหรับไก่เนื้อ : ปริมาณฝุ่นละอองไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร

สำหรับสุกร : ปริมาณฝุ่นละอองไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร

2.3.3.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เหมาะสมของสัตว์เลี้ยงในโรงเรือนจะไม่เท่ากันในแต่ละช่วงอายุ ความเหมาะสมของอุณหภูมิที่เหมาะสมจึงแบ่งออกเป็นดังนี้

สำหรับไก่เนื้อ :

- ไก่เล็ก อยู่ในช่วง 32 – 33 องศาเซลเซียส
- ไก่ใหญ่ อยู่ในช่วง 20 – 30 องศาเซลเซียส

สำหรับสุกร :

- ลูกสุกรแรกเกิดถึง 3 สัปดาห์ ประมาณ 32 – 35 องศาเซลเซียส
- สุกรอนุบาล ประมาณ 29 – 34 องศาเซลเซียส
- สุกรรุ่น – ขุน ประมาณ 26 – 30 องศาเซลเซียส
- สุกรพ่อ – แม่พันธุ์ ประมาณ 24 – 30 องศาเซลเซียส

2.3.3.5 ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) คือ ค่าความหนาแน่นของไอน้ำในอากาศคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นอิ่มตัวของไอน้ำ ณ อุณหภูมิขณะนั้น กล่าวคือ

ความชื้นสัมพัทธ์ = (ความหนาแน่นของไอน้ำในอากาศ / ความหนาแน่นอิ่มตัวของไอน้ำ) x 100%

ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดคือ 100% ในช่วงฤดูร้อนความชื้นสัมพัทธ์จะสูงถึง 90% ส่วนในช่วงฤดูหนาวความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำลงกว่า 40% ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมเป็นไก่เนื้อและสุกรเป็นดังนี้

สำหรับไก่เนื้อ : ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 50 – 80 %

สำหรับสุกร : ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60 – 80 %

2.3.3.6 ปริมาณแก๊ส

ในโรงเรือนที่มีการเลี้ยงสัตว์เป็นจำนวนมากนั้น ย่อมมีมูลสัตว์มากตามไปด้วย ซึ่งมูลสัตว์นี้เองเป็นสาเหตุให้เกิดแก๊สต่างๆ เช่น แก๊สแอมโมเนีย แก๊สคาร์บอนมอน็อกไซด์ และแก๊สคาร์บอนไดอ็อกไซด์ เป็นต้น แก๊สเหล่านี้เป็นผลเสียแก่สัตว์เลี้ยงในโรงเรือนมีมากเกินไป นอกจากยังเป็นผลเสียต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในอุปกรณ์ควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศในโรงเรือนปิดด้วย ข้อจำกัดของแก๊สเหล่านี้เป็นดังนี้

สำหรับไก่เนื้อ :

- แอมโมเนีย ไม่เกิน 20 PPM
- คาร์บอนมอน็อกไซด์ ไม่เกิน 50 PPM
- คาร์บอนไดอ็อกไซด์ ไม่เกิน 5,000 PPM

สำหรับสุกร :

สำหรับแก๊สที่เกิดจากมูลสัตว์สุกร ตามระเบียบกรมปศุสัตว์ ว่าด้วยการคุ้มครองและดูแลสวัสดิ์ภาพสุกร ณ สถานที่เลี้ยง พ.ศ. 2544 พิจารณาเฉพาะแก๊สแอมโมเนีย ซึ่งมีข้อกำหนดดังนี้

- เมื่อวัดจากระดับพื้นคอกสูงขึ้นมา 120 cm แก๊สแอมโมเนีย ไม่เกิน 10 PPM
- เมื่อวัดจากระดับพื้นคอกสูงขึ้นมา 20 cm แก๊สแอมโมเนีย ไม่เกิน 20 PPM

2.3.3.7 แสงสว่าง (โรงเรือนระบบเปิด และโรงเรือนระบบปิด)

แสงสว่างเป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมากโดยเฉพาะไก่ แสงจะกระตุ้นให้เกิดโฮโมนในไก่เพื่อให้เกิดการเจริญเติบโตของไก่และผลิตไข่ออกมา แต่การให้แสงแก่ไก่ ก็จะต้องมีชั่วโมงการให้แสงและความเข้มแสงที่เหมาะสม ข้อจำกัดของการให้แสงสำหรับไก่เนื้อและสุกรเป็นดังนี้

สำหรับไก่เนื้อ :

- ความเข้มของแสงค่าเฉลี่ย ไม่น้อยกว่า 10 Lux ที่ระดับตัวไก่
- มีระยะมืดให้ไก่ได้พักผ่อนอย่างน้อยวันละ 1 ชั่วโมง

สำหรับสุกร :

- ความเข้มข้นของแสงประมาณ 40 – 80 Lux และไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง ใน 1 วัน

2.4 วิธีการควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศในโรงเรือนปิดปศุสัตว์

ในหัวข้อนี้จะอธิบายหลักการควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศในโรงเรือนปิดโดยวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ การควบคุมด้วยวิธีเปิด-ปิดเป็นวิธีที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ในปัจจุบัน ส่วนสำหรับวิธีอินเวอร์เตอร์เป็นวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ทั้งสองวิธีการควบคุม มีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 การควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศในโรงเรือนปิดโดยวิธีเปิด-ปิด (ON-OFF Control)

วิธีการควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศในโรงเรือนปิดปศุสัตว์โดยวิธีเปิด-ปิดนี้ เป็นวิธีการที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ในปัจจุบัน ซึ่งมีข้อเสียหลัก 3 ข้อด้วยกัน คือ

(1) เป็นวิธีการควบคุมที่ทำให้เกิดการแก่วงของอุณหภูมิ หรือ ความชื้นค่อนข้างชัดเจน
(2) เป็นวิธีการที่สูญเสียพลังงานไฟฟ้าอย่างมาก เนื่องจากกระแสช่วงสตาร์ทที่สูง และการทำงานของมอเตอร์พัดลมที่ 50 Hz ตลอดเวลา
(3) เป็นวิธีการที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วลมได้

สำหรับข้อดีของระบบเปิด-ปิด มีดังนี้

(1) การติดตั้งระบบควบคุมและอุปกรณ์ต่างๆ ทำได้ง่าย
(2) การใช้งานไม่ซับซ้อน สะดวกแก่ผู้ใช้งาน
(3) การแก้ไขและซ่อมบำรุงระบบทำได้ง่าย

เพื่อความเข้าชัดเจนยิ่งขึ้นเกี่ยวกับข้อเสียหลักดังกล่าวของวิธีการควบคุมแบบนี้ ในข้อย่อยจะอธิบายโครงสร้างและหลักการทำงานของวิธีเปิด-ปิด ดังนี้

2.4.1.1 โครงสร้างของวิธีเปิด-ปิด

ระบบควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศของวิธีเปิด-ปิด มีส่วนประกอบที่สำคัญแสดงดังรูปที่ 2.18 ดังนี้

1. **ตัวควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิด (ON-OFF Controller)** มีหน้าประมวลผลให้ระบบทำงานตามโปรแกรมที่ผู้ใช้งานตั้งค่าไว้ เพื่อที่จะควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศและปั๊มน้ำ ซึ่งจะสั่งงานไปยังชุดแมกเนติกคอนแทคเตอร์อีกครั้งหนึ่ง

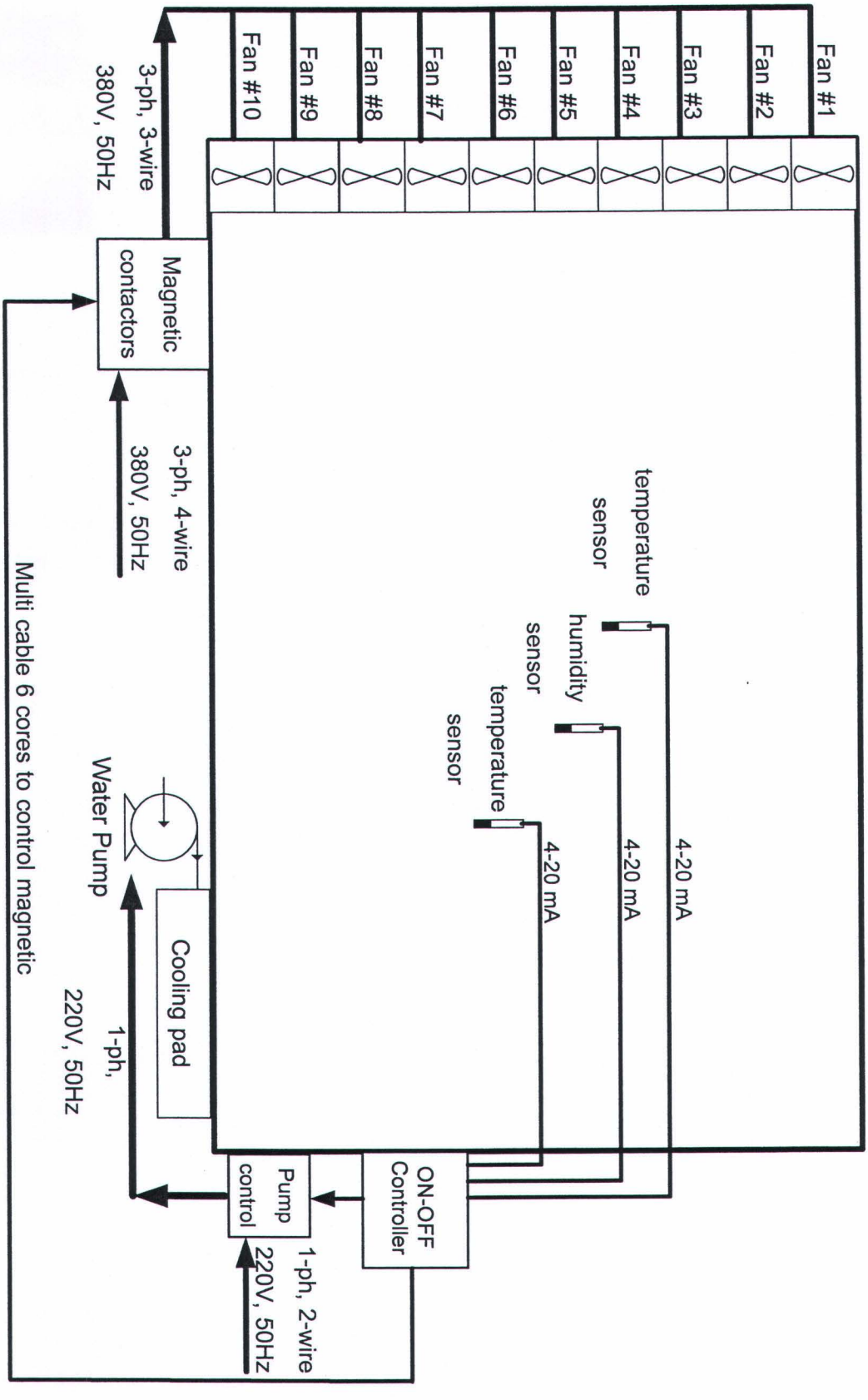
2. **ชุดแมกเนติกคอนแทคเตอร์** (Magnetic Contactor) มีหน้าที่เปิด-ปิดเพื่อที่จะจ่ายแรงดัน 380V (rms) 50 Hz ให้แก่มอเตอร์พัดลมระบายอากาศ ตามคำสั่งของตัวควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศ

3. **ตัวตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น** (Temperature and Humidity Sensor) ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน แล้วส่งสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA ไปยังตัวควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศแบบ-ปิด

4. **มอเตอร์ปั๊มน้ำ** (Pump Motor) จะทำงานและหยุดทำงานตามคำสั่งของเครื่องควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศ มีหน้าที่สูบน้ำจากบ่อไปยังแผ่นระเหยน้ำ (Cooling Pad) ซึ่งที่มอเตอร์ปั๊มน้ำนี้จะใช้แรงดันด้าน 220V 50 Hz

5. **แผ่นระเหยน้ำ** (Cooling Pad) รับน้ำมาจากปั๊มน้ำเข้าไปที่ด้านบนและไหลลงด้านล่างของแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งแผ่นระเหยน้ำนี้เอง จะทำให้อากาศที่ร้อนภายในโรงเรือนลดลง โดยเกิดการระเหยของน้ำ แล้วน้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ ในส่วนของไอน้ำจะเข้าไปจับกับความร้อน พัดลมระบายอากาศที่อยู่ท้ายโรงเรือน จะทำหน้าที่พาไอน้ำที่จับกับความร้อนออกนอกโรงเรือน

6. **พัดลมระบายอากาศ** (Fan Motor) จะทำงานตามคำสั่งของตัวควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศ เพื่อให้พัดลมนี้พาไอน้ำที่จับกับความร้อนออกไปนอกโรงเรือน เพื่อลดอุณหภูมิในโรงเรือน



รูปที่ 2.18 โครงสร้างการควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศโดยวิธีเปิด-ปิด

2.4.1.2 หลักการทำงานของวิธีเปิด-ปิด

การทำงานของระบบควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศโดยวิธีเปิด-ปิดนี้ แบ่งการทำงานออกเป็น 2 โหมดด้วยกันคือ โหมดการควบคุมการระบายอากาศ (Ventilation Control) และโหมดการควบคุมความชื้น (Humidity Control) ทั้ง 2 โหมดมีการควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศและปั๊มน้ำ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.19 รูปที่ 2.20 และ รูปที่ 2.21 ตามลำดับ การทำงานของทั้ง 2 โหมดมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1.2.1 โหมดการควบคุมการระบายอากาศ (Ventilation Control mode)

ระบบจะทำงานในโหมดนี้ก็ต่อเมื่อความชื้นที่วัดได้ในโรงเรือนปิดน้อยกว่าความชื้นที่ตั้งไว้ (Measured Humidity < Set point Humidity) พัดลมระบายอากาศจะถูกเปิดหรือปิดด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 380 V 50 Hz โดยมีแมกเนติกคอนแทคเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของพัดลม จำนวนการทำงานของพัดลมจะเป็นตามผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือนปิดกับอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม ในรูปที่ 2.19 แสดงสถานะของการทำงานพัดลมระบายอากาศ ในโหมดนี้พัดลมจะทำงานตามเส้นทึบ การทำงานในโหมดนี้จะอธิบายตามการทำงานของพัดลมและปั๊มน้ำดังนี้

<u>(1) การทำงานของพัดลม :</u> การทำงานของพัดลมระบายอากาศในโหมดนี้แบ่งออกเป็น 2 กรณีดังนี้

(ก) กรณีที่อุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือนมีค่ามากกว่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม

ในกรณีจำนวนพัดลมที่ทำงาน จะทำตามผลต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมและอุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือน ถ้าหากอุณหภูมิทั้งสองต่างกันมาก จำนวนพัดลมก็จะทำงานมากตามไปด้วย ในทางตรงกันข้ามผลต่างอุณหภูมิทั้งสองน้อยลง จำนวนพัดลมก็จะทำงานมากตามไปด้วย

ตัวอย่างการทำงานของพัดลมระบายอากาศในกรณีนี้

ค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม (Set point temperature)	= 26 ° C
ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือน (Measured temperature)	= 30 ° C
ค่าผลต่างของอุณหภูมิทั้งสอง (Temperature error)	= 30 - 26 = 4 ° C
ขั้นการทำงานของระบบ (Number Step)	= Step 4
จำนวนพัดลมที่ทำงาน (Number of Fan motor)	= 4 ตัว

(ข) กรณีที่อุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือนมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม

ในกรณีนี้พัดลมจะทำงานตัวเดียวเท่านั้น เรียกการควบคุมนี้ว่า “Minimum Ventilation Control” พัดลมดังกล่าวที่ทำงานนี้ สามารถเลือกให้ทำงานได้ 2 แบบ คือ พัดลมทำงานตลอดเวลา และพัดทำงาน

เป็นแบบพลัสวิดมอดดูเลชั่น (PWM) กล่าวคือ ทำงานเปิดและปิด สามารถตั้งเวลาเปิดและปิดของพัดลมตามความเหมาะสม

(2) การทำงานของปั๊มน้ำ : การทำงานของปั๊มในโหมดระบายอากาศนี้ แสดงดังรูปที่ 2.20 ปั๊มน้ำจะทำงานหรือหยุดทำงานตามผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองที่ผู้ใช้งานตั้งไว้ คำนิยามของการทำงานของปั๊มน้ำเป็นดังนี้

- อุณหภูมิปั๊มน้ำทำงาน (Temp pump ON) คือค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือนกับอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม ที่ต้องการให้ปั๊มน้ำทำงาน
- อุณหภูมิปั๊มน้ำหยุดทำงาน (Temp pump OFF) คือค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือนและอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม ที่ต้องการให้ปั๊มน้ำหยุดทำงาน

ตัวอย่างการทำงานของปั๊มน้ำ

ค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม (Set point Temperature)	= 24 C°
ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือน (Measured temperature)	= 30 C°
ค่าผลต่างของอุณหภูมิทั้งสอง (Temperature error)	= 30-24 C°
อุณหภูมิปั๊มทำงาน (Temp Pump ON)	= 6 C°
อุณหภูมิปั๊มหยุดทำงาน (Temp Pump OFF)	= 4 C°

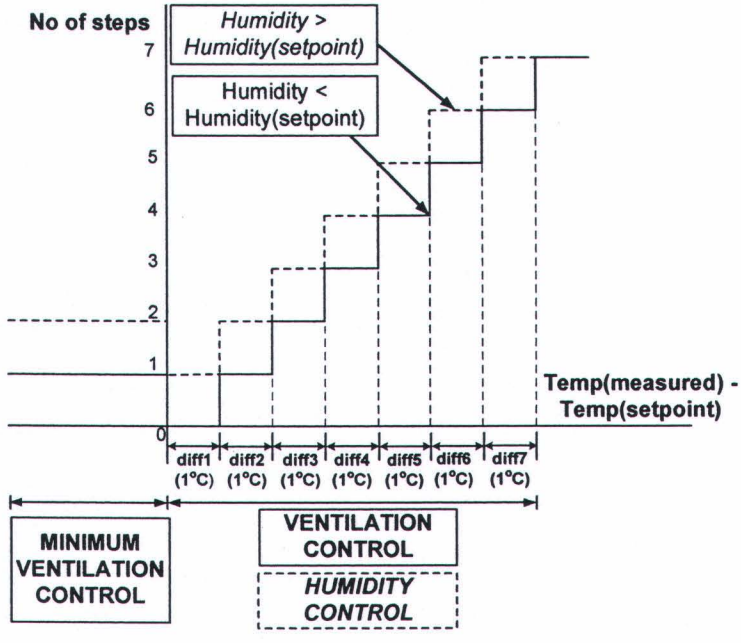
ปั๊มน้ำจะเริ่มทำงาน(Pump ON) ทันทีเมื่อผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองเท่ากับ 6 ° C ในขณะที่ปั๊มทำงานสามารถเลือกการทำงานของปั๊มได้เป็น 2 แบบคือ ปั๊มทำงานตลอดและปั๊มทำงานเป็นแบบพลัสวิดมอดดูเลชั่น (PWM) ตั้งเวลาเปิดและปิดปั๊มได้

2.4.1.2.2 โหมดการควบคุมความชื้น (Humidity Control mode)

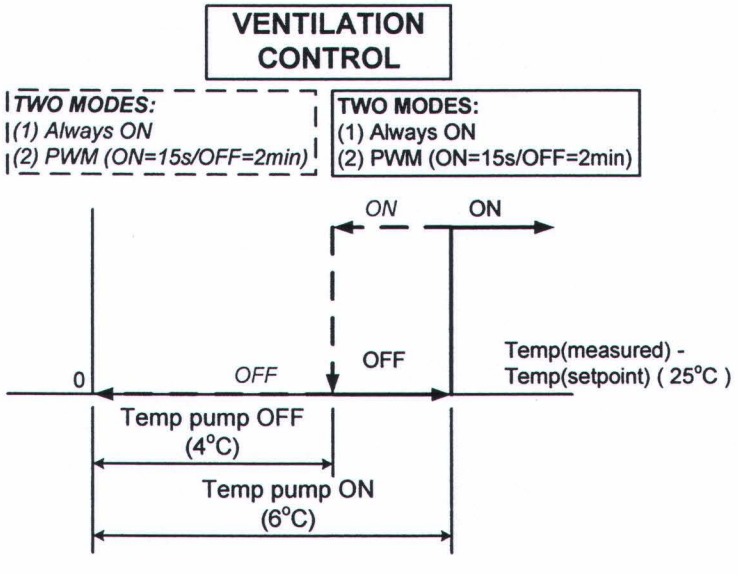
ระบบจะทำงานในโหมดนี้ก็ต่อเมื่อความชื้นที่วัดได้ในโรงเรือนปิดมากกว่าความชื้นที่ต้องการควบคุม (Measured Humidity > Set point Humidity) การทำงานในโหมดนี้จะอธิบายตามการทำงานของพัดลมและปั๊มน้ำดังนี้

(1) การทำงานของพัดลม : การทำงานของพัดลมในโหมดควบคุมความชื้นนี้ จะทำงานตามเส้นประ ที่อยู่เหนือเส้นทึบ ในรูปที่ 2.19 จำนวนการทำงานของพัดลม จะทำตามผลต่างของอุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือนและอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมเหมือน ในโหมดควบคุมระบายอากาศ (Ventilation Control mode) แต่จำนวนพัดลมในโหมดนี้จะทำงานมากกว่าจำนวนพัดลมในโหมดควบคุมระบายอากาศอยู่ 1 ตัว เช่น ผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองเท่า 4 °C ในโหมดควบคุมการระบายอากาศพัดลมจะทำงาน 4 ตัว แต่ในโหมดควบคุมความชื้นพัดลมจะทำงาน 5 ตัว เป็นต้น

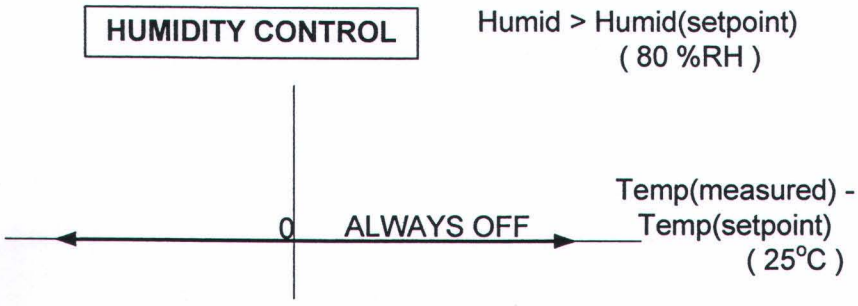
(2) การทำงานของปั๊มน้ำ : การทำงานของปั๊มน้ำในโหมดควบคุมความชื้นนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.21 เนื่องจากความชื้นที่วัดได้มากกว่าความชื้นที่ต้องการควบคุมแล้ว ปั๊มน้ำจะหยุดทำงานตลอดเวลาที่ยังอยู่ในโหมดนี้ เพื่อไม่ให้เกิดความชื้นในโรงเรือนเพิ่มขึ้นอีก



รูปที่ 2.19 รูปแบบการควบคุมพัดลมระบายอากาศของวิธีเปิด-ปิด



รูปที่ 2.20 การทำงานของปั๊มน้ำในโหมดควบคุมการระบายอากาศ (VENTILATION CONTROL)



รูปที่ 2.21 การทำงานของปั๊มน้ำในโหมดควบคุมความชื้น (HUMIDITY CONTROL)

2.4.2 การควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศภายในโรงเรือนปิดโดยวิธีที่ใช้อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ (The proposed inverter method)

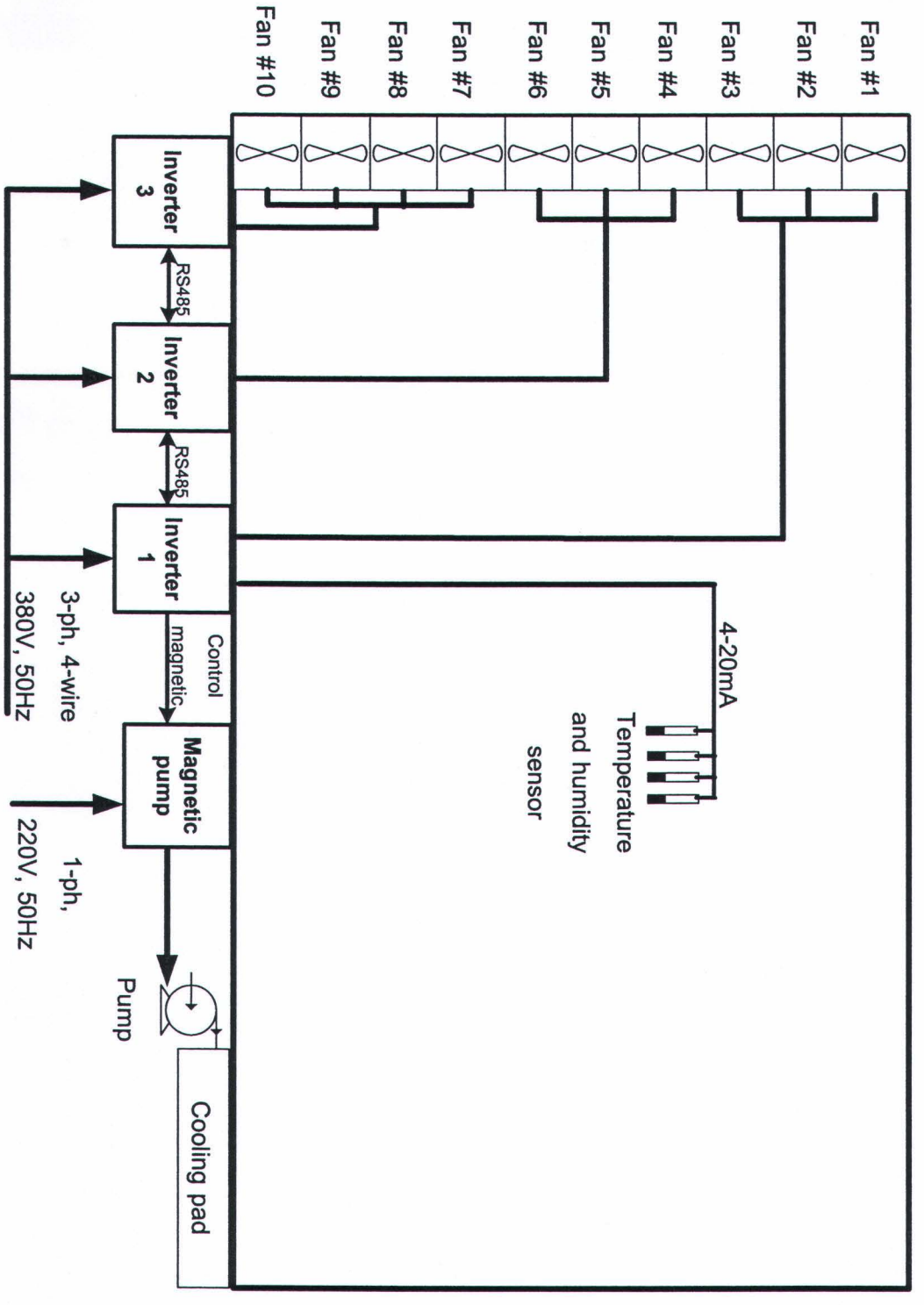
วิธีการควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศในโรงเรือนปิดปศุสัตว์โดยวิธีใช้อินเวอร์เตอร์นี้เป็นวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ในหัวข้อนี้ได้อธิบายถึงโครงสร้างและหลักการการควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศของวิธีดังกล่าวนี้ดังต่อไปนี้

2.4.2.1 โครงสร้างของวิธีใช้อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

ส่วนประกอบในโครงสร้างระบบควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศของวิธีใช้อินเวอร์เตอร์แสดงดังรูปที่ 2.22 ซึ่งส่วนใหญ่จะเหมือนกับวิธีแบบเปิด-ปิดได้แก่ ตัวตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น มอเตอร์ปั๊มน้ำ แผ่นระเหยน้ำ และพัดลมระบายอากาศ ซึ่งได้อธิบายการทำงานของแต่ละส่วนไว้ในหัวข้อ 2.4.1.1 และมีเพียงบางส่วนประกอบที่แตกต่างจากวิธีเปิด-ปิด และได้อธิบายรายละเอียดไว้ดังนี้

1. **อินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศ**(Inverter) จำนวน 3 เครื่อง ประกอบไปด้วย อินเวอร์เตอร์ตัวหลัก 1 ตัว (Master Inverter) ที่มีตัวตรวจวัดอุณหภูมิกับความชื้นต่ออยู่ และอินเวอร์เตอร์รอง 2 ตัว (Slave Inverter) อินเวอร์เตอร์เหล่านี้มีหน้าที่ประมวลผลให้ระบบทำงานตามโปรแกรมที่ผู้ใช้งานตั้งค่าไว้ เพื่อที่จะควบคุมความเร็วพัดลมระบายอากาศและควบคุมการเปิดหรือปิดของปั๊มน้ำ อินเวอร์เตอร์ทั้ง 3 เครื่อง ติดต่อสื่อสารกันด้วยระบบ RS 485 โดยอินเวอร์เตอร์ตัวหลักจะส่งคำสั่งความเร็วที่ต้องควบคุมมอเตอร์ไปยังอินเวอร์เตอร์ตัวรองทั้ง 2 ตัว เช่น อินเวอร์เตอร์ตัวหลักควบคุมความเร็วมอเตอร์พัดลมที่ 50% อินเวอร์เตอร์ตัวหลักนี้ก็จะส่งคำสั่งให้อินเวอร์เตอร์ตัวรองทั้ง 2 ตัว ให้ควบคุมความเร็วมอเตอร์พัดลมที่ 50% ด้วย

2. **ตัวตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น** (Temperature and Humidity Sensors) ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน แล้วส่งสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA ไปยังอินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศ (Inverter)



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของระบบควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศโดยวิธีใช้อินเวอร์เตอร์

2.4.2.3 หลักการทำงานของวิธีใช้อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

การทำงานของระบบควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศโดยวิธีใช้อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้ แบ่งการทำงานออกเป็น 2 โหมดด้วยกันคือ โหมดการควบคุมการระบายอากาศ (Ventilation Control) และโหมดการควบคุมความชื้น (Humidity Control) เหมือนกับการควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศโดยวิธีเปิด-ปิด และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.2.3.1 โหมดการควบคุมการระบายอากาศ (Ventilation Control mode)

เงื่อนไขการทำงานในโหมดนี้ก็คือความชื้นที่วัดได้ในโรงเรือนปิดน้อยกว่าความชื้นที่ตั้งไว้ (Measured Humidity < Set point Humidity) พัดลมระบายอากาศจะถูกควบคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์ตามรูปแบบในรูปที่ 2.23 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของความเร็วพัดลมระบายอากาศกับผลต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือนและอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม ในโหมดนี้พัดลมจะทำงานตามเส้นทึบ การทำงานในโหมดนี้จะอธิบายตามการทำงานของพัดลม ส่วนการทำงานของปั๊มน้ำก็เหมือนกับในวิธีการเปิด-ปิด จึงไม่ขออธิบายการทำงานของปั๊มซ้ำอีก

<u>การทำงานของพัดลม</u>

การทำงานของพัดลมระบายอากาศในโหมดนี้แบ่งออกเป็น 2 กรณีดังนี้

(ก) กรณีที่อุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือนมีค่ามากกว่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม

อินเวอร์เตอร์จะควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้เป็นไปตามผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือนและอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม กล่าวคือถ้าหากอุณหภูมิทั้งสองต่างกันมาก ความเร็วมอเตอร์พัดลมก็จะมากตามไปด้วย ในทางตรงกันข้ามผลต่างอุณหภูมิทั้งสองน้อยลง ความเร็วมอเตอร์พัดลมก็จะน้อยลงไปด้วย

ตัวอย่างการทำงานของพัดลมระบายอากาศในกรณีนี้

ค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม (Set point temperature)	= 26 C°
ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือน (Measured temperature)	= 29 C°
ค่าผลต่างของอุณหภูมิทั้งสอง (Temperature error)	= 3 C°
ย่านอุณหภูมิผลต่าง (DiffTemp)	= 9 C°
ความเร็วที่มอเตอร์ทำงาน (Speed)	= 48 %

(ข) กรณีที่อุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือนมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม

ในกรณีมอเตอร์พัดลมจะถูกลดความเร็วลงให้ต่ำสุดตามที่ผู้ใช้งานตั้งค่าไว้ เรียกการควบคุมในช่วงนี้ว่า "Minimum Ventilation Control" เช่น ในรูปที่ 2.23 ค่า "Minimum Ventilation Control" ตั้งไว้ที่ 22% เมื่ออุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือนมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม มอเตอร์พัดลมก็จะถูกลดความเร็วให้อยู่ที่ 22% ค่า "Minimum Ventilation Control" สามารถปรับตั้งได้ตามความเหมาะสม

2.4.2.3.2 โหมดการควบคุมความชื้น (Humidity Control mode)

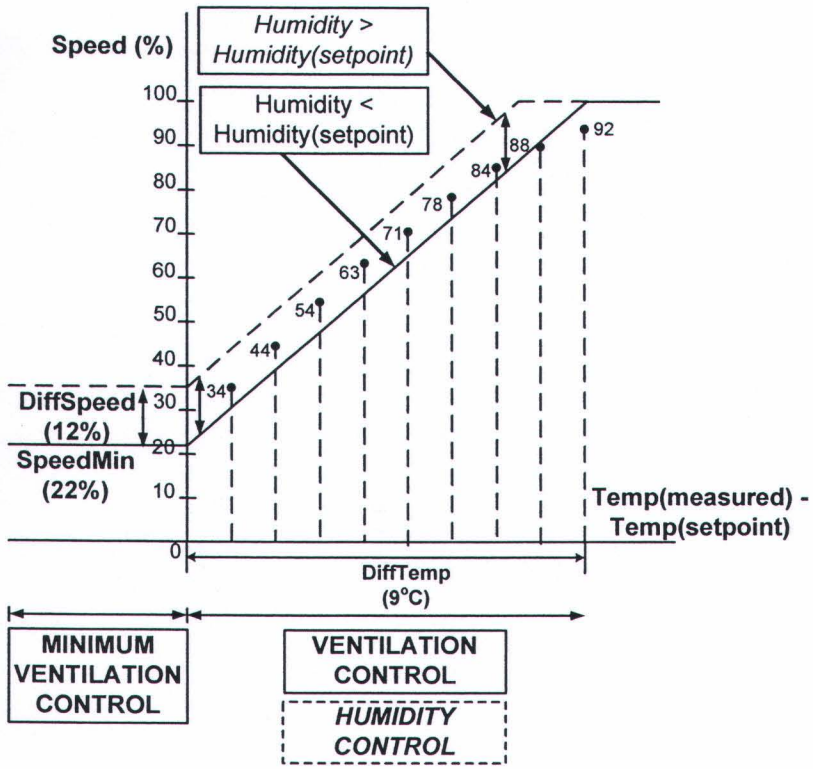
ระบบจะทำงานในโหมดนี้ก็ต่อเมื่อความชื้นที่วัดได้ในโรงเรือนปิดมากกว่าความชื้นที่ต้องการควบคุม (Measured Humidity > Set point Humidity) การทำงานในโหมดนี้จะอธิบายตามการทำงานของพัดลมและปั๊มน้ำดังนี้

<u>การทำงานของพัดลม</u>

การทำงานของพัดลมในโหมดนี้ จะทำงานตามเส้นประ ที่อยู่เหนือเส้นทึบดังรูปที่ 2.23 ซึ่งการทำงานจะเหมือนกับในโหมดความคุมการระบายอากาศแต่ต่างที่ความเร็วมอเตอร์พัดลมจะเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าความเร็วมอเตอร์ที่ต้องการให้เพิ่มจากเดิมในโหมดความคุมการระบายอากาศ (Ventilation Moe) เรียกว่า "Diffspeed"

ตัวอย่าง พิจารณารูปที่ 2.23 ประกอบ
การตั้งค่าต่างๆ ในการควบคุมเป็นดังนี้

ค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม (Set point temperature)		= 26 C°
ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือน (Measured temperature)		= 29 C°
ค่าผลต่างของอุณหภูมิทั้งสอง (Temperature error)		= 3 C°
ย่านอุณหภูมิผลต่าง (DiffTemp)		= 9 °C
ความเร็วมอเตอร์ทำงานในโหมดความคุมการระบายอากาศ (Speed)		= 48%
ความเร็วมอเตอร์ต้องการเพิ่มขึ้น (Diffspeed)		= 12%
ดังนั้นความเร็วมอเตอร์ที่ทำงานในโหมดควบคุมความชื้นคือ	48+12	= 60%



รูปที่ 2.23 รูปแบบการควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศโดยวิธีใช้อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

2.5 ขั้นตอนการออกแบบรูปแบบการควบคุมพัดลมระบายอากาศสำหรับวิธีอินเวอร์เตอร์

ขั้นตอนการออกแบบรูปแบบการควบคุมพัดลมระบายอากาศสำหรับระบบที่ใช้อินเวอร์เตอร์ในโรงเรือนปิดปศุสัตว์นั้น ได้แบ่งเป็นดังนี้

2.5.1 ทดลองวัดพลังงานไฟฟ้าของวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์

2.5.2 คำนวณและประเมินหารูปแบบควบคุมความเร็วมอเตอร์พัดลม

ในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 ทดลองวัดพลังงานไฟฟ้าของวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์

การทดลองนี้ ทำการทดลองวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ เพื่อนำผลการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสองวิธี เพื่อนำไปคำนวณและประเมินผลหารูปแบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์พัดลมสำหรับอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ซึ่งทั้งวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ จะขับมอเตอร์พัดลมขนาด 1.5 แรงม้า จำนวน 2 ตัว ผลการใช้พลังงานทั้งสองวิธีดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.1.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของวิธีเปิด-ปิด

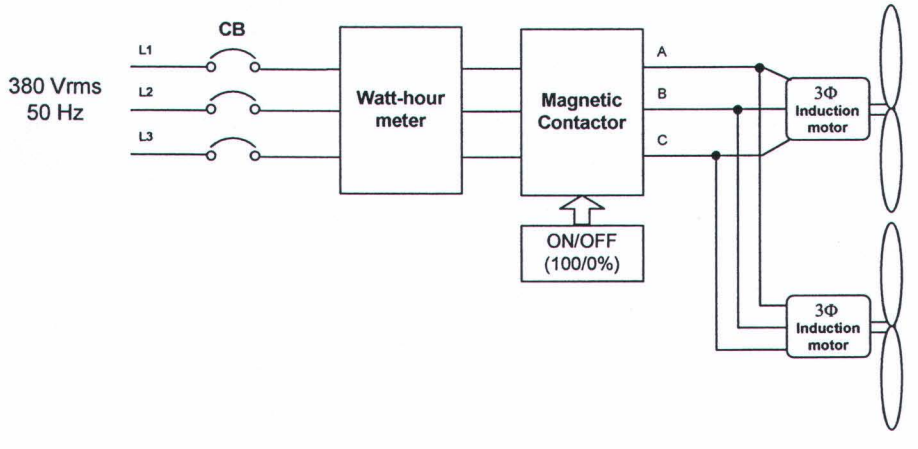
การเชื่อมต่อวงจรการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 2.24 ซึ่งประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 380 Vrms 50 Hz ถูกจ่ายผ่านเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบจานหมุน ซึ่งจะวัดค่าพลังงานไฟฟ้า แล้วจ่ายไปยัง แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor) ที่เป็นตัวคุมเปิด-ปิดพัดลม วิธีการทดลองเพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของวิธีเปิด-ปิดนี้แบ่งเป็น 2 กรณีดังนี้

1. เปิดพัดลม 8 นาที (100%) ปิดพัดลม 2 นาที (0%) สลับกัน ตลอด 8 ชั่วโมง
2. เปิดพัดลม (100%) ตลอด 8 ชั่วโมง

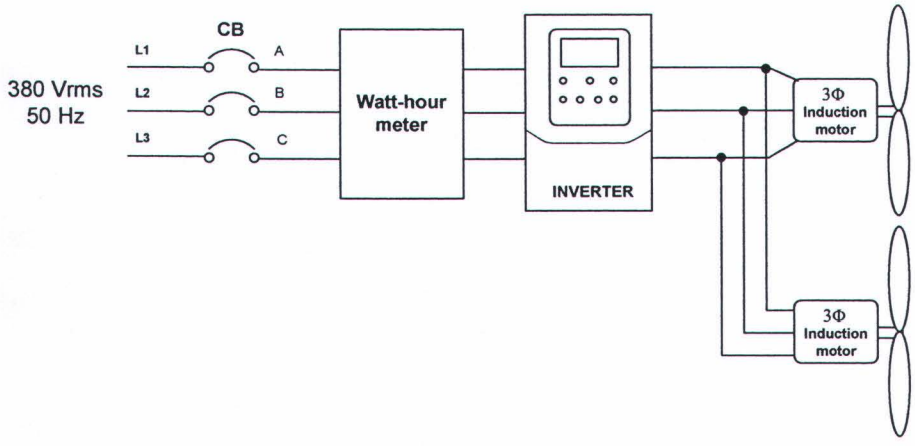
ผลการทดลองทั้ง 2 แสดงดังตารางที่ 2.4

2.5.1.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของวิธีอินเวอร์เตอร์

การทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 2.25 ซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่จ่ายผ่านเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า และเข้าไปที่เครื่องอินเวอร์เตอร์ (Inverter) โดยที่อินเวอร์เตอร์จะเป็นตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์พัดลมทั้งสอง การทดลองนี้จะวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลมขนาด 1.5 แรงม้า จำนวน 2 ตัว โดยให้อินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วมอเตอร์พัดลมที่ 100 %, 80 %, 70 %, 60 %, และ 40 % แล้วเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าของแต่ละความเร็วมอเตอร์เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.24 การเชื่อมต่อการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบเปิด-ปิด



รูปที่ 2.25 การเชื่อมต่อการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบที่ใช้อินเวอร์เตอร์

ตารางที่ 2.4 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน 8 ชั่วโมง ในวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ เมื่อทั้งสองวิธีขับมอเตอร์พัดลม 1.5 แรงม้า 2 ตัว

วิธี	การทดลอง	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 8 ชั่วโมง (kW-hr)
เปิด-ปิด	เปิดพัดลม 8 นาที ปิด 2 นาที	14
	เปิดพัดลมตลอด 100%	17.2
อินเวอร์เตอร์	ความเร็วมอเตอร์ที่ 40%	1.9
	ความเร็วมอเตอร์ที่ 60%	5.1
	ความเร็วมอเตอร์ที่ 70%	7.6
	ความเร็วมอเตอร์ที่ 80%	9.3
	ความเร็วมอเตอร์ที่ 100%	17.0

2.5.2 คำนวณและประเมินหารูปแบบควบคุมความเร็วมอเตอร์พัดลม

ในหัวนี้ได้นำผลการทดลองการใช้พลังงานไฟฟ้าในวิธีเปิด-และวิธีอินเวอร์เตอร์ ที่ขับมอเตอร์พัดลม 2 ตัว จากตารางที่ 2.4 เพื่อนำมาคำนวณและประเมินหารูปแบบสำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์พัดลม ในกรณีที่ใช้พัดลม 10 ตัว เนื่องจากโรงเรือนปิดปศุสัตว์จริงจะใช้มอเตอร์พัดลมมากกว่า 2 ตัว เช่น โรงเรือนขนาด 12x120x2.5 เมตรใช้พัดลมในโรงเรือน 7 ตัว แต่สำหรับกรณีนี้จะพิจารณาว่าใช้พัดลม ในโรงเรือนปศุสัตว์จำนวน 10 ตัว แบ่งเป็นตามวิธีควบคุมดังนี้

กรณีควบคุมด้วยวิธีเปิด-ปิด

จากตารางที่ 2.4 เปิดพัดลม 2 ตัว ที่ 100% ตลอด เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ค่าพลังงานไฟฟ้าเป็น 17.2 kW-hr และพลังงานไฟฟ้า 8 ชั่วโมงตามจำนวนพัดลมที่เปิด 1-10 ตัว แสดงได้ดังนี้

พลังงานไฟฟ้าพัดลม 1 ตัว จากพัดลมทั้งหมด 10 ตัว = (0.5×17.2 kW hr) = 8.6 kW-hr

พลังงานไฟฟ้าพัดลม 2 ตัว จากพัดลมทั้งหมด 10 ตัว = (0.5×2×17.2 kW hr) = 17.2 kW-hr

พลังงานไฟฟ้าพัดลม 3 ตัว จากพัดลมทั้งหมด 10 ตัว = (0.5×3×17.2 kW hr) = 25.8 kW-hr

และผลของพลังงานไฟฟ้าของพัดลมจำนวนอื่นๆ แสดงในตารางที่ 2.5

กรณีควบคุมด้วยวิธีอินเวอร์เตอร์

ขั้นตอนการคำนวณหารูปแบบควบคุมความเร็วมอเตอร์พัดลม

(1) หาสมการสำหรับควบคุมความเร็วพัดลม

คิดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ความถี่ 40 % 60 % 70 % 80 % และ 100 % ในกรณีใช้มอเตอร์พัดลม 10 ตัว ได้ดังนี้

ที่ความถี่ 40 % ในขณะที่เปิดพัดลม 10 ตัว = (1.9 kW-hr/2 ตัว) × 10 ตัว = 9.5 kW-hr

ที่ความถี่ 60 % ในขณะที่เปิดพัดลม 10 ตัว = (5.1 kW-hr/2 ตัว) × 10 ตัว = 25.5 kW-hr

ที่ความถี่ 70 % ในขณะที่เปิดพัดลม 10 ตัว = (7.6 kW-hr/2 ตัว) × 10 ตัว = 38.0 kW-hr

ที่ความถี่ 80 % ในขณะที่เปิดพัดลม 10 ตัว = (9.9 kW-hr/2 ตัว) × 10 ตัว = 49.5 kW-hr

ที่ความถี่ 100 % ในขณะที่เปิดพัดลม 10 ตัว = (17.0 kW-hr/2 ตัว) × 10 ตัว = 85 kW-hr

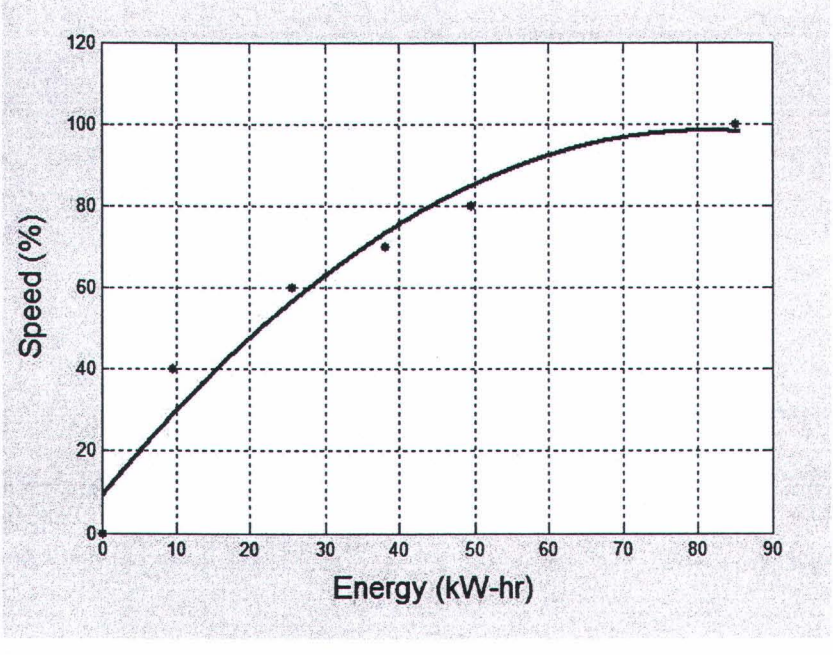
นำค่าพลังงานไฟฟ้าและความถี่ จากการคำนวณข้างต้นนั้น นำไปวิเคราะห์และสร้างสมการโดย โปรแกรม Matlab เพื่อหาสมการความเร็วพัดลม และเลือกรูปแบบสมการความเร็วพัดลมเป็นสมการ กำลังสอง (quardtic polynomial) และโปรแกรม Matlab ก็จะสร้างฟังก์ชั่นออกมาให้ ดังสมการที่ 2.29 และแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 2.26 สาเหตุที่เลือกรูปแบบสมการความเร็วพัดลมเป็นสมการกำลังสอง

เนื่องจากความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าแปรผันตามความเร็วพัดลมกำลังสาม (Power α Speed^3) ตามกฎของพัดลม (Affinity Law) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ตามหลักควรต้องเลือกสมการความเร็วพัดลมให้เป็นกำลังสามด้วย แต่เนื่องจากสมการกำลังสาม ยากต่อการคำนวณสำหรับชุดควบคุม และถ้าเลือกสมการกำลังหนึ่งก็ง่ายต่อการคำนวณ แต่ไม่มีความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกับกฎของพัดลม (Affinity Law) ดังนั้นเลือกรูปแบบสมการความเร็วพัดลมเป็นสมการกำลังสอง

$$f(x) = p_1 x^2 + p_2 x + p_3 \tag{2.29}$$

โดยที่

$$p_1 = -0.1352$$
$$p_2 = 2.199$$
$$p_3 = 9$$



รูปที่ 2.26 ความเร็วมอเตอร์พัดลมและพลังงานไฟฟ้าเมื่อพล็อตในโปรแกรม Matlab และแสดงเป็นดังสมการที่ (2.29)

(2) คิดประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ 30 %

ในกรณีเราต้องการออกแบบรูปแบบการควบคุมเร็วพัดลมให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงอีก 30 % เมื่อกับเทียบกับวิธีเปิด-ปิด ที่ขับมอเตอร์พัดลมที่ 100 % ดังนั้นการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 30 % แสดงดังนี้

กรณีเปิดพัดลม 2 ตัว ที่ 100 % เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 17.2 kW-hr ดังนั้นกรณีพัดลม 1 ตัวจะเท่ากับ 8.6 kW-hr และคิดพลังงานไฟฟ้าลดลงอีก 30 % และคิดตามจำนวนพัดลมดังนี้

พลังงานไฟฟ้าพัดลม 1 ตัว จากพัดลมทั้งหมด 10 ตัว = (1×8.6 kW hr) × (70/100) = 6.02 kW-hr
พลังงานไฟฟ้าพัดลม 2 ตัว จากพัดลมทั้งหมด 10 ตัว = (2×8.6 kW hr) × (70/100) = 12.04 kW-hr
พลังงานไฟฟ้าพัดลม 3 ตัว จากพัดลมทั้งหมด 10 ตัว = (3×8.6 kW hr) × (70/100) = 18.06 kW-hr
และผลของพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 30 % จากความเร็วพัดลมที่ 100 % (x) แสดงในตารางที่ 2.5

(3) คำนวณหาความเร็วมอเตอร์พัดลมที่เปิด 10 ตัว

นำค่า (x) หรือผลของพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 30 % จากความเร็วพัดลมที่ 100 % ตามจำนวนมอเตอร์ในตารางที่ 2.5 แทนลงในสมการที่ 2.29 เพื่อหาความเร็วพัดลม และแสดงการคำนวณได้ดังนี้

กรณี x = 6.02 kW-hr ดังนั้น

$$f(x) = -0.01352(6.02)^2 + 2.199(6.02) + 9 \tag{2.30}$$

$$f(x) = 22 \tag{2.31}$$

กรณี x = 12.04 kW-hr ดังนั้น

$$f(x) = -0.01352(12.04)^2 + 2.199(12.04) + 9 \tag{2.32}$$

$$f(x) = 34 \tag{2.33}$$

และผลการคำนวณที่ความเร็วมอเตอร์พัดลม ($f(x)$) ที่ค่า x อื่นๆ แสดงดังตารางที่ 2.6 จากผลการคำนวณความเร็วมอเตอร์พัดลมในสมการที่ 2.30 - 2.31 จึงสรุปได้ว่าดังนี้

- การใช้พลังงานไฟฟ้าในวิธีเปิด-ปิด เมื่อขับมอเตอร์พัดลม 1 ตัว ที่ความเร็วหรือความถี่มอเตอร์พัดลม 100 % จะเท่ากับการใช้พลังงานไฟฟ้าในวิธีอินเวอร์เตอร์ เมื่อขับมอเตอร์พัดลม 10 ตัว ที่ความเร็วหรือความถี่มอเตอร์พัดลม 22 %

- พลังงานไฟฟ้าในวิธีเปิด-ปิด เมื่อขับมอเตอร์พัดลม 2 ตัว ที่ความเร็วหรือความถี่มอเตอร์พัดลม 100 % จะเท่ากับพลังงานไฟฟ้าในวิธีอินเวอร์เตอร์เมื่อขับมอเตอร์พัดลม 10 ตัว ที่ความเร็วหรือความถี่มอเตอร์พัดลม 34 %
- พลังงานไฟฟ้าในวิธีเปิด-ปิดเมื่อขับมอเตอร์พัดลม 3 ตัว ที่ความเร็วหรือความถี่มอเตอร์พัดลม 100 % จะเท่ากับพลังงานไฟฟ้าในวิธีอินเวอร์เตอร์เมื่อขับมอเตอร์พัดลม 10 ตัว ที่ความเร็วหรือความถี่มอเตอร์พัดลม 44 %
- พลังงานไฟฟ้าในวิธีเปิด-ปิดเมื่อขับมอเตอร์พัดลม 4 ตัว ที่ความเร็วหรือความถี่มอเตอร์พัดลม 100 % จะเท่ากับพลังงานไฟฟ้าในวิธีอินเวอร์เตอร์เมื่อขับมอเตอร์พัดลม 10 ตัว ที่ความเร็วหรือความถี่มอเตอร์พัดลม 54 %

ผลการคำนวณความเร็วหรือความถี่มอเตอร์พัดลม ($f(x)$) จึงนำไปแสดงเป็นรูปแบบการความคุมมอเตอร์พัดลม ดังแสดงในรูปที่ 2.23 อย่างไรก็ตาม รูปแบบการควบคุมความเร็ววิธีอินเวอร์เตอร์นี้จะประหยัดพลังงานมากกว่าวิธีเปิด-ปิด อยู่ 30 % เฉพาะในกรณีที่วิธีเปิด-ปิด ไม่มีการปิดมอเตอร์พัดลมทุกตัว เนื่องจากการออกแบบรูปแบบควบคุมความเร็วในวิธีอินเวอร์เตอร์นี้ คิดเปรียบเทียบกับรูปแบบการควบคุมพัดลมในวิธีเปิด-ปิด ที่มีการเปิดมอเตอร์พัมลดอย่างน้อย 1 ตัว

ตารางที่ 2.5 ผลการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในเวลา 8 ชั่วโมง ตามจำนวนการเปิดมอเตอร์พัดลมในวิธีเปิด-ปิด

วิธี	จำนวนพัดลมที่เปิดจากพัดลมทั้งหมด 10 ตัว	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 8 ชั่วโมง (kW-hr)	
		100 %	กรณีคิดลดลง 30 %,
เปิด-ปิด	1	8.6	6.02
	2	17.2	12.04
	3	25.8	18.06
	4	34.4	24.08
	5	43	30.1
	6	51.6	36.12
	7	60.2	42.14
	8	68.8	48.16
	9	77.4	54.18
	10	86	60.2

ตารางที่ 2.6 ผลการคำนวณความเร็วมอเตอร์พัดลมในวิธีอินเวอร์เตอร์ ที่ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 30 % จากวิธีเปิด-ปิด

วิธี	**จำนวนพัดลมที่เปิด**	**พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 8 ชั่วโมง (kW-hr) ที่ลดลง 30 % จากวิธีเปิด-ปิด** (x)	**ความเร็วมอเตอร์พัดลม** $f(x)$
อินเวอร์เตอร์	10	6.02	22
	10	12.04	34
	10	18.06	44
	10	24.08	54
	10	30.1	63
	10	36.12	71
	10	42.14	78
	10	48.16	84
	10	54.18	88
	10	60.2	92