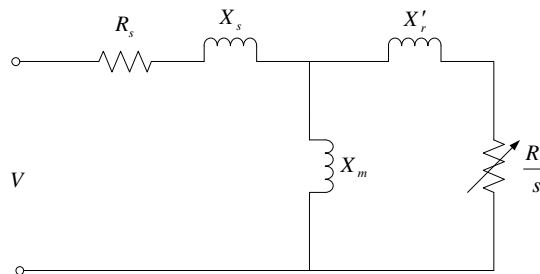


## บทที่ 2

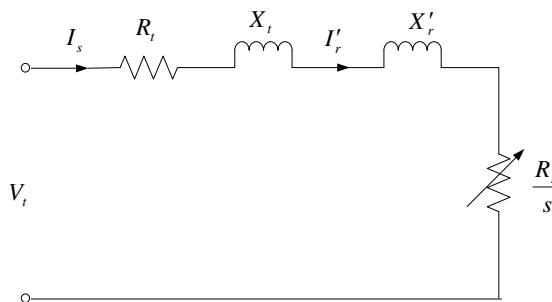
### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 มอเตอร์สำหรับเครื่องเลื่อย

มอเตอร์ที่เป็นต้นกำลังของเครื่องเลื่อยวงเดือน ส่วนใหญ่จะเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 380V 50Hz ความเร็ว 3,000 รอบ/นาที (ความเร็วซิงโครนัส) ขนาดประมาณ 1-5.5 แรงม้า



ภาพประกอบ 2-1 วงจรสมมูลหนึ่งเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



ภาพประกอบ 2-2 วงจรสมมูล Thevenin ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่จุดทำงานต่างๆวิเคราะห์ได้จากวงจรสมมูลของมอเตอร์ ดังภาพประกอบ 2-1 ซึ่งสามารถแทนด้วยวงจรสมมูล Thevenin ได้ภาพประกอบ 2-2 โดยที่  $V_t \angle \theta_t$ ,  $R_t$ ,  $X_t$  เป็นแหล่งจ่าย ความต้านทานและค่ารีแอคแตนซ์สมมูล Thevenin ซึ่งหาได้ดังสมการ

$$V_t = |V_t| \angle \theta_t \quad (2-1)$$

$$V_t = \frac{VX_m}{\sqrt{R_s^2 + (X_s + X_m)^2}} \quad (2-2)$$

$$\theta_t = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left( \frac{X_s + X_m}{R_s} \right) \quad (2-3)$$

$$R_t + jX_t = \frac{jX_m(R_s + jX_s)}{R_s + j(X_s + X_m)} \quad (2-4)$$

$$\phi = \theta_t - \tan^{-1} \left( \frac{X_t + X'_r}{R_t + \frac{R'_r}{s}} \right) \quad (2-5)$$

$$I'_r = \frac{V_t \angle \theta_t}{\left( R_t + \frac{R'_r}{s} \right) + j(X_t + X'_r)} \quad (2-6)$$

กำลังไฟฟ้าอินพุต (Input Power,  $P_{in}$ )

$$\begin{aligned} P_{in} &= 3V_t I_s \cos \phi \\ &= \frac{3|V_t|^2}{\sqrt{\left( R_t + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + (X_t + X'_r)^2}} \cos \phi \end{aligned} \quad (2-7)$$

กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (Output Power,  $P_o$ )

$$\begin{aligned} P_o &= P_g - P_{lr} \\ &= 3I_r'^2 R'_r \left( \frac{1-s}{s} \right) \end{aligned}$$

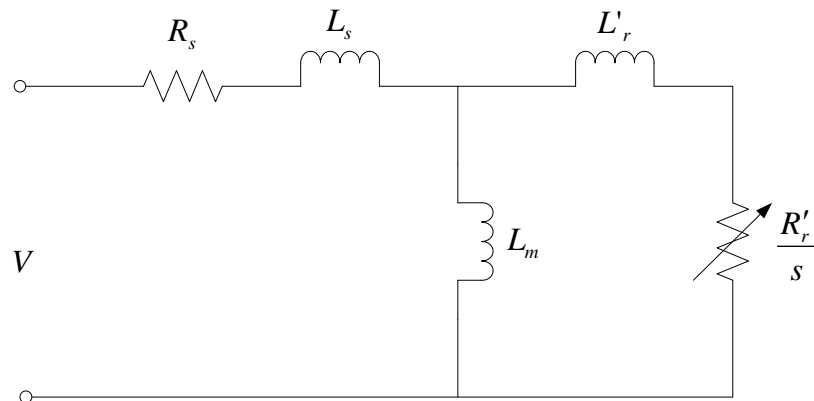
$$\begin{aligned}
 &= P_g (1-s) \\
 &= \left( \frac{1-s}{s} \right) \frac{3V_t^2 R'_r}{\left( R_t + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + (X_t + X_r)^2} \quad (2-8)
 \end{aligned}$$

เมื่อไม่คิดผลของแรงเสียดทานและแรงต้านอากาศ สามารถหาสมการแรงบิด (Torque,  $T$ )

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{P_o}{\omega} \\
 &= \frac{3}{\omega_s} \left[ \frac{V_t^2 R'_r / s}{\left( R_t + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + (X_t + X_r)^2} \right] \quad (2-9)
 \end{aligned}$$

### 2.1.1 พารามิเตอร์ของมอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 380V 50Hz ความเร็ว 3,000 รอบ/นาที (ความเร็วซิงโครนัส) ขนาด 2.2 กิโลวัตต์ จากการทดสอบสามารถทราบพารามิเตอร์ของมอเตอร์ดังนี้



$$R_s = 2.1 \Omega$$

$$L_s = 0.01165 \text{ H}$$

$$L'_r = 0.01165 \text{ H}$$

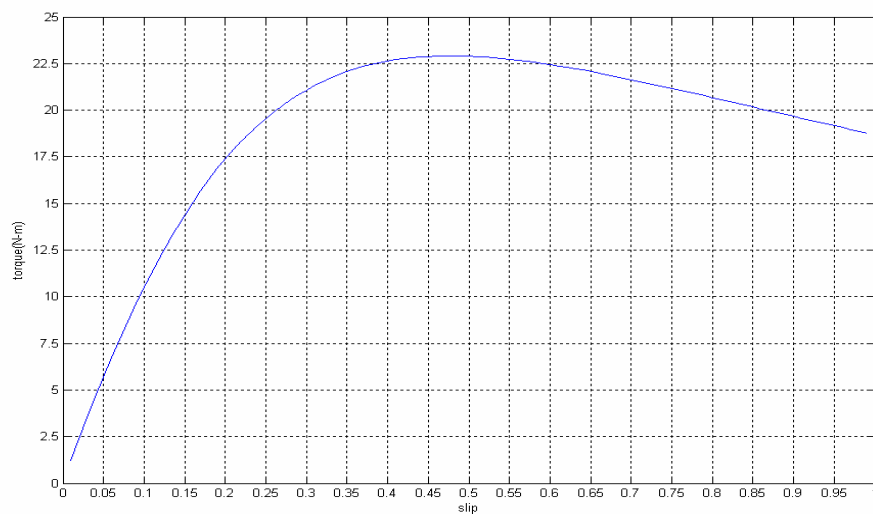
$$L_m = 0.37277 \text{ H}$$

$$R'_2 = 3.58 \Omega$$

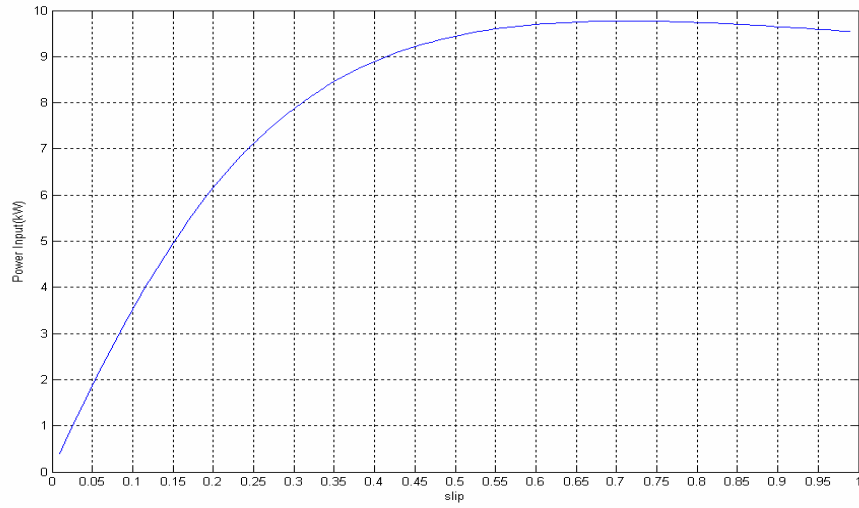
ภาพประกอบ 2-3 พารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่ใช้ในการวิจัย

### 2.1.2 คุณลักษณะของมอเตอร์

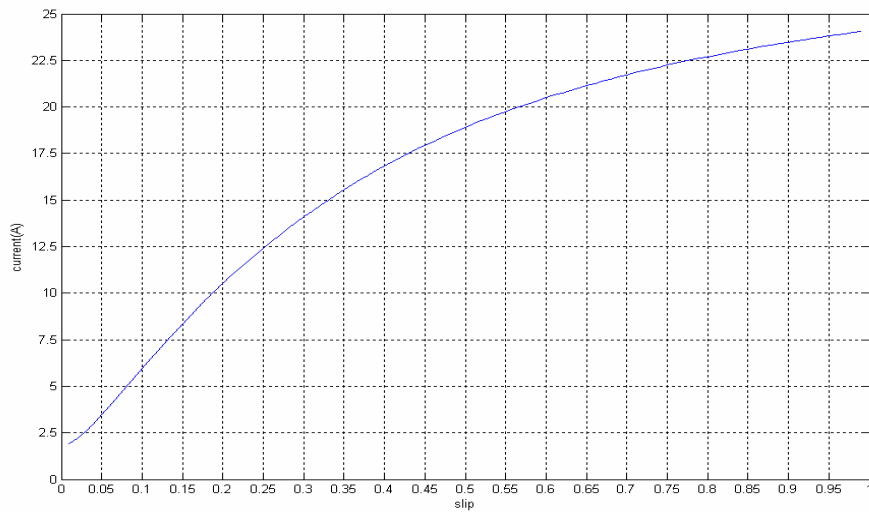
เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์สามารถหาคุณลักษณะต่างๆของมอเตอร์ได้จากสมการ (2-1) - (2-9) จะได้คุณลักษณะต่างๆของมอเตอร์เมื่อป้อนแรงดันและความถี่ที่พิกัด ( $V_{L-L} = 220\text{V}$ ,  $50\text{Hz}$ ) ภาพประกอบ 2-4 ถึงภาพประกอบ 2-8



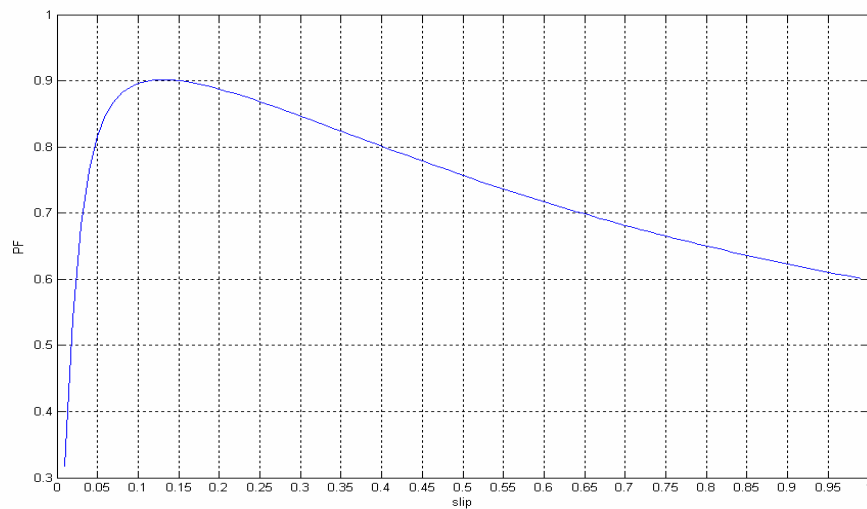
ภาพประกอบ 2-4 คุณลักษณะแรงบิดของมอเตอร์



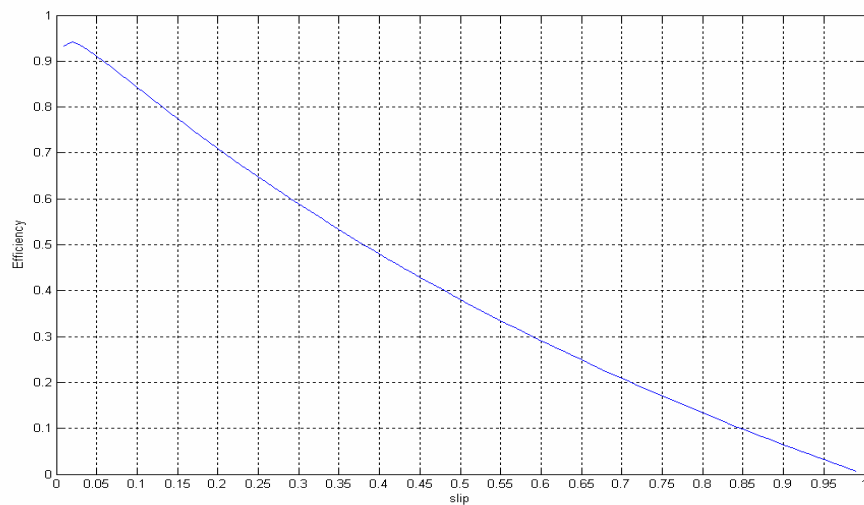
ภาพประกอบ 2-5 กำลังไฟฟ้าด้านเข้าของมอเตอร์



ภาพประกอบ 2-6 กระแสไฟฟ้าด้านเข้าของมอเตอร์



ภาพประกอบ 2-7 คุณลักษณะค่าตัวประกอบกำลังของมอเตอร์

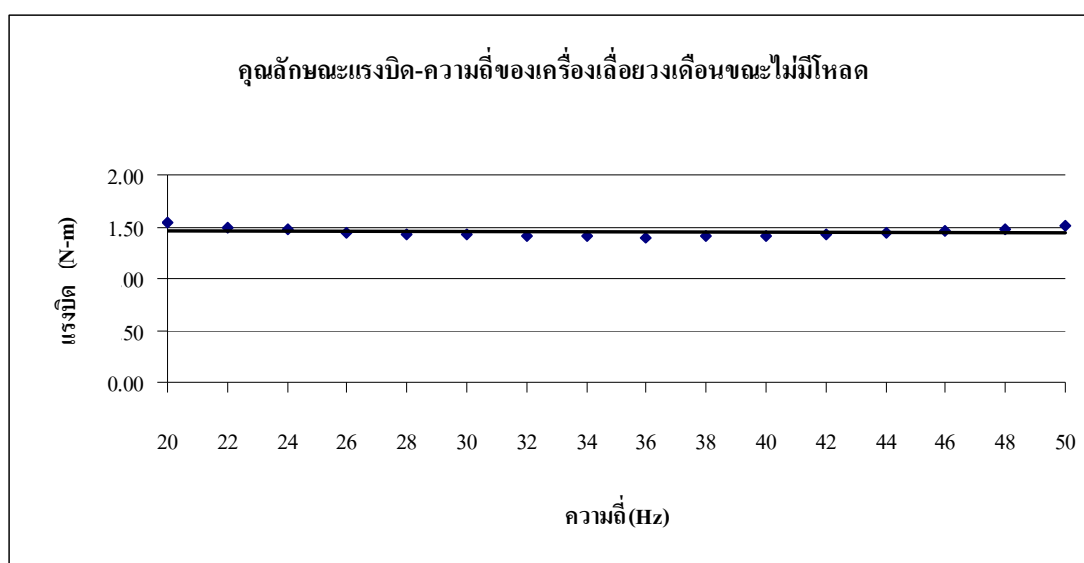


ภาพประกอบ 2-8 ประสิทธิภาพของมอเตอร์

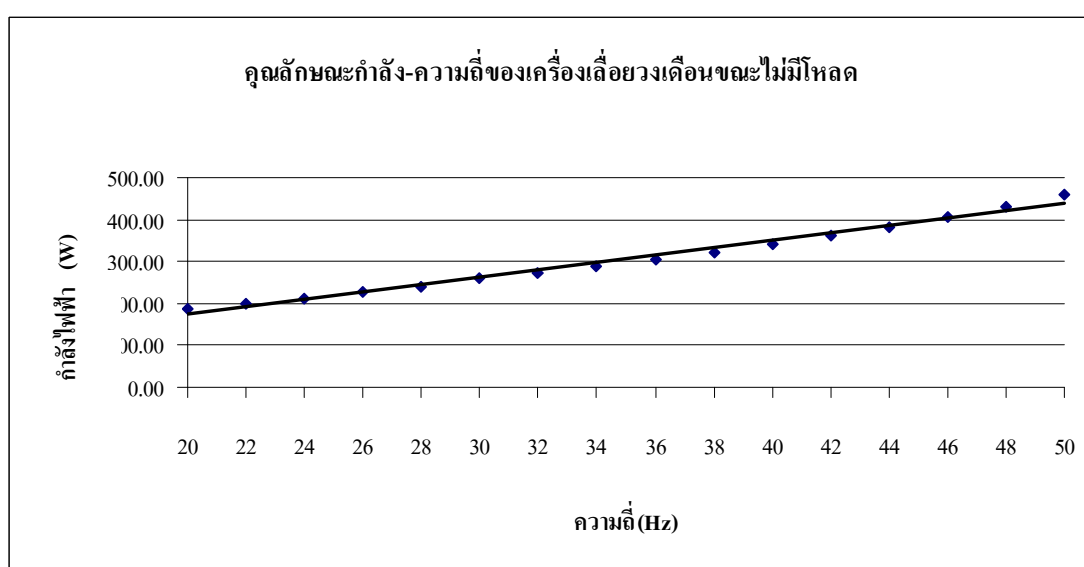
## 2.2 คุณลักษณะโหลดของเครื่องเลื่อย

การรู้คุณลักษณะการรับโหลดของเครื่องเลื่อยและสามารถออกแบบระบบขับเคลื่อนเพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ต้นกำลังให้มีประสิทธิภาพสูงทั้งในสภาวะที่มีการเลื่อยและไม่มีการเลื่อยได้ ก็จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานในเครื่องเลื่อยไม่แต่ละตัวและส่งผลต่อการประหยัดพลังงานโดยรวมของโรงงาน ในการทดสอบหาคุณลักษณะของเครื่องเลื่อยวงเดือนโดยการทดลองขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 4 hp ซึ่งเป็นต้นกำลังของเครื่องเลื่อยไม้ที่ความเร็วต่างๆ

แล้ววัดค่ากำลังไฟฟ้าและความเร็วของมอเตอร์และนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิด จะได้คุณลักษณะของแรงบิดและกำลังขณะไม่มีการเลี้ยวดังภาพประกอบ 2-9 และภาพประกอบ 2-10 ซึ่งพบว่าคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วของเครื่องเลื่อยวงเดือนขณะไม่มีการเลี้ยว (ภาวะไม่มีโหลด) จัดอยู่ในชนิดของโหลดที่แรงบิดมีค่าเกือบคงที่และกำลังไฟฟ้าแปรผันตามความเร็ว

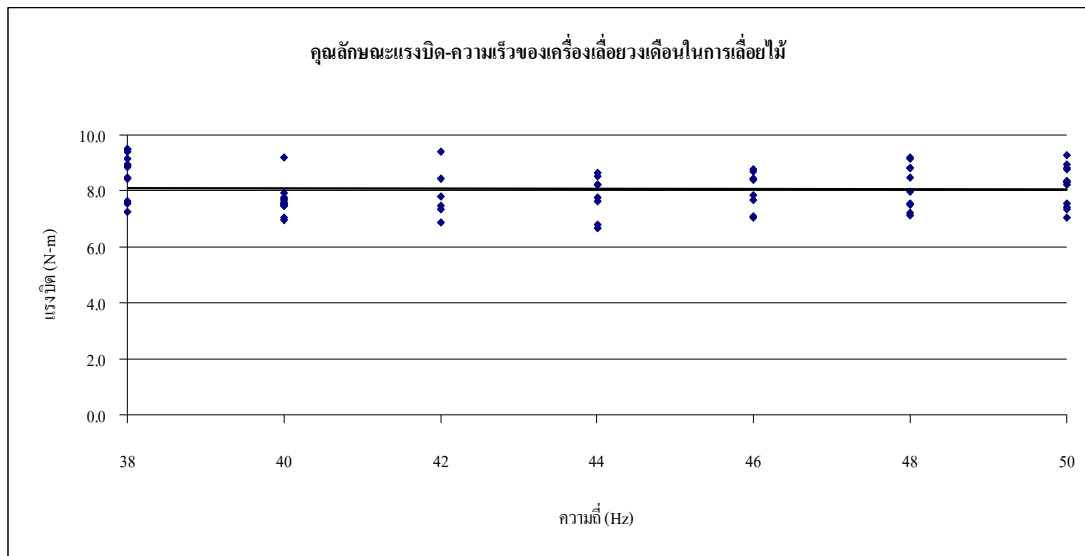


ภาพประกอบ 2-9 คุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วในขณะที่ไม่มีโหลด

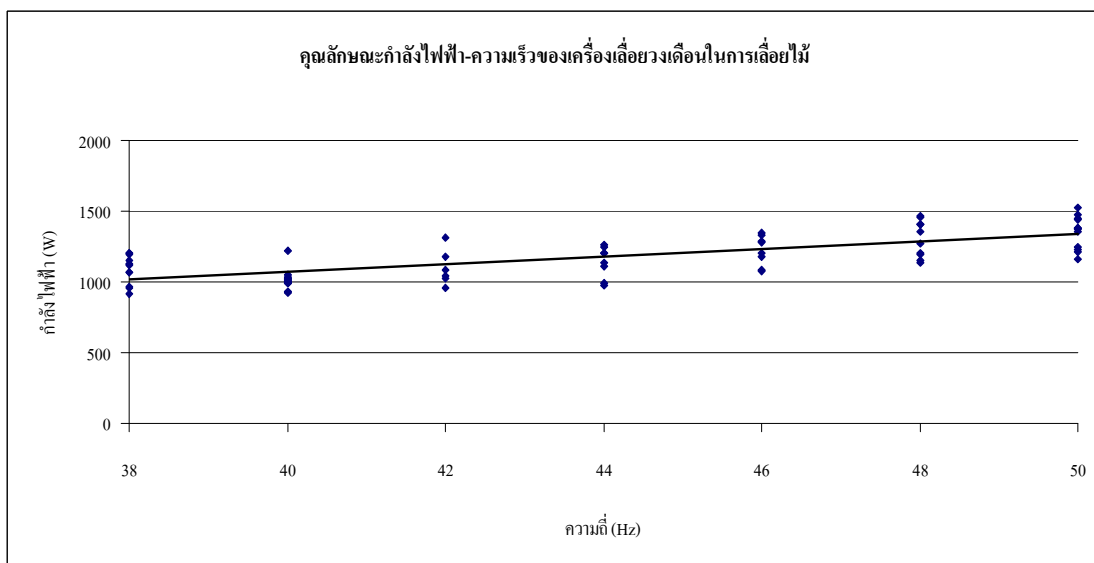


ภาพประกอบ 2-10 คุณลักษณะกำลัง-ความเร็วในขณะที่ไม่มีโหลด

เมื่อทำการทดลองขณะมีโหลด โดยการเลื่อยไม้ชนิดเดียวกันและขนาดเดียวกัน (ไม้ยางพาราขนาด 1 นิ้ว) ที่ความเร็วค่าต่างๆพบว่า แรงบิดที่ใช้ในการเลื่อยแต่ละท่อนมีค่าใกล้เคียงกัน ทุกๆความเร็วและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเลื่อยไม้มีแนวโน้มลดลงเป็นเชิงเส้นตามความเร็วในการเลื่อยที่ลดลงดังแสดงในภาพประกอบ 2-11 และภาพประกอบ 2-12



ภาพประกอบ 2-11 คุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วในขณะเลื่อยไม้ยางพาราขนาด 1 นิ้ว



ภาพประกอบ 2-12 คุณลักษณะกำลัง-ความเร็วในขณะเลื่อยไม้ยางพาราขนาด 1 นิ้ว



จากการทดลองพบว่าคุณลักษณะโหลดเครื่องเลื่อยวงเดือนเป็นลักษณะโหลดที่แรงบิดคงที่ ที่ทุกๆ ความเร็วของการเลื่อย กำลังไฟฟ้าที่ใช้จึงสัมพันธ์กับความเร็วในการเลื่อยแบบเชิงเส้น ความ เป็นเชิงเส้นจะจำกัดอยู่ที่ระดับความเร็วค่าหนึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของ ไม้ที่เลื่อยว่าต้องการ แรงบิดปริมาณมากน้อยเท่าไร สำหรับโหลดที่ต้องการแรงบิดในการเลื่อยน้อย ช่วงเชิงเส้นของ กำลังไฟฟ้ากับความเร็วจะมีช่วงกว้างกว่าโหลดที่ต้องการแรงบิดมาก อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของ การปรับลดความเร็วในการเลื่อยไม้คือเมื่อปรับความเร็วของการเลื่อยไม้ลงระดับหนึ่ง ค่า กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นตามความสัมพันธ์ในสมการที่ (2-6) จะมีค่าสูงเกินพิกัดของมอเตอร์เนื่องจาก การพยายามสร้างแรงบิดให้ได้ตามความต้องการของโหลดในปริมาณเท่าเดิม และค่าสลิปที่เพิ่มขึ้น ด้วย ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเลื่อยไม้ไม่เป็นเชิงเส้นที่ความเร็วต่ำๆ

เมื่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้สัมพันธ์กับความเร็วในการเลื่อยแบบเชิงเส้น ดังนั้นการลดกำลังไฟฟ้า ที่มอเตอร์ใช้ในขณะมีโหลดภาระไม่เต็มที่สามารถทำได้โดยการปรับลดความเร็วของมอเตอร์ลงที่ ระดับที่เหมาะสมของแต่ละปริมาณ โหลด จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2-10)

$$P \propto N \quad (2-10)$$

โดยที่  $P$  คือ กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ (กิโลวัตต์)

$N$  คือ ความเร็วของมอเตอร์ (รอบต่อนาที)

จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2-10) เมื่อทำการปรับลดความเร็วของมอเตอร์ลง กำลังไฟฟ้าจะลดลงตามสัดส่วนดังสมการที่ (2-11)

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2-11)$$

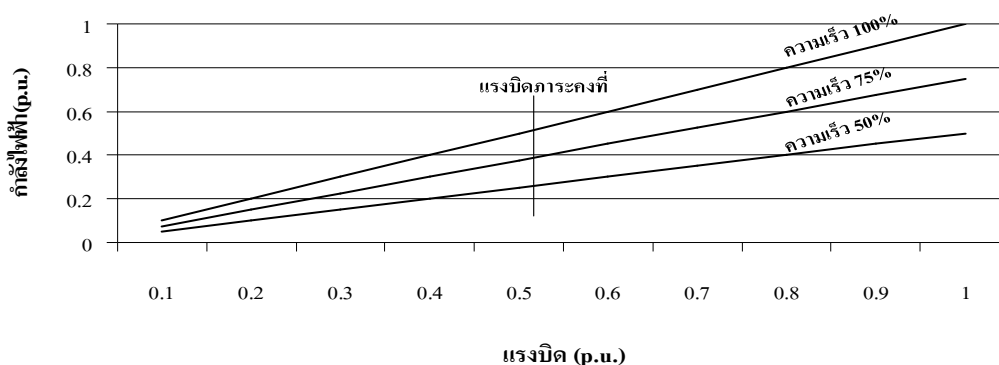
โดยที่  $P_1$  คือ กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ความเร็วพิกัด (กิโลวัตต์)

$P_2$  คือ กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เมื่อปรับลดความเร็ว (กิโลวัตต์)

$N_1$  คือ ความเร็วที่พิกัดของมอเตอร์ (รอบต่อนาที)

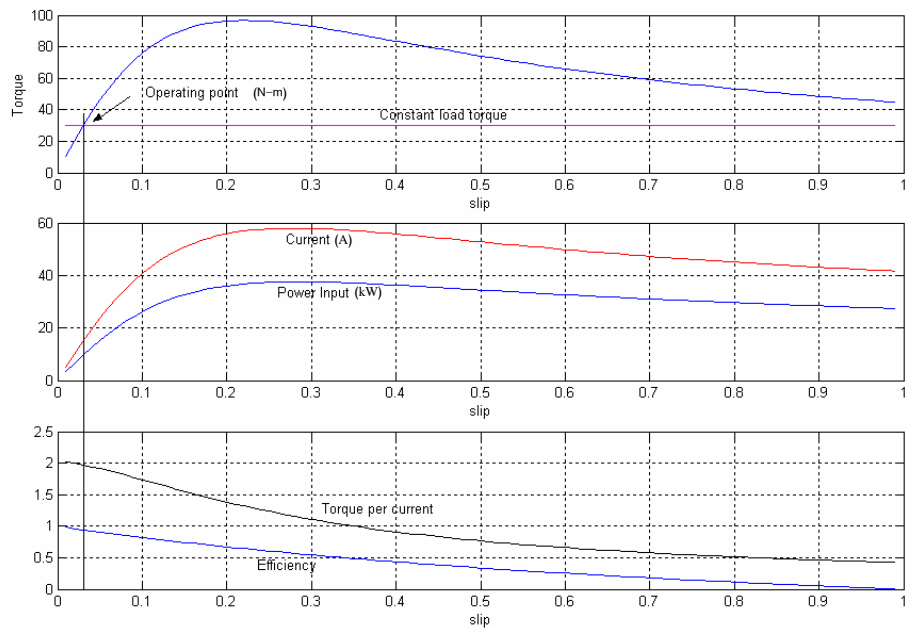
$N_2$  คือ ความเร็วของมอเตอร์เมื่อปรับลดความเร็ว (รอบต่อนาที)

### แสดงกำลังไฟฟ้า-แรงบิดที่ความเร็วต่างๆ

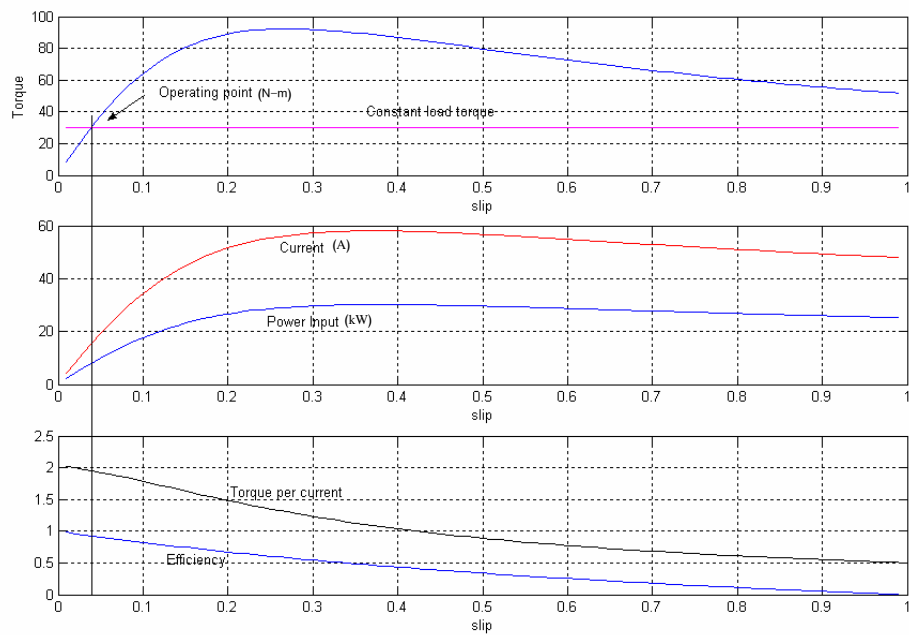


ภาพประกอบ 2-13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกำลังไฟฟ้า

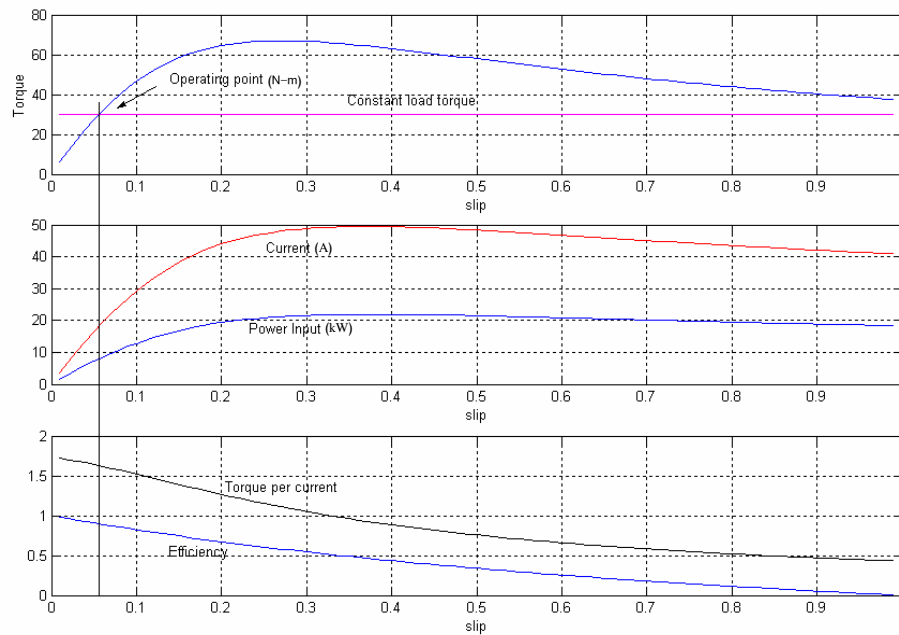
การปรับลดแรงดันและความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์เครื่องเลื่อยไม้จะทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเลื่อยมีค่าลดลง ภาพประกอบ 2-13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกำลังไฟฟ้า การพิจารณาจุดทำงานที่เหมาะสมโดยการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของแต่ละจุดทำงาน ซึ่งสามารถทราบได้จากการเก็บข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าและระยะเวลาในการเลื่อยไม้แต่ละจุดทำงาน จุดทำงานที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดจะเป็นจุดทำงานที่เหมาะสมในการเลื่อยไม้ ระบบควบคุมที่สามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องเลื่อยวงเดือนเพื่อประหยัดพลังงาน จะมีส่วนของการทำงานที่สำคัญคือส่วนรับรู้ปริมาณโหลดและส่วนประมวลผลเพื่อตัดสินใจใช้แรงดันและความถี่ในการเลื่อยไม้ ภาพประกอบ 2-14 ถึงภาพประกอบ 2-19 แสดงการทำงานของมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 10 kW เมื่อแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของแหล่งจ่ายแตกต่างกัน



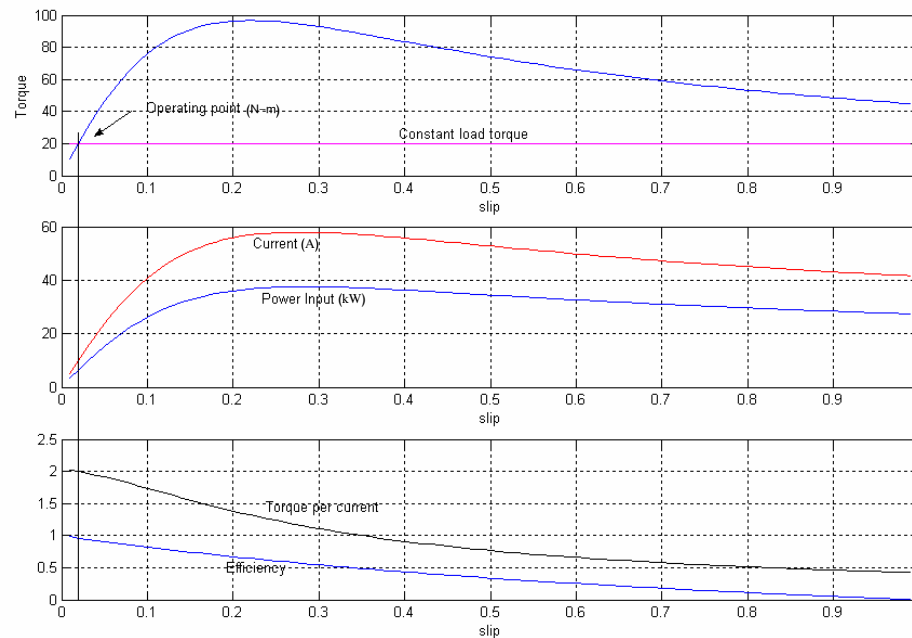
ภาพประกอบ 2-14 การทำงานของมอเตอร์เมื่อป้อนแรงดัน 220 V 50 Hz ขั้วโหลดขนาด 30 N-m



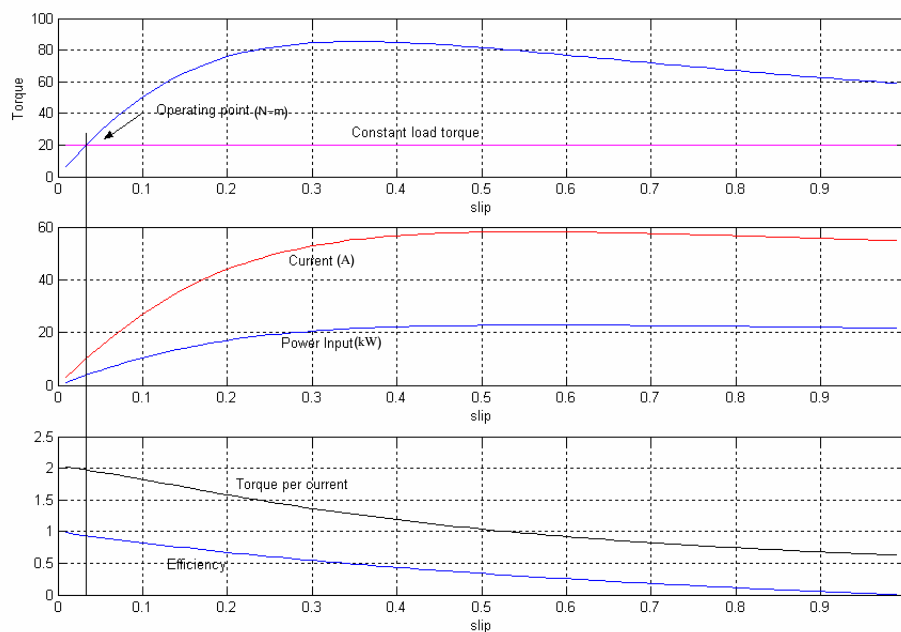
ภาพประกอบ 2-15 การทำงานของมอเตอร์เมื่อป้อนแรงดัน 176 V 40 Hz ขั้วโหลดขนาด 30 N-m



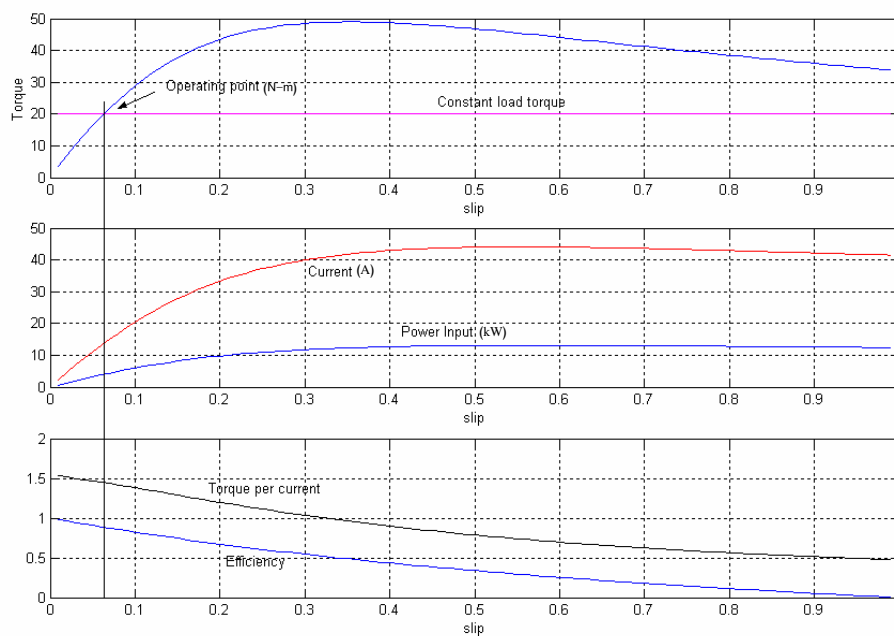
ภาพประกอบ 2-16 การทำงานของมอเตอร์เมื่อป้อนแรงดัน 150 V 40 Hz ขั้วโหลดขนาด 30 N-m



ภาพประกอบ 2-17 การทำงานของมอเตอร์เมื่อป้อนแรงดัน 220 V 50 Hz ขั้วโหลดขนาด 20 N-m



ภาพประกอบ 2-18 การทำงานของมอเตอร์เมื่อป้อนแรงดัน 132 V 30 Hz ขั้วโหลดขนาด 20 N-m



ภาพประกอบ 2-19 การทำงานของมอเตอร์เมื่อป้อนแรงดัน 100 V 30 Hz ขั้วโหลดขนาด 20 N-m

ระบบควบคุมที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะทำหน้าที่ตัดสินใจเลือกความเร็วในการเคลื่อนให้เหมาะสมกับโหลดของเครื่องเคลื่อนในขณะนั้น ภาพประกอบ 2-14 ถึงภาพประกอบ 2-16 แสดงจุดทำงานของมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 10 kW ที่แตกต่างกันสำหรับโหลดขนาด 30 N-m ซึ่งจะเห็นว่าการทำงานที่พิกัด (220V 50Hz) จะใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดประมาณ 10 kW การปรับลดแรงดันไฟฟ้าและความถี่ในสัดส่วนที่คงที่ (176V 40Hz) จะไม่ทำให้แรงบิดสูงสุดลดลงแต่ที่จุดทำงานใหม่นี้จะมีค่าสลิปมากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ใช้จะมีค่าลดลงเหลือประมาณ 8.5 kW และเมื่อปรับลดแรงดันไฟฟ้าลงไปอีกแต่รักษาให้ความถี่คงที่ (150V 40Hz) จะทำให้แรงบิดสูงสุดลดลงเป็นอย่างมากในขณะที่ค่าสลิปมีค่ามากขึ้นด้วย กำลังไฟฟ้าที่ใช้จะลดลงเล็กน้อยเหลือประมาณ 8 kW หากพิจารณาประสิทธิภาพของทั้งสามรูปจะพบว่าถึงแม้ประสิทธิภาพจะลดลงแต่ก็ไม่มาก แต่สัดส่วนกำลังไฟฟ้าที่ลดลงมีมากกว่า ส่วนภาพประกอบ 2-17 ถึงภาพประกอบ 2-19 แสดงจุดทำงานของระบบที่แตกต่างกันสำหรับโหลดขนาด 20 N-m เมื่อโหลดมีค่าน้อยระบบสามารถทำงานที่แรงดันไฟฟ้าและความถี่ต่ำได้มากกว่าขณะโหลดมาก จะเห็นว่าจุดทำงานที่พิกัดใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 6.3 kW เมื่อลดระดับแรงดันและความถี่ในอัตราส่วนที่คงที่ (132V 30Hz) จะใช้กำลังไฟฟ้าเหลือประมาณ 4.1 kW แต่เมื่อปรับลดแรงดันลงไปอีกจุดทำงานจะมีค่าสลิปเพิ่มขึ้นมากทำให้ใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 4.2 kW จุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดต้องพิจารณาทั้งแรงบิดขณะสตาร์ท กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วย

ตารางที่ 2-1 และ 2-2 แสดงการเปรียบเทียบผลของการปรับอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่กับการลดลงของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลื่อนไม้เมื่อโหลดมีขนาด 30 และ 20 N-m ตามลำดับ ตารางที่ 2-3 และ 2-4 แสดงผลกระทบต่อความเร็วของการเคลื่อนเมื่อปรับอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่ในสัดส่วนต่างๆ ความเร็วที่ลดลงในตารางทั้งสองนี้คำนวณได้จากผลต่างระหว่างความเร็วในการเคลื่อนเมื่อจ่ายแรงดันและความถี่ตามพิกัดให้แก่มอเตอร์กับความเร็วของมอเตอร์เมื่อปรับเปลี่ยนแรงดันและความถี่ในกรณีต่างๆ ในการคำนวณได้คำนึงถึงผลของความเร็วเชิงโคโรนัสที่เปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนความถี่

ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ลดลงเมื่อปรับอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่ในสภาวะต่างๆสำหรับโหลดขนาด 30 N-m

แรงดัน (V)	ความถี่ (Hz)	อัตราส่วนแรงดันต่อ ความถี่ (V/Hz)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	กำลังไฟฟ้าที่ ลดลง (kW)
220	50	4.40	10	-
176	40	4.40	8.5	1.5
150	40	3.75	8	2

ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ลดลงเมื่อปรับอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่ในสภาวะต่างๆสำหรับโหลดขนาด 20 N-m

แรงดัน (V)	ความถี่ (Hz)	อัตราส่วนแรงดันต่อ ความถี่ (V/Hz)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	กำลังไฟฟ้าที่ ลดลง (kW)
220	50	4.40	6.3	-
132	30	4.40	4.1	2.2
100	30	3.33	4.2	2.1

ตารางที่ 2-3 เปรียบเทียบความเร็วที่ลดลงเมื่อปรับอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่ในสภาวะต่างๆสำหรับโหลดขนาด 30 N-m

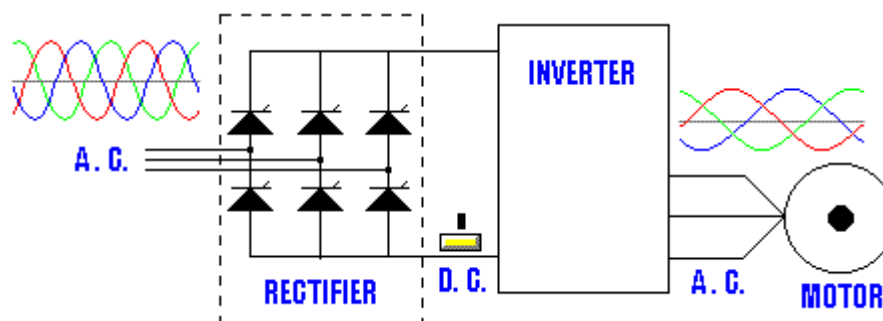
แรงดัน (V)	ความถี่ (Hz)	อัตราส่วนแรงดันต่อ ความถี่ (V/Hz)	ความเร็วที่เฉลี่ย (rpm)	ความเร็วที่ลดลง (rpm)
220	50	4.40	1454	-
176	40	4.40	1154	300
150	40	3.75	1134	320

ตารางที่ 2-4 เปรียบเทียบความเร็วที่ลดลงเมื่อปรับอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่ในสภาวะต่างๆ  
สำหรับโหลดขนาด 20 N-m

แรงดัน (V)	ความถี่ (Hz)	อัตราส่วนแรงดันต่อ ความถี่ (V/Hz)	ความเร็วที่เฉลี่ย (rpm)	ความเร็วที่ลดลง (rpm)
220	50	4.40	1472	-
132	30	4.40	844	528
100	30	3.33	742	630

จากการเปรียบเทียบในแต่ละตาราง พบว่าหากปรับลดแรงดันและความถี่ลงไปมากอาจทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลงมาก จากตารางที่ 2-1 และ 2-2 เมื่อปรับอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่เป็น 3.75 และ 3.33 ตามลำดับ การลดลงของกำลังไฟฟ้าทั้งสองกรณีเท่ากัน แต่หากพิจารณาในตารางที่ 3 และ 4 พบว่าความเร็วในการเฉลี่ยเมื่อปรับอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่เป็น 3.75 ตกลงน้อยกว่าเมื่อปรับไว้ที่ 3.33 ทั้งที่โหลดมีขนาดมากกว่า การปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่มีผลกระทบต่อรูปร่างของกราฟแสดงคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วของมอเตอร์ ช่วงที่เส้นกราฟของแรงบิดเป็นเชิงเส้นเมื่อสลิปมีค่าน้อยจะลาดเอียงลงเมื่อปรับลดความถี่และแรงดัน ดังนั้นหากโหลดมีลักษณะแรงบิดคงที่ จะทำให้ช่วงการเปลี่ยนแปลงความเร็วค่อนข้างกว้าง ดังนั้นหากคำนึงถึงความเร็วที่ต้องใช้ในการเฉลี่ยซึ่งมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ยในแต่ละขั้นนั้น จะทำให้ขอบเขตของการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่สามารถทำได้ไม่กว้างนัก

### 2.3 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์



ภาพประกอบ 2-20 วงจรอินเวอร์เตอร์ภาคกำลัง  
(ที่มา: <http://www.9engineer.com>, October 2004.)



การทำงานของอินเวอร์เตอร์แบบง่ายจะมีส่วนประกอบและการทำงานดังนี้

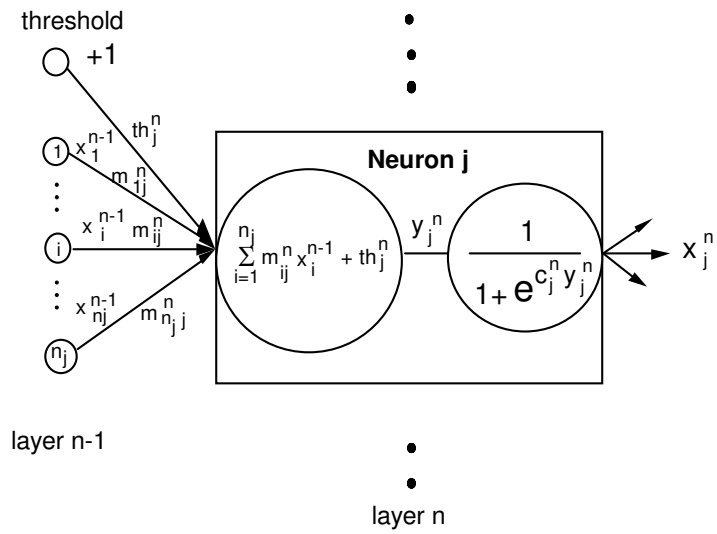
- วงจรเรียงกระแส ทำหน้าที่แปลงผันหรือเปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยเพาเวอร์ไดโอด 4 ตัวกรณีอินพุตเป็นแบบเฟสเดียว หรือเพาเวอร์ไดโอด 6 ตัวกรณีอินพุตเป็นแบบสามเฟส หากใช้ SCR เป็นวงจรเรียงกระแสจะสามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้

- DC link ทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างวงจรเรียงกระแสและวงจรอินเวอร์เตอร์ ประกอบด้วยคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสให้เรียบยิ่งขึ้น และทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้าขณะที่มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงสั้น เนื่องจากการเบรกหรือมีการลดความเร็วรอบลงอย่างรวดเร็ว สำหรับกรณีที่ใช้งานกับโหลดที่มีแรงเฉื่อยมากๆ และต้องการหยุดอย่างรวดเร็วจะมีวงจรชอปเปอร์โดยต่อค่าความต้านอนุกรมกับทรานซิสเตอร์ และต่อขนานกับคาปาซิเตอร์ไว้ โดยทรานซิสเตอร์จะทำให้ที่เป็นสวิตช์ตัดต่อควบคุมให้กระแสไหลผ่านค่าความต้านทานเพื่อลดพลังงานที่เกิดขึ้น

- วงจรอินเวอร์เตอร์ คือส่วนที่ทำหน้าที่แปลงผันจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (ที่ผ่านการกรองจากวงจร DC link) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรจะประกอบด้วยเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ หรือ IGBT 6 ชุด ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยเทคนิคที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ PWM (Pulse width modulation)

## 2.4 การใช้โครงข่ายประสาท (Neural Network) ในการจำแนกรูปแบบ

โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) มีโครงสร้างดังภาพประกอบ 2-21 เป็นเครื่องมือเหมือนกับเซลล์ของมนุษย์ที่มีความสามารถในการเรียนรู้และตัดสินใจ การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทสามารถเรียนรู้ได้จากแบบจำลองของระบบและสามารถประมาณค่าของระบบที่มีความซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้นได้อย่างแม่นยำ โครงข่ายประสาท (Neural Network) จึงถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางกับระบบที่มีแบบจำลองที่ซับซ้อน โดยเฉพาะกับปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้น



ภาพประกอบ 2-21 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

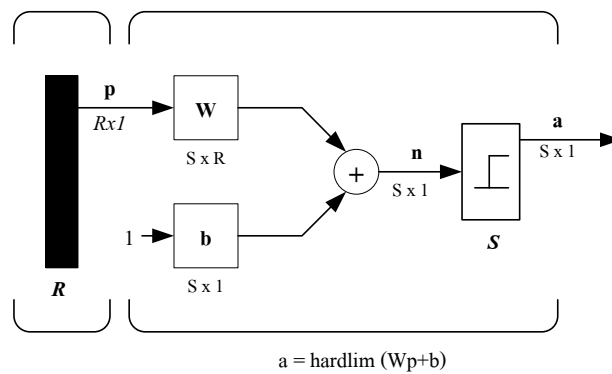
กฎการเรียนรู้คือกระบวนการสำหรับการปรับค่าน้ำหนักและไบอัสของโครงข่ายเพื่อฝึกโครงข่ายให้สามารถจดจำรูปแบบ กฎการเรียนรู้ของโครงข่ายแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

- การเรียนรู้แบบมีผู้ช่วย (Supervised learning)
- การเรียนรู้แบบไม่มีผู้ช่วย (Unsupervised learning)
- Reinforcement learning

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทที่สามารถนำมาใช้สำหรับการจดจำรูปแบบมีดังนี้

### 2.4.1 กฎการเรียนรู้แบบเปอร์เซปตรอน

โครงข่ายเปอร์เซปตรอนสามารถใช้จำแนกอินพุตด้วยขอบเขตการแบ่งที่เป็นเชิงเส้น ลักษณะทั่วไปของโครงข่ายเปอร์เซปตรอนแสดงดังภาพประกอบ 2-22



ภาพประกอบ 2-22 โครงข่ายเปอร์เซปตรอน

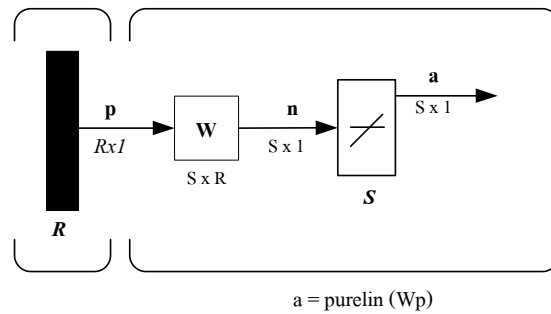
กฎการเรียนรู้สำหรับโครงข่ายประสาทเปอร์เซพตรอนคือ

$$W^{new} = W^{old} + ep^T \quad (2-12)$$

$$b^{new} = b^{old} + e \quad (2-13)$$

### 2.4.2 กฎการเรียนรู้แบบ Hebbian

กฎการเรียนรู้ของ Hebb สามารถใช้ได้กับโครงข่ายหลายรูปแบบ โครงข่ายที่ง่ายที่สุดแสดงดังภาพประกอบ 2-23



ภาพประกอบ 2-23 Linear Associator

ค่าน้ำหนักของโครงข่ายสามารถคำนวณได้จากอินพุตและเอาท์พุตเป้าหมาย

$$W = TP^T \quad (2-14)$$

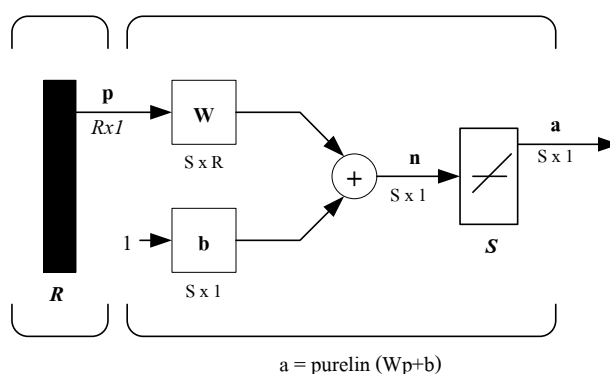
ในกรณีที่เวกเตอร์ของอินพุตไม่ตั้งฉากกันสามารถคำนวณค่าน้ำหนักของโครงข่ายได้จาก

$$W = TP^+ \quad (2-15)$$

โดยที่  $P^+ = (P^T P)^{-1} P^T$  (2-16)

### 2.4.3 กฎการเรียนรู้แบบ Windrow-Hoff

การเรียนรู้แบบ Windrow-Hoff คือการใช้อัลกอริทึมที่มีดัชนีชี้สมรรถนะ คือ ค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความผิดพลาด และเป็นพื้นฐานของอัลกอริทึม Backpropagation กฎการเรียนรู้เรียกว่า LMS (Least Mean Square) algorithm จะใช้กับ Adaptive Linear Neural Network (ADALINE) ซึ่งลักษณะของโครงข่ายแสดงดังภาพประกอบ 2-24



ภาพประกอบ 2-24 โครงข่าย ADAALINE

ค่าน้ำหนักและไบอัสของโครงข่ายสามารถคำนวณได้จาก LMS algorithm ดังนี้

$$W(k+1) = W(k) + 2\alpha e(k)p^T(k) \quad (2-17)$$

$$b(k+1) = b(k) + 2\alpha e(k) \quad (2-18)$$

### 2.4.4 การเรียนรู้แบบแพร่กลับ Backpropagation

การแพร่กลับ (Backpropagation) สามารถฝึกสอนโครงข่ายหลายชั้นได้ จะมีการคำนวณหาค่าความผิดพลาด (Error) เพื่อตรวจสอบการเรียนรู้และจดจำ และนำค่า Error นี้เป็นแนวทางในการปรับค่าน้ำหนักและไบอัส ให้กับโครงข่ายเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง จะมีการคำนวณค่าความผิดพลาดและค่าความไวของโครงข่ายจากชั้นสุดท้ายก่อน จึงจะสามารถคำนวณค่าความผิดพลาดและค่าความไวในชั้นถัดลงมาได้ การปรับค่าน้ำหนักและไบอัสสามารถทำได้ดังนี้

$$W^m(k+1) = W^m(k) - \alpha S^m(a^{m-1})^T \quad (2-18)$$

$$b^m(k+1) = b^m(k) - \alpha S^m \quad (2-19)$$

โดยที่ความไวสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ขั้นสุดท้าย} \quad S^M = -2 \dot{F}^M (n^M)(t-a) \quad (2-20)$$

$$\text{ขั้นใดๆ} \quad S^m = \dot{F}^m (n^m)(W^{m+1})^T S^{m+1} \quad (2-21)$$

## 2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์

จากการศึกษาความเหมาะสมได้พิจารณาใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ LPC 2119 ที่ติดตั้งอยู่บนบอร์ด ET-ARM7 Stamp LPC2119 ของบริษัทที่ที่จำกัด โดยใช้ร่วมกับ ET-ARM7 Starter Kit V1 ของบริษัทที่ที่จำกัด โดยมีคุณสมบัติทางเทคนิคดังนี้

- หน่วยความจำโปรแกรมแบบ FLASH ขนาด 128Kbyte, RAM ภายใน 16Kbyte
- ใช้ X' TAL 19.6608 MHz สามารถทำงานที่ความเร็วสูงสุด 58.9824MHz
- โปรแกรมแบบ IN-SYSTEM PROGRAMING (ISP) ผ่านทาง ON-CHIP-BOOT-LOADER SOFTWARE ทาง PORT UART 0 โดยต่อเข้ากับ PORT RS232 ของเครื่องคอมพิวเตอร์พีซี
- 46 I/O PIN สามารถต่อกับ I/O ที่เป็นระดับสัญญาณ 5V ได้
- UART จำนวน 2 CHANNEL UART 0 แบบ 4 PIN ETT MAX232 ON BOARD, UART 1 แบบสัญญาณ TTL
- SPI จำนวน 2 CHANNEL, CAN จำนวน 2 CHANNEL, REAL TIME CLOK
- 4 CHANNEL 10 BIT A/D CONVERTER, PWM 6 OUTPUT, WATCHDOG TIMER
- POWER SUPPLY ใช้แรงดัน 3.3 V, บนบอร์ดมีส่วน POWER SUPPLY 1.8 V
- PCB SIZE 40 x 65 mm