

# การศึกษาการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสโดยใช้ ตัวเก็บประจุอิเล็กทรอนิกส์และการควบคุมแรงดันเพื่อปรับปรุง ประสิทธิภาพ

## Study of torque control of a single phase induction motor using electronic capacitor and voltage control techniques to improve efficiency.

นพดล ยมแก้ว    วิจิตร กิณเรศ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวเกี่ยวกับการศึกษาการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส โดยอาศัยเทคนิคการปรับความจุของตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรมกับขดลวดสตาร์ท และการปรับแรงดันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะที่ภาระทางกลในสภาวะต่างๆ โดยเทคนิคการควบคุมทั้งสองนี้สามารถที่จะแก้ปัญหาการออกตัวของมอเตอร์ที่มีภาระสูงเมื่อมีภาระทางกลสูง นอกจากนี้ในการใช้ตัวเก็บประจุกระแสตรงเพียงตัวเดียวที่สามารถปรับค่าได้ด้วยการควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์สามารถที่จะควบคุมแรงบิดให้เหมาะสมกับภาระทางกลที่เปลี่ยนแปลงไปในสภาวะคงตัวส่งผลทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการควบคุมแบบเดิม

คำสำคัญ : มอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส , การปรับความจุของตัวเก็บประจุ , ตัวเก็บประจุแบบกระแสตรง

### Abstract

This paper presents a study of motor control of a single phase induction motor based on adjustments of a capacitance value of a capacitor connected in series with a starting winding and supply voltage of a main winding in order to improve efficiency under a mechanical load variation. With both control techniques is able to solve a starting torque problem which is likely to experience when the motor has high load torque during start-up. Additionally, by using a single DC capacitor with variable values using the electronic control, the torque is controlled to be suitable for the mechanical load under steady state condition resulting in increase in efficiency compared to those of a conventional method.

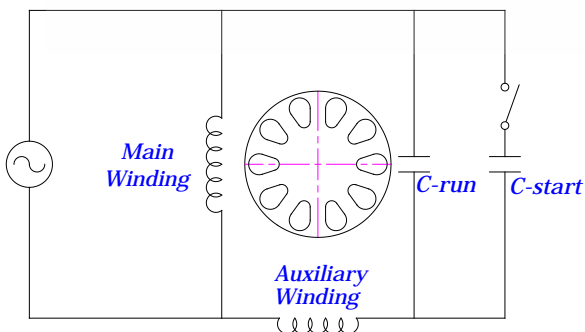
**Keywords :** Single phase induction motor , Adjustments of a capacitance , DC capacitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในภาคครัวเรือนซึ่งอยู่ในรูปของส่วนประกอบหลักของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น เครื่องซักผ้า เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น พัดลม ปั้มน้ำ เป็นต้น หรือ เป็นอุปกรณ์การใช้งานในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งในการใช้งานโดยส่วนใหญ่มักจะพบปัญหาแรงบิดในขณะออกตัวไม่เพียงพอ ปัญหาเรื่องประสิทธิภาพการทำงานต่ำและ ความเร็วรอบที่ไม่คงที่ ภายใต้ภาระทางกลที่เปลี่ยนแปลง หรือแม้แต่ปัญหาการสั่นและการกระเพื่อมของแรงบิด ในการศึกษางานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการศึกษาอยู่สองประเด็นที่จะทำการศึกษาคือการแก้ปัญหา เรื่องแรงบิดขณะออกตัวของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสไม่เพียงพอเมื่อภาระทางกลมาก และการปรับปรุงประสิทธิภาพเมื่อภาระทางกลมีการเปลี่ยนแปลงไปในสภาวะคงตัว

การแก้ปัญหาเรื่องแรงบิดขณะออกตัวของมอเตอร์อินดักชันหนึ่งเฟสไม่เพียงพอเมื่อภาระทางกลมาก โดยวิธีทั่วไปแล้วจะกระทำโดย การใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าสูงต่อขนานกับตัวเก็บประจุนั้น และจะมีสวิตช์ สำหรับการตัดวงจรตัวเก็บประจุสตาร์ทออก เมื่อมอเตอร์ออกตัวสำเร็จตามลักษณะการต่อวงจรตามรูปที่ 1 ซึ่งในส่วนของงานวิจัยนี้จะปรับปรุงโดยการแทนที่ตัวเก็บประจุทั้งสองด้วยชุดตัวเก็บประจุที่ปรับค่าได้ด้วยชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังและใช้ตัวเก็บประจุแบบกระแสตรง [1][2][3] ที่มีค่าสูงตัวเดียว เพื่อช่วยในการออกตัวให้มีแรงบิดมาก และในขณะเดียวกัน เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวจะปรับค่าความจุของตัวเก็บประจุให้มีค่าที่สูงขึ้น

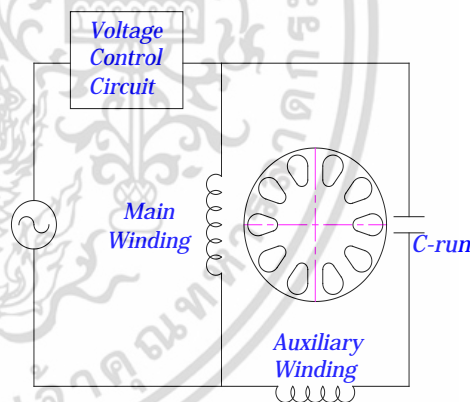


รูปที่ 1. วิธีการออกตัวเพื่อเพิ่มแรงบิดแบบทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

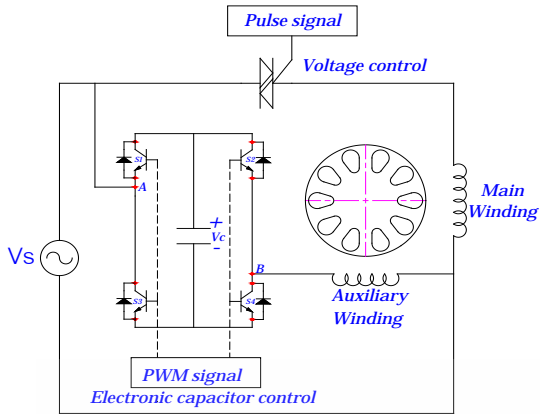
เพื่อให้ได้แรงบิดที่เหมาะสมกับภาระทางกลในขณะนั้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการปรับปรุงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นตามภาระทางกลต่างๆ

ประเด็นที่สองที่จะต้องคำนึงถึงคือประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นเมื่อมีการขับภาระทางกลที่มีการเปลี่ยนแปลงในสภาวะคงตัวของมอเตอร์ ซึ่งการควบคุมแรงบิดให้เหมาะสม และให้ความเร็วรอบที่คงที่ ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์ได้ โดยปกติแล้ววิธีการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสสามารถกระทำได้หลายวิธีด้วยกัน และวิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายคือวิธีการควบคุมแรงดันที่จ่ายเข้าสู่มอเตอร์ โดยที่เทคนิคการควบคุมแรงดันก็จะมีอยู่หลายวิธีการด้วยกัน วิธีการที่ได้รับความนิยม เช่น การใช้หม้อแปลงแรงดันอัตโนมัติ การปรับรีแอกแตนซ์ การใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ควบคุมขนาดหรือความถี่ของแหล่งจ่ายตามรูปที่ 2 และเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับชุดตัวเก็บประจุที่ปรับค่าได้แล้ว จะทำให้สามารถควบคุมแรงบิดได้ดีขึ้นและจะส่งผลต่อประสิทธิภาพด้วย



รูปที่ 2. วิธีการควบคุมแรงบิดและความเร็วแบบทั่วไป

ดังนั้นในบทความวิจัยนี้จะ ศึกษาวิธีการปรับปรุงแรงบิดออกตัวและประสิทธิภาพในขณะทำงานที่ภาระทางกลต่างๆ ในสภาวะคงตัวของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส โดยอาศัยหลักการทำงานของการทำงานของตัวเก็บประจรร่วมกับการปรับแรงดัน ดังในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นการปรับปรุงเป็นวิธีการใหม่ โดยการต่อชุดควบคุมแรงดันอนุกรมกับขดลวดหลักซึ่งจะควบคุมแรงดันที่จ่ายเข้าขดลวดหลักเท่านั้น และต่อชุดปรับตัวเก็บประจุนุกรมกับขดลวดช่วย

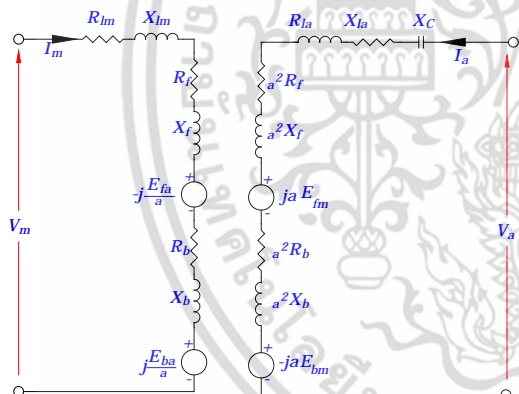


รูปที่ 3. วิธีการควบคุมที่นำเสนอสื่อ (ดัดแปลงจาก [1] โดยเพิ่มในส่วนของการควบคุมแรงดันด้วยไตรแอก)

## 2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 แบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส

แบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสที่มีขดลวดหลักและขดลวดช่วยโดยพิจารณา จากวงจรทั่วไปและวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส [4] ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4. วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส

สัญลักษณ์

- $V_m, V_a$  คือแรงดันขดหลักและขดช่วย
- $I_m, I_a$  คือกระแสขดหลักและขดช่วย
- $R_{lm}, R_{la}$  คือความต้านทานของขดหลักและขดช่วย
- $X_{lm}, X_{la}$  คือรีแอกแตนซ์รั่วไหล (leakage reactance) ขดหลักและขดช่วย
- $X_{mag}$  คือค่ารีแอกแตนซ์แมกเนไตซิง (magnetizing reactance)
- $X_c$  คือค่ารีแอกแตนซ์ (Reactance) ของคาปาซิเตอร์

ตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับปริญญาตรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสมมูลรูปที่ 4 จะสามารถวิเคราะห์สมการได้ดังนี้

$$V_m = (Z_{lm} + Z_f + Z_b)I_m - j\frac{E_{fa}}{a} + j\frac{E_{ba}}{a} \quad (1)$$

$$V_a = (Z_c + Z_{la} + a^2Z_f + a^2Z_b)I_a + jaE_{fm} - jaE_{bm} \quad (2)$$

$$\text{เมื่อ } Z_f = R_f + jX_f \quad (3)$$

$$Z_b = R_b + jX_b \quad (4)$$

$$Z_{lm} = R_{lm} + jX_{lm} \quad (5)$$

$$Z_{la} = R_{la} + jX_{la} \quad (6)$$

$$Z_c = -jX_c \quad (7)$$

$$E_{fm} = I_m Z_f \quad (8)$$

$$E_{bm} = I_m Z_b \quad (9)$$

$$E_{fa} = I_a a^2 Z_f \quad (10)$$

$$E_{ba} = I_a a^2 Z_b \quad (11)$$

$$E_f = E_{fm} - j\frac{E_{fa}}{a} \quad (12)$$

$$E_b = E_{bm} + j\frac{E_{ba}}{a} \quad (13)$$

นำสมการที่ (8) ถึง (11) เข้าไปแทนใน (1) และ (2) ทำให้สามารถเขียนสมการของแรงดันขดหลักและขดช่วยในรูปความสัมพันธ์กับกระแสได้ดังนี้

$$V_m = (Z_{lm} + Z_f + Z_b)I_m - ja(Z_f - Z_b)I_a \quad (14)$$

$$V_a = ja(Z_f - Z_b)I_m + (Z_c + Z_{la} + a^2Z_f + a^2Z_b)I_a \quad (15)$$

และกำลังส่งผ่านช่องอากาศที่เกิดขึ้นดังนี้

$$P_g = P_{gf} - P_{gb} \quad (16)$$

โดยที่

$$P_{gf} = \text{Re}(E_f I_m^* + jaE_f I_a^*) \quad (17)$$

$$P_{gb} = \text{Re}(E_b I_m^* - jaE_b I_a^*) \quad (18)$$

นำสมการที่ (12) และ (13) แทนใน สมการที่ (17) และ (18) จะได้

$$P_g = (|I_m|^2 + |aI_a|^2)(R_f - R_b) + 2a|I_a||I_m|(R_f + R_b)\sin(\theta_a - \theta_m) \quad (19)$$

เมื่อ มุม  $\theta_m$  และ  $\theta_a$  คือ มุมของกระแสขดหลักและกระแสขดช่วย และจะได้กำลังทางกลดังนี้

$$P_m = (1 - S)P_g \quad (20)$$

และจะได้กำลังทางกลขาออก

$$P_o = P_m - P_{loss} \quad (21)$$

และได้แรงบิดที่เกิดขึ้น

$$T = T_f - T_b = \frac{P_{gf} - P_{gb}}{\omega_{syn}} = \frac{P_g}{\omega_{syn}} \quad (22)$$

และจากสมการที่ (20) สามารถพิจารณาแรงบิดขณะออกตัวได้โดยที่ สลิป (Slip)  $S = 1$  และได้  $R_f = R_b$  ซึ่งจะได้สมการแรงบิดขณะออกตัวของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสดังต่อไปนี้

$$T_{st} = \frac{2aI_a \| I_m \| (R_f + R_b)}{\omega_{syn}} \sin(\theta_a - \theta_m) \quad (23)$$

$$\text{หรือ } T_{st} = KI_a I_m \sin(\alpha) \quad (24)$$

เมื่อ  $\alpha$  คือ มุมระหว่าง  $I_m$  กับ  $I_a$

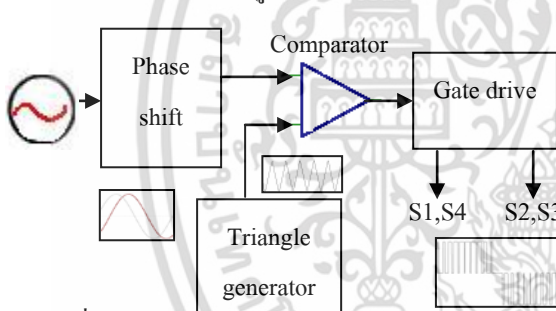
### 3. การออกแบบชุดทดลอง

#### 3.1 หลักการทำงานและการออกแบบชุดตัวเก็บประจุอิเล็กทรอนิกส์

การทำงาน

การทำงานของชุดทดลองตัวเก็บประจุอิเล็กทรอนิกส์

สำหรับการทดลองนี้ตาม รูปที่ 5.



รูปที่ 5. วงจรควบคุมชุดตัวเก็บประจุอิเล็กทรอนิกส์

โดยการตรวจจับแรงดันจากแหล่งจ่ายและแปลงระดับแรงดันจากแรงดันสูงให้ต่ำลงเพื่อปรับมุมเฟสของสัญญาณแรงดันซึ่งจะได้สัญญาณที่มีมุมเฟสที่ต่างจากแหล่งจ่ายแล้วนำสัญญาณไปทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมที่สร้างขึ้นมา ซึ่งผลของการเปรียบเทียบจะได้สัญญาณ PWM ออกมาและจะเข้าสู่วงจรขับสวิตช์เพื่อขับสวิตช์ที่เป็นแบบ Full bridge ในวงจรกำลัง โดยที่ความถี่ของสัญญาณสามเหลี่ยมที่ใช้คือ 1.3 KHz และใช้มอดูเลชันอินเดคเท่ากับ 0.9

ส่วนของวงจรกำลังจะประกอบไปด้วยสวิตช์แบบ Full bridge ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ IGBT และ ตัวเก็บประจุกระแสตรง ตามรูปที่ 3 โดยสามารถปรับขนาดของตัวเก็บประจุได้ด้วยการปรับมุมเฟสของวงจรควบคุมให้มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างกับมุมเฟสของแรงดันจากแหล่งจ่าย ซึ่งในแต่ละความต่างของมุมเฟส จะได้กระแสและแรงดันที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถคำนวณขนาดตัวเก็บประจุได้จากสมการต่อไปนี้

$$C_{eff} = \frac{I_{aux}}{\omega |V_{br}|} \quad (25)$$

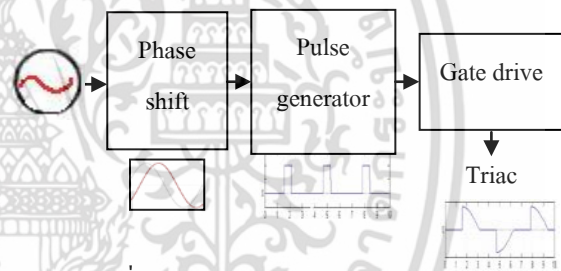
โดยที่  $I_{aux}$  คือค่าสัมบูรณ์ของกระแสชดช่วย และ  $\omega$  คือความเร็วเชิงมุม และ  $|V_{br}|$  คือค่าสัมบูรณ์ของแรงดันของชุด Full-Bridge หรือ  $|V_{AB}|$  แรงดันที่เทียบระหว่างจุด A กับ จุด B ตามรูปที่ 3

ดังนั้นในขณะที่มอเตอร์ทำงานในสภาวะต่างๆจะมี

ความต้องการขนาดตัวเก็บประจุที่ต่างกัน ซึ่งในชุดทดลองนี้ก็จะสามารถทำการปรับขนาดของตัวเก็บประจุได้ด้วยการปรับมุมของสัญญาณควบคุม

#### 3.2 หลักการทำงานและการออกแบบชุดควบคุมแรงดัน

การทำงานของชุดควบคุมแรงดัน ชุดทดลองนี้คือ



รูปที่ 6. วงจรควบคุมของชุดควบคุมแรงดัน

โดยการตรวจจับแรงดันจากแหล่งจ่ายและแปลงระดับแรงดันจากแรงดันสูงให้ต่ำลงเพื่อปรับมุมเฟสของสัญญาณแรงดันซึ่งจะได้สัญญาณที่มีมุมเฟสที่ต่างจากมุมเฟสของแหล่งจ่ายแล้วสัญญาณที่ออกจากรวมจะนำไปสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ 100 เฮิรตซ์ สัญญาณพัลส์ที่ได้ก็จะเข้าสู่วงจรขับสวิตช์และจะขับสวิตช์ ในวงจรกำลังต่อไป ซึ่งสวิตช์ที่ใช้ในวงจรกำลังนั้นในการทดลองนี้จะใช้ไครเอค โดยที่การควบคุมแรงดันที่จ่ายเข้าสู่มอเตอร์ควบคุมได้ด้วยการปรับมุมของสัญญาณที่ถูกรวมให้สามารถปรับได้ ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 90 องศา

### 4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

การศึกษาดทดลองจะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสที่มี

ค่าพารามิเตอร์ดังตาราง ที่ 1

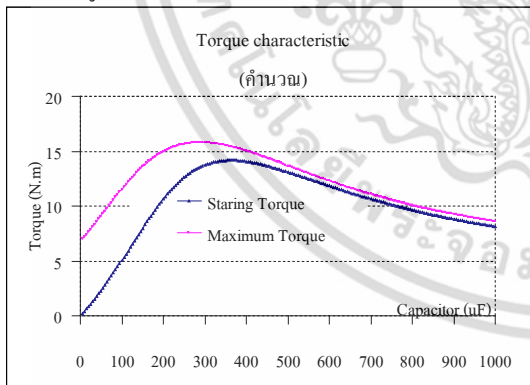
พิกัดและพารามิเตอร์มอเตอร์			
พิกัดมอเตอร์		พารามิเตอร์มอเตอร์	
กำลัง	0.8 kW	$R_{1m}$	2.30 $\Omega$
แรงดัน	220 V	$X_{1m}$	5.56 $\Omega$
กระแส	3.9 A	$R_{1a}$	3.50 $\Omega$
ความถี่	50 Hz	$X_{1a}$	7.74 $\Omega$
ความเร็ว	2850 rpm	$R_2$	6.61 $\Omega$
ตัวเก็บประจุ	25 $\mu F$	$X_2$	5.56 $\Omega$
		$X_C$	106.1 $\Omega$

ตารางที่ 1. พิกัดและพารามิเตอร์มอเตอร์

และชุดอุปกรณ์การทดสอบประกอบด้วย

- Power meter: Hioki 3193 1 set
- Torque sensor: Lebow 1 set
- Servo motor : Stromag 1 set
- Oscilloscope: Yokogawa DL750P 1 set
- Computer (monitoring and control) 1 set

ในการทดลองนี้สำหรับ ตัวเก็บประจุมอเตอร์ที่เลือกใช้ในชุดควบคุมตัวเก็บประจุด้วยอิเล็กทรอนิกส์เท่ากับ 220  $\mu F$  440 V โดยพิจารณาจากผลการคำนวณตามรูปที่ 7 ซึ่งจะได้แรงบิดออกตัวและแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ที่สูง



รูปที่ 7. แรงบิดออกตัวและแรงบิดสูงสุดที่ขนาดตัวเก็บประจุต่างๆ

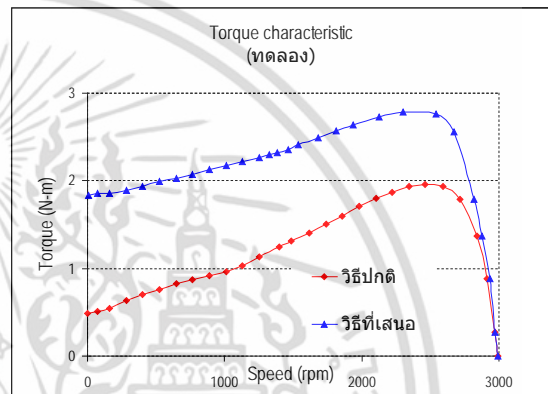
ซึ่งผลการทดลองจะแยกกล่าวใน 2 สภาวะการทำงาน คือ สภาวะออกตัว และ สภาวะคงตัว โดยที่จะทำการทดลองด้วยวิธีการ 2 วิธี ดังนี้

1. วิธีการปกติคือการใช้งานที่แรงดันและตัวเก็บประจุตามพิกัด

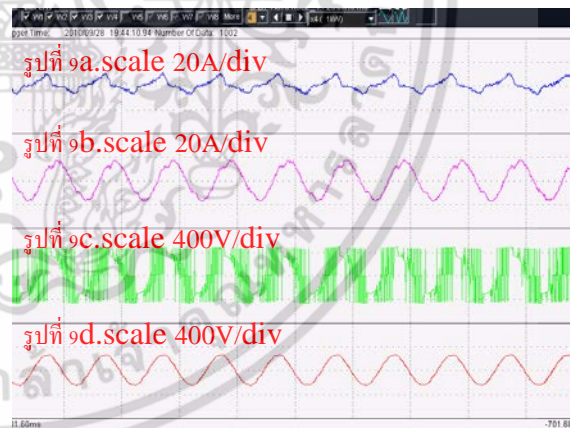
2. วิธีการที่นำเสนอคือการปรับแรงดันและปรับตัวเก็บประจุ

4.1 ผลการทดลองในสภาวะขณะออกตัว

จากรูปที่ 8 เมื่อเปรียบเทียบลักษณะแรงบิดกับความเร็วรอบ ด้วยวิธีปกติกับวิธีการที่นำเสนอ โดยที่กำหนดแรงดัน  $V_s$  ตามรูปที่ 3 เป็น 60 % ของแรงดันพิกัดเพื่อป้องกันอุปกรณ์วัดแรงบิดเสียหาย จะได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถที่จะให้แรงบิดขณะออกตัวได้ดีกว่าวิธีการปกติ และลักษณะของสัญญาณกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นตามรูปที่ 9



รูปที่ 8. ลักษณะแรงบิดกับความเร็ว



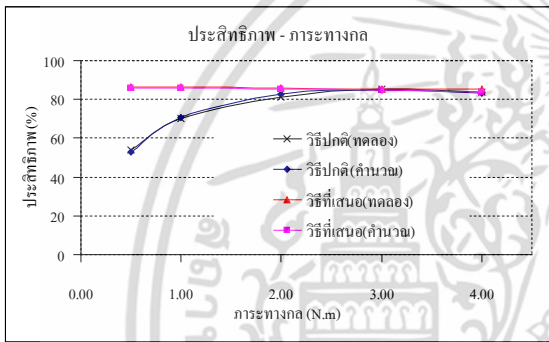
รูปที่ 9. รูปสัญญาณที่ทดสอบด้วยวิธีการที่นำเสนอ

โดยที่ในรูปที่ 9a และ 9b คือลักษณะสัญญาณกระแสขดช่วย และกระแสรวม ที่มีสเกล 20A/div ตามลำดับ และรูปที่ 9c และ 9d คือสัญญาณแรงดันที่จุด A เทียบกับจุด B และแรงดันจากแหล่งจ่ายในรูปที่ 3 มีสเกล 400V/div จะสามารถคำนวณ  $C_{eff}$  ตามสมการที่ (26) ได้ดังนี้ โดยที่อ่านค่า  $I_{aux} = 7.3 A$   $\omega = 314.16 rad/s$  และ  $V_{AB} = 309 V$  จะได้  $C_{eff} = 75.1 \mu F$ .

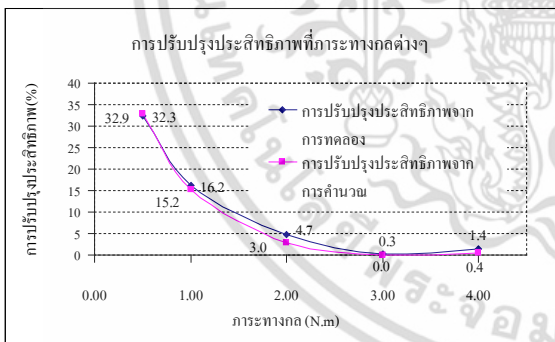
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ผลการทดลองในสถานะคงตัว

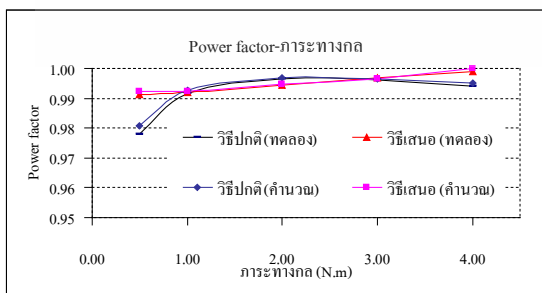
รูปที่ 10 แสดงประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นที่ได้จากการทดลองและการคำนวณที่ภาระทางกลต่างๆที่ทำการทดสอบด้วยวิธีปกติและวิธีที่นำเสนอ และในรูปที่ 11 แสดงความต่างของประสิทธิภาพด้วยวิธีการทั้งสองที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีการที่นำเสนอสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้ดีกว่าที่ภาระทางกลต่ำ และในช่วงของการทำงานที่ภาระทางกลตามพิกัดประสิทธิภาพจะค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในส่วนที่ภาระทางกลสูงกว่าพิกัดวิธีที่เสนอจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าซึ่งในส่วนนี้จะเกิดจากการปรับขนาดของตัวเก็บประจุเป็นหลัก



รูปที่ 10. ประสิทธิภาพที่ภาระทางกลต่างๆ



รูปที่ 11. ประสิทธิภาพปรับปรุงขึ้นที่ภาระทางกลต่างๆ



รูปที่ 12. องค์กรประกอบกำลัง (Power factor)

ในรูปที่ 12 แสดงค่าองค์กรประกอบกำลังที่ได้จากการ

ทดลองและการคำนวณของวิธีการทั้งสอง ซึ่งวิธีการที่นำเสนอจะมีค่าองค์กรประกอบกำลังที่เพิ่มขึ้นเมื่อภาระทางกลเพิ่มขึ้น ส่วนวิธีการปกติจะมีค่าองค์กรประกอบกำลังที่ต่ำกว่าที่ภาระทางกลต่ำและสูงกว่าพิกัด

#### 5. สรุป

จากการศึกษาการควบคุมแรงบิดขณะออกตัวและคงตัวด้วยเทคนิคการปรับตัวเก็บประจุและควบคุมแรงดันด้วยการควบคุมเฟส นั้นสามารถที่จะแก้ไขปัญหาแรงบิดในขณะออกตัวได้ดีกว่าการออกตัวด้วยวิธีปกติ ประมาณ 3 เท่าของการออกตัวด้วยวิธีการปกติที่ 25  $\mu\text{F}$  และเมื่อเข้าสู่สถานะคงตัวสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์ได้ถึง 32.3 % ในช่วงที่ภาระทางกลต่ำ และในช่วงภาระทางกลตามพิกัดประสิทธิภาพจะใกล้เคียงการวิธีปกติที่ทดสอบเทียบ

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทสยามคอมเพรสเซอร์อุตสาหกรรมจำกัด เป็นอย่างสูง ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์การทดสอบ

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lettenmaier TA, Novotny DW and Lipo TA., "Single phase induction motor with an electronically control capacitor," IEEE Trans Ind.Appl, Vol.27, No.1., pp.38-43, 1991.
- [2] Jawad Faiz, F. Kasebi and P. Pillay, "Design and testing of an integrated electronically controlled capacitor for integral and fractional horse power single phase induction motor," Energy Conversion and Management, Vol.45, pp.2989-3001, 2004.
- [3] Eduard Muljadi, Yifan Zhao and Lipo TA, "Adjustable ac Capacitor for a Single-phase induction motor," IEEE Trans Ind. Appl, Vol.29, No.3., pp.479-485, 1993.
- [4] P.C.Sen, Principles of Electric Machines and Power Electronics, Second Edition, Ontario, Wiley, 1996.