

บทที่ 3

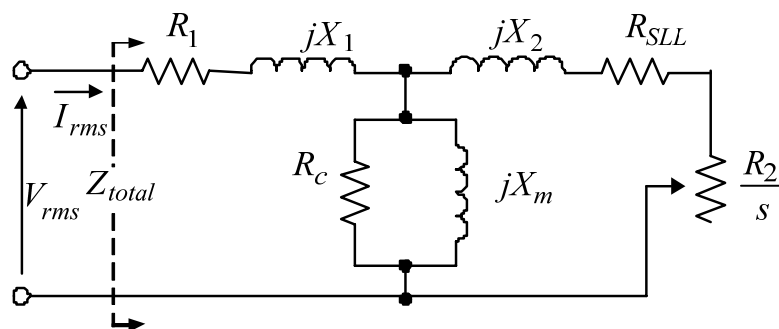
การประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ขับเคลื่อนด้วยอินเวอร์เตอร์โดยใช้จีเนติกอัลกอริทึม

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ขับเคลื่อนด้วยอินเวอร์เตอร์ โดยใช้จีเนติกอัลกอริทึม หาค่าพารามิเตอร์วงจรสมมูลแบบสมบูรณ์ [17] ซึ่งการใช้วงจรสมมูลแบบสมบูรณ์นี้จะเกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณน้อยกว่าวงจรสมมูลแบบประมาณ และยังแสดงการทำงานของจีเนติกอัลกอริทึมในการประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์ที่ละขั้นตอน ในตอนท้ายได้แสดงผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการที่ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการหาประสิทธิภาพมอเตอร์โดยการทดสอบแบบมีภาระ กับวิธีการประเมินประสิทธิภาพที่นำเสนอ (genetic algorithms)

3.2 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่นำเสนอ

วงจรสมมูลของมอเตอร์ที่ใช้เป็นวงจรสมมูลแบบสมบูรณ์ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำที่นำเสนอ

โดยที่	V_{rms}	หมายถึงแรงดันไฟฟ้าประสิทธิผล
	I_{rms}	หมายถึงกระแสไฟฟ้าประสิทธิผล
	Z_{total}	หมายถึงอิมพีแดนซ์รวม
	R_1	หมายถึงความต้านทานขดลวดที่สเตเตอร์
	R_2	หมายถึงความต้านทานโรเตอร์ที่โอนย้ายไปยังสเตเตอร์

R_{SLL}	หมายถึง stray load loss ในรูปของความต้านทาน
jX_1	หมายถึงรีแอกแตนซ์รั่วไหลของสเตเตอร์
jX_2	หมายถึงรีแอกแตนซ์รั่วไหลของโรเตอร์ที่โอนย้ายไปยังสเตเตอร์
R_c	หมายถึงความต้านทานที่เป็นผลให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก
jX_m	หมายถึงรีแอกแตนซ์ที่เกิดสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์
s	หมายถึงค่าสลิป

ค่าพารามิเตอร์วงจรสมมูลที่นำเสนอนี้เป็นค่าที่รวม Fundamental และองค์ประกอบฮาร์โมนิกต่าง ๆ แล้วไม่แยกตามความถี่ตามวิธีการคำนวณแบบ Superposition ค่าพารามิเตอร์ที่จินตออลกอริทึมประเมินขึ้นมาเหล่านี้ใช้สำหรับคำนวณประสิทธิภาพมอเตอร์ในขณะนั้นเพียงจุดเดียว มิใช่ค่าพารามิเตอร์ที่สามารถนำไปใช้ประเมินประเมินประสิทธิภาพได้ตลอดย่าน

ในวงจรสมมูลนี้มีการเพิ่ม stray load loss (R_{SLL}) เข้ามาเพื่อให้เกิดสภาพใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากขึ้น การเพิ่มความต้านทานนี้มีส่วนสำคัญที่ทำให้ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณลดลงเนื่องจาก เป็นความต้านทานที่เพิ่มขึ้นจากการที่กระแสไหลไม่สม่ำเสมอในตัวนำและค่าสูญเสียในแกนเหล็กที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของฟลักซ์แม่เหล็กที่มาจากกระแสทางกลสามารถหาได้จากสมการที่ (3.1)

$$R_{SLL} = \frac{m(1-s_f)R_2}{s_f} \quad (3.1)$$

โดยที่ m หมายถึงค่าเปอร์เซ็นต์ของกำลังที่พิกัด (ในที่นี้มีค่าระหว่าง 0.5 – 3%)
 s_f หมายถึงค่าสลิปที่พิกัด

3.3 การประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์ด้วยวิธีการที่นำเสนอ

การที่เลือกใช้จินตออลกอริทึมในการหาคำตอบนั้นเนื่องจากสามารถหาคำตอบได้ดีกว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบอื่น ๆ โดยการประมาณค่าพารามิเตอร์วงจรสมมูลที่ทำให้สมการเป้าหมายมีค่าต่ำที่สุดดังแสดงไว้ในสมการที่ (3.2)

$$\text{Min. } F_{\text{objective}} = \left| \frac{I_{rms,cal}}{I_{rms,mea}} - 1 \right|^2 + \left| \frac{P_{in,cal}}{P_{in,mea}} - 1 \right|^2 \quad (3.2)$$

โดยที่ $I_{rms,cal}$ หมายถึงกระแสไฟฟ้าประสิทธิผลที่คำนวณได้
 $I_{rms,mea}$ หมายถึงกระแสไฟฟ้าประสิทธิผลที่วัดได้จริง
 $P_{in,cal}$ หมายถึงกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้
 $P_{in,mea}$ หมายถึงกำลังไฟฟ้าที่วัดได้จริง

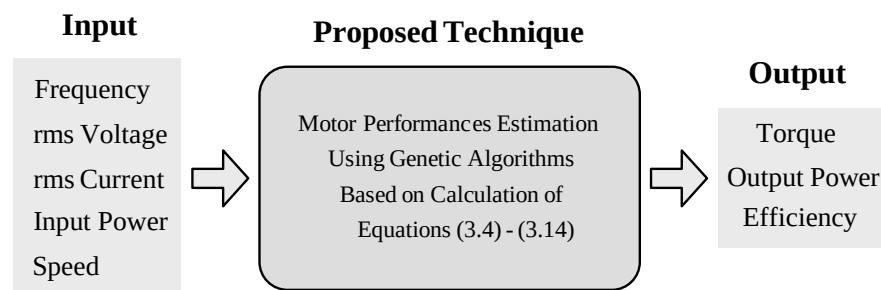
การทำงานของจีเนติกอัลกอริธึมนี้จะทำการประมาณค่าพารามิเตอร์วงจรสมมูลขึ้นมาโดยอาศัยข้อมูลที่วัดได้คือ แรงดันไฟฟ้าประสิทธิภาพ กระแสไฟฟ้าประสิทธิภาพ กำลังไฟฟ้า ความถี่ และความเร็วยรอบ ประมาณค่าพารามิเตอร์ขึ้นมา และใช้สมการเป้าหมายในการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาเหล่านั้นว่าเหมาะสมหรือไม่ กล่าวคือเมื่อใดก็ตามที่พารามิเตอร์วงจรสมมูลที่ได้มาทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าประสิทธิภาพที่คำนวณได้และกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ จะทำให้สมการเป้าหมายมีค่าต่ำ ซึ่งหมายถึงพารามิเตอร์วงจรสมมูลที่จีเนติกอัลกอริธึมประมาณขึ้นมาได้นั้นใกล้เคียงความถูกต้องมากที่สุด สมการที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องได้แสดงไว้ดังสมการที่ (3.3)

$$Fitness = \frac{100}{100 + F_{Objective}} \quad (3.3)$$

โดยเมื่อสมการที่ (3.3) ได้ผลลัพธ์ออกมาเท่ากับ 1 แสดงว่าพารามิเตอร์วงจรสมมูลมีค่าใกล้เคียงความถูกต้องมากที่สุด

การที่จะต้องใช้ค่ากระแสไฟฟ้าประสิทธิภาพและกำลังไฟฟ้าในการดำเนินการนั้นเนื่องจากเป็นค่าที่สามารถตรวจวัดได้จริงในทางปฏิบัติ ในส่วนการคำนวณนั้นการใช้ค่ากระแสไฟฟ้าประสิทธิภาพซึ่งประกอบไปด้วยค่าในแกนจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพนั้นยังไม่สามารถทำให้ได้พารามิเตอร์วงจรสมมูลที่ประมาณขึ้นมาถูกต้องได้ จำเป็นต้องใช้ค่าที่อยู่ในแกนจำนวนจริงเพียงอย่างเดียว คือกำลังไฟฟ้ามาเป็นตัวกำกับให้ค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ในแกนจำนวนจริงมีความถูกต้องมากขึ้น ส่งผลให้พารามิเตอร์วงจรสมมูลทั้งหมดใกล้เคียงความถูกต้องมากที่สุด

เมื่อจีเนติกอัลกอริธึมประมาณค่าพารามิเตอร์วงจรสมมูลขึ้นมาได้แล้วค่าหนึ่ง ขั้นตอนต่อไปโปรแกรมจะทำการหาค่า Z_{total} เพื่อนำไปสู่การหากำลังทางกล (P_{out}) แรงบิด (torque) และประสิทธิภาพมอเตอร์ (efficiency) ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยจีเนติกอัลกอริธึม

ค่าต่างๆที่ได้มาต้องอาศัยการคำนวณดังสมการที่ (3.4)-(3.7)

$$Z_1 = R_1 + jX_1 \quad (3.4)$$

$$Z_c = \frac{R_c jX_m}{R_c + jX_m} \quad (3.5)$$

$$Z_2 = R_{SLL} + jX_2 + \frac{R_2}{s} \quad (3.6)$$

$$Z_{total} = Z_1 + \frac{Z_2 Z_c}{Z_2 + Z_c} \quad (3.7)$$

จากนั้นจะหาค่าตัวประกอบกำลังของมอเตอร์ได้จากสมการที่ (3.8)

$$PF = \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}(Z_{total})}{\text{Re}(Z_{total})} \right) \right) \quad (3.8)$$

ดังนั้น $I_{rms,cal}$ และ $P_{in,cal}$ จะหาได้จากสมการที่ (3.9) ถึง (3.10)

$$I_{rms,cal} = \frac{V_{rms}}{Z_{total}(R_1, R_2, R_c, R_{SLL}, jX_1, jX_2, jX_m)} \quad (3.9)$$

$$P_{in,cal} = 3V_{rms}I_{rms,cal}(PF) \quad (3.10)$$

เมื่อได้พารามิเตอร์วงจรสมมูลที่เหมาะสมแล้วสามารถดำเนินการหาค่ากำลังทางกล แรงบิด และประสิทธิภาพได้จากสมการที่ (3.11) ถึง (3.14)

$$I_{2,cal} = \frac{I_{rms,cal} Z_c}{Z_c + Z_2} \quad (3.11)$$

$$P_{out,cal} = \frac{3I_{2,cal}^2 R_2 (1-s)}{s} \quad (3.12)$$

$$T_{out,cal} = \frac{P_{out,cal}}{\omega_r} \quad (3.13)$$

$$\text{Estimated Efficiency} = \frac{P_{out,cal}}{P_{in,mea}} \cdot 100 \quad (3.14)$$

โดยที่	$P_{out,cal}$	หมายถึงกำลังทางกลที่คำนวณได้
	$I_{2,cal}$	หมายถึงกระแสไฟฟ้าของโรเตอร์ที่โอนย้ายไปยังสเตเตอร์ที่คำนวณได้
	$T_{out,cal}$	หมายถึงแรงบิดทางกลที่คำนวณได้
	ω_r	หมายถึงความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์

3.4 การทดสอบการประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์ขนาดเล็กด้วยวิธีการที่นำเสนอ

การหาประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้าขณะใช้งานจริง (field efficiency) นั้นสามารถหาได้โดยการวัดกำลังทางกลที่เพลา ($P_{mechanical}$) และกำลังไฟฟ้า ($P_{electrical}$) เพื่อนำมาหาประสิทธิภาพต่อไปดังสมการ

$$\text{Field Efficiency} = \frac{P_{mechanical}}{P_{electrical}} \cdot 100 \quad (3.15)$$

แต่ในสภาพความเป็นจริงการติดตั้งอุปกรณ์วัดกำลังกลที่เพลานั้นไม่สะดวก เนื่องจากมอเตอร์ในอุตสาหกรรมจะมีภาระต่ออยู่ที่เพลา และการถอดภาระออกจะใช้เวลา และอาจมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นการประเมินประสิทธิภาพด้วยจินตอิลกอร์ริซึมจึงเป็นขั้นตอนที่นำมาใช้ทดแทนการหาประสิทธิภาพขณะใช้งานทั่วไปที่มีความแม่นยำน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากมอเตอร์ถูกขับเคลื่อนโดยอินเวอร์เตอร์แล้ว วิธีการแบบทั่วไปจะหาประสิทธิภาพได้แม่นยำน้อยมาก สำหรับวิธีการที่นำเสนอนี้ไม่จำเป็นต้องนำมอเตอร์เข้าทดสอบในห้องปฏิบัติการ ไม่ต้องถอดภาระออกจากมอเตอร์ เหมาะกับมอเตอร์ที่ใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

ดังนั้นจึงทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องแม่นยำของวิธีประเมินประสิทธิภาพโดยจินตอิลกอร์ริซึมกับวิธี การทดสอบแบบมีภาระ ที่ถือว่ามีความแม่นยำมากที่สุด ในห้องปฏิบัติการทดสอบ โดยดำเนินการกับมอเตอร์ขนาด 2.2 kW และ 5.5 kW ที่ใช้อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อน เพื่อจะได้นำผลลัพธ์ของวิธีการที่นำเสนอเป็นข้อยืนยันนำไปใช้งานกับมอเตอร์ฟัดอื่น ๆ ที่ขับเคลื่อนด้วยอินเวอร์เตอร์ต่อไป

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

1. มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 2 ตัวฟัดต่างกันมีข้อมูลที่ป้ายฟัดดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของมอเตอร์ที่ใช้ทดสอบ

	2.2 kW (3 hp)	5.5 kW (7.5 hp)
Hz	50	50
V	220/380	220/380
A	8.7/5.0	20.4/11.8
rpm	1420	1430
Pole	4	4

2. อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส 380-440 V, 50/60 Hz, 27.9 A, switching frequency 1 kHz, Fuji FRENIC 5000G11, Type FRN7.5G11S-4JE

3. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล (digital power meter) รุ่น WT230, Yokogawa (true RMS)

4. เครื่องวัดความเร็วรอบ (tachometer)

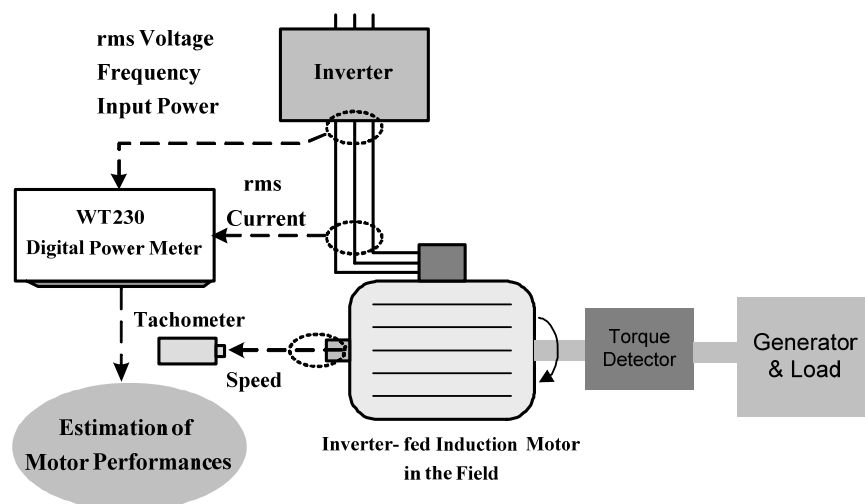
5. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและภาระทางไฟฟ้าปรับค่าได้

6. เครื่องวัดแรงบิด (torque Detector)

3.4.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ

วิธีดำเนินการทดสอบมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. ต่อวงจรของอินเวอร์เตอร์เข้ากับมอเตอร์ทดสอบ และต่อเพลลาของมอเตอร์เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายภาระทางไฟฟ้าพร้อมทั้งต่ออุปกรณ์วัดแรงบิด (torque detector) ที่เพลลาและติดตั้งมิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอลดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

2. ทำการทดสอบมอเตอร์แต่ละตัวที่ความถี่ 40, 45 และ 50 Hz โดยจ่ายภาระทางกลและปรับภาระทางกลลดลงทีละขั้น

3. ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าประสิทธิผล (V_{rms}) กระแสไฟฟ้าประสิทธิผล (I_{rms}) กำลังไฟฟ้า (P_{in}) และความเร็วรอบ (speed) เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพโดยวิธีที่นำเสนอ และวัดแรงบิดที่เพลลา (torque) เพื่อหากำลังกลขาออก (P_{out}) เพื่อนำไปหาประสิทธิภาพ (efficiency; Eff) ตามวิธี การทดสอบแบบมีภาระ

3.4.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ

จากการทดสอบทำการหาประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธี การทดสอบแบบมีภาระ และวิธีที่นำเสนอ (proposed technique) เปรียบเทียบกันที่ความถี่ต่าง ๆ และปรับภาระทางกลลดลงทีละขั้นได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ถึง 3.7

ตารางที่ 3.2 ค่าที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ที่ความถี่ 40 Hz

Measurement Data							Proposed Technique		
V_{rms} (volt)	I_{rms} (amp)	P_{in} (watt)	Torque (N-m)	Speed (rpm)	P_{out} (watt)	Eff (%)	Torque (N-m)	P_{out} (watt)	Eff (%)
Avg	Avg								
226.63	5.46	2559	15.95	1096.9	1832.29	71.60	16.19	1860.45	72.70
226.56	5.12	2371	14.86	1104.5	1719.67	72.53	14.56	1684.73	71.06
226.62	4.84	2207	13.88	1111.5	1616.23	73.23	13.61	1584.79	71.81
226.55	4.58	2057	12.99	1118.1	1521.57	73.97	12.70	1487.61	72.32
226.24	4.28	1883	11.81	1125.8	1392.88	73.97	11.94	1408.21	74.79
226.23	4.00	1715	10.73	1133.2	1273.82	74.28	10.61	1259.58	73.44
225.96	3.73	1549	9.65	1140.8	1153.29	74.45	9.56	1142.54	73.76
224.01	3.42	1346	8.36	1149.9	1007.09	74.82	8.35	1005.89	74.73
224.22	3.20	1200	7.38	1156.3	893.99	74.50	7.44	901.25	75.10
223.76	2.97	1034	6.20	1163.5	755.72	73.09	6.21	756.94	73.21

หมายเหตุ : ค่าแรงดันประสิทธิผล และค่ากระแสไฟฟ้าประสิทธิผลที่วัดได้เป็นค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่รวมค่าฮาร์โมนิกส์ต่าง ๆ เข้ามาด้วย

ตารางที่ 3.3 ค่าที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ที่ความถี่ 45 Hz

Measurement Data							Proposed Technique		
V_{rms} (volt)	I_{rms} (amp)	P_{in} (watt)	Torque (N-m)	Speed (rpm)	P_{out} (watt)	Eff (%)	Torque (N-m)	P_{out} (watt)	Eff (%)
Avg	Avg								
238.08	5.37	2791	15.64	1249.5	2047.28	73.35	15.92	2083.93	74.67
238.21	4.86	2469	13.97	1260.8	1845.21	74.74	13.83	1826.72	73.99
238.16	4.56	2278	12.89	1268.4	1712.82	75.19	12.95	1720.80	75.54
237.85	4.29	2110	11.90	1275.1	1589.62	75.34	11.81	1577.60	74.77
237.52	4.03	1942	11.02	1281.8	1479.81	76.20	10.98	1474.44	75.92
237.57	3.81	1773	10.03	1288.4	1353.80	76.36	10.17	1372.70	77.42
237.68	3.57	1604	9.05	1295.2	1227.97	76.56	9.14	1240.18	77.32
238.05	3.34	1432	7.97	1302.1	1087.19	75.92	8.17	1114.47	77.83
237.53	3.12	1262	6.88	1308.7	943.26	74.74	6.90	946.00	74.96

ตารางที่ 3.4 ค่าที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ที่ความถี่ 50 Hz

Measurement Data							Proposed Technique		
V_{rms} (volt)	I_{rms} (amp)	P_{in} (watt)	Torque (N-m)	Speed (rpm)	P_{out} (watt)	Eff (%)	Torque (N-m)	P_{out} (watt)	Eff (%)
Avg	Avg								
248.57	5.18	2933	15.15	1402.6	2226.13	75.90	14.82	2177.64	74.25
249.69	4.75	2634	13.58	1413.2	2010.51	76.33	13.51	2000.15	75.94
250.37	4.44	2413	12.50	1420.6	1860.31	77.10	12.58	1872.22	77.59
249.44	4.21	2250	11.61	1427.5	1736.25	77.17	11.73	1754.19	77.96
249.54	3.98	2073	10.62	1433.9	1595.32	76.96	10.72	1610.34	77.68
248.81	3.74	1890	9.64	1440.7	1454.97	76.98	9.76	1473.08	77.94
248.48	3.58	1762	8.95	1445.7	1355.52	76.93	9.03	1367.63	77.62
250.13	3.38	1605	8.07	1451.2	1226.89	76.44	7.94	1207.12	75.21
249.53	3.20	1436	7.18	1457.9	1096.62	76.37	7.08	1081.35	75.30
249.68	3.02	1285	6.29	1463.3	964.25	75.04	6.14	941.25	73.25

ตารางที่ 3.5 ค่าที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์ขนาด 5.5 kW ที่ความถี่ 40 Hz

Measurement Data							Proposed Technique		
V_{rms} (volt)	I_{rms} (amp)	P_{in} (watt)	Torque (N-m)	Speed (rpm)	P_{out} (watt)	Eff (%)	Torque (N-m)	P_{out} (watt)	Eff (%)
Avg	Avg								
228.76	11.53	5486	37.11	1133.4	4406.34	80.32	37.34	4433.64	80.82
227.92	11.22	5300	35.92	1135.0	4271.06	80.59	35.48	4218.74	79.60
227.87	10.81	5076	34.35	1137.7	4094.09	80.66	34.75	4141.77	81.60
227.35	10.37	4821	32.77	1140.4	3915.05	81.21	32.64	3899.52	80.89
226.85	9.97	4587	31.20	1143.2	3736.63	81.46	30.96	3707.89	80.83
227.96	9.60	4380	29.82	1145.8	3579.48	81.72	29.60	3553.07	81.12
227.30	9.02	4029	27.46	1150.2	3308.85	82.13	27.78	3347.41	83.08
227.09	8.69	3839	26.18	1152.7	3161.47	82.35	26.16	3159.06	82.29
227.88	8.17	3535	24.11	1156.8	2921.86	82.66	24.46	2964.27	83.85
227.53	7.85	3352	22.73	1159.1	2760.09	82.34	22.56	2739.45	81.73
226.98	6.85	2751	18.50	1167.7	2263.11	82.27	18.43	2254.55	81.95
226.82	6.67	2627	17.62	1169.0	2157.86	82.14	17.63	2159.09	82.19
226.85	6.44	2490	16.63	1171.0	2040.11	81.93	16.69	2047.47	82.23
226.49	5.75	2043	13.48	1176.7	1661.72	81.34	13.22	1629.67	79.77
225.95	5.35	1746	11.32	1180.1	1399.49	80.15	11.36	1404.43	80.4

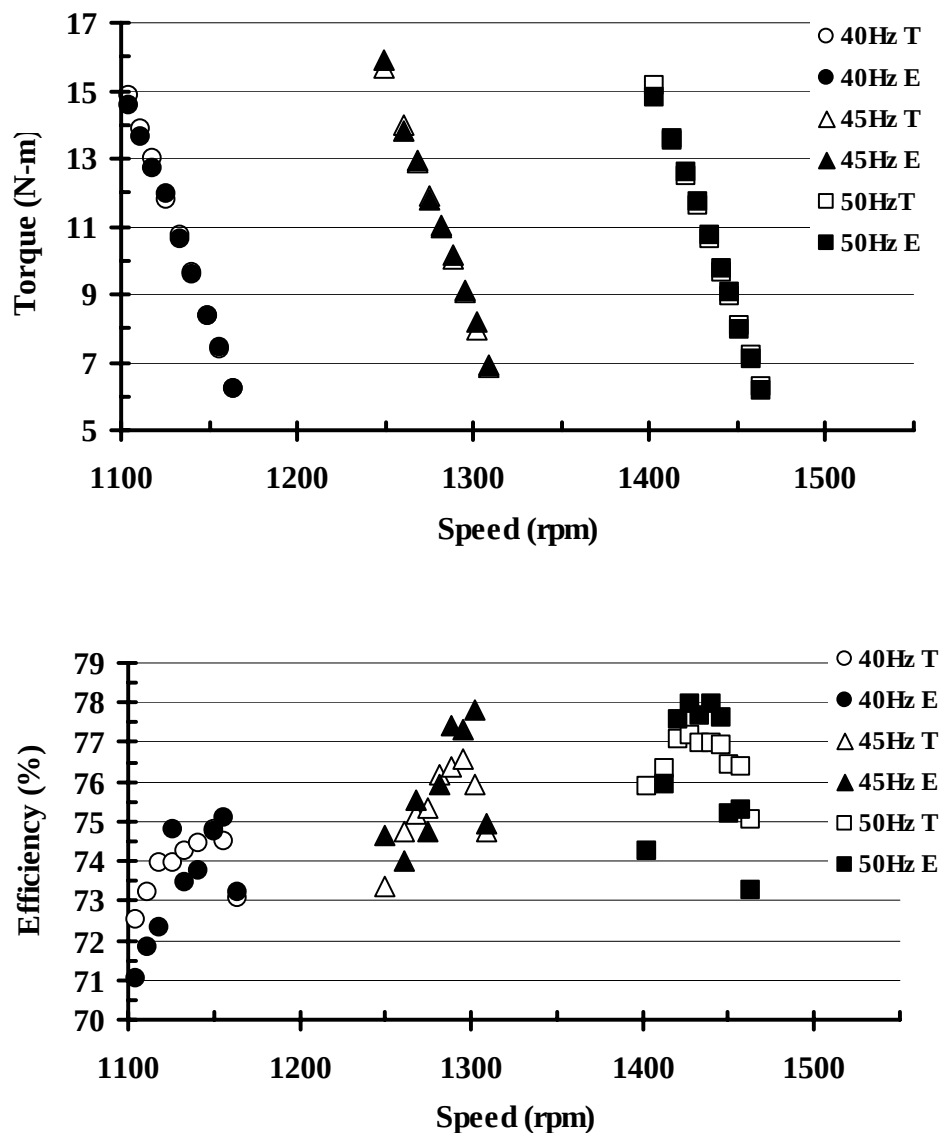
ตารางที่ 3.6 ค่าที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์ขนาด 5.5 kW ที่ความถี่ 45 Hz

Measurement Data							Proposed Technique		
V_{rms} (volt)	I_{rms} (amp)	P_{in} (watt)	Torque (N-m)	Speed (rpm)	P_{out} (watt)	Eff (%)	Torque (N-m)	P_{out} (watt)	Eff (%)
Avg	Avg								
241.02	11.63	6124	37.20	1286.0	5011.73	81.84	37.34	5030.59	82.15
240.76	11.19	5867	35.63	1288.1	4808.05	81.95	36.16	4879.57	83.17
240.57	10.77	5600	34.15	1290.3	4616.20	82.43	34.08	4606.74	82.26
240.30	10.36	5335	32.57	1292.6	4410.47	82.67	32.88	4452.45	83.46
239.98	9.94	5072	30.90	1295.6	4194.04	82.69	31.36	4256.48	83.92
239.75	9.52	4809	29.33	1298.6	3990.16	82.97	29.27	3982.00	82.80
239.28	9.15	4553	27.75	1300.6	3781.03	83.04	27.71	3775.58	82.93
239.07	8.96	4439	27.06	1302.4	3692.12	83.17	27.37	3734.41	84.13
238.95	8.78	4330	26.37	1303.8	3601.84	83.18	26.49	3618.23	83.56
238.45	8.59	4200	25.68	1304.7	3510.02	83.57	25.73	3516.85	83.73
238.43	8.31	4011	24.50	1306.9	3354.38	83.63	24.68	3379.02	84.24
237.83	7.75	3638	22.14	1311.3	3041.47	83.60	22.40	3077.18	84.58
237.25	6.76	2975	17.90	1318.9	2473.25	83.13	17.89	2471.87	83.09
236.43	6.55	2853	17.12	1320.0	2367.45	82.98	16.87	2332.88	81.77
236.36	6.05	2483	14.76	1324.6	2048.21	82.49	14.48	2009.36	80.92
235.88	5.71	2223	13.09	1327.3	1820.17	81.88	13.04	1813.22	81.57
235.68	5.27	1903	10.92	1330.9	1522.55	80.01	10.79	1504.42	79.06

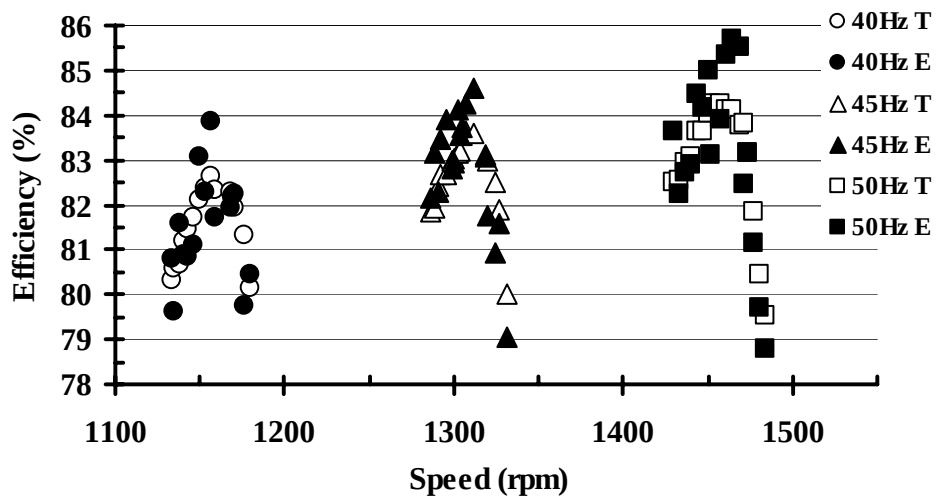
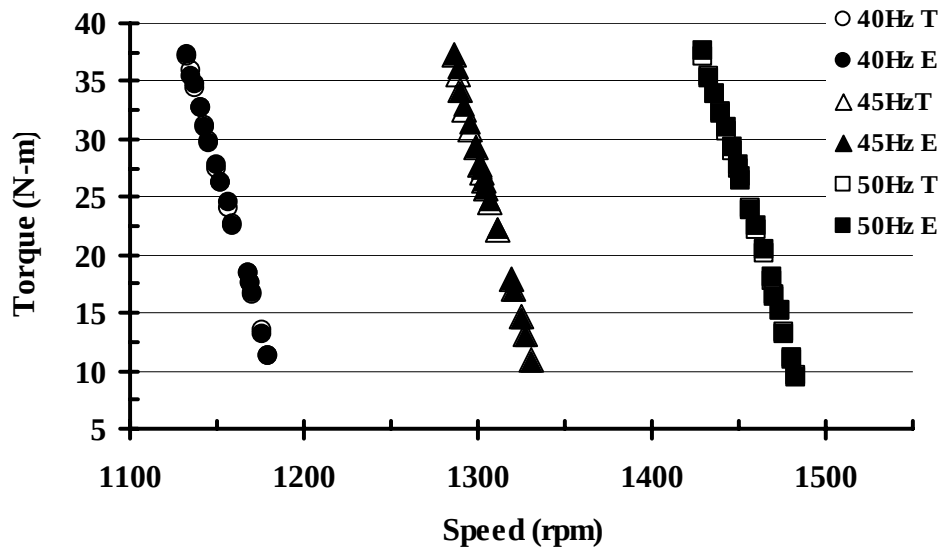
ตารางที่ 3.7 ค่าที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์ขนาด 5.5 kW ที่ความถี่ 50 Hz

Measurement Data							Proposed Technique		
V_{rms} (volt)	I_{rms} (amp)	P_{in} (watt)	Torque (N-m)	Speed (rpm)	P_{out} (watt)	Eff (%)	Torque (N-m)	P_{out} (watt)	Eff (%)
Avg	Avg								
247.70	11.79	6737	37.10	1430.1	5558.32	82.50	37.62	5636.23	83.66
248.31	11.28	6446	35.43	1433.3	5320.00	82.53	35.31	5301.98	82.25
248.33	10.77	6158	33.95	1436.3	5108.44	82.96	33.86	5094.90	82.74
248.60	10.36	5862	32.28	1439.9	4869.33	83.07	32.21	4858.77	82.89
249.01	9.94	5552	30.71	1443.4	4643.76	83.64	31.01	4689.13	84.46
249.20	9.52	5264	29.04	1446.9	4401.88	83.62	29.23	4430.68	84.17
248.80	9.15	4954	27.40	1450.0	4162.19	84.02	27.72	4210.80	85.00
249.40	8.96	4831	26.77	1451.5	4070.70	84.26	26.41	4015.95	83.13
249.09	8.31	4349	24.00	1457.2	3663.82	84.25	23.90	3648.55	83.89
249.38	8.05	4045	22.24	1460.5	3402.83	84.12	22.56	3451.79	85.33
249.93	7.75	3661	20.07	1464.5	3079.22	84.11	20.45	3137.52	85.70
250.00	7.31	3253	17.71	1468.9	2725.30	83.78	18.08	2782.24	85.53
249.98	6.76	3057	16.63	1470.9	2562.59	83.83	16.36	2520.98	82.47
249.95	6.55	2830	15.25	1473.4	2353.93	83.18	15.25	2353.93	83.18
250.34	6.34	2510	13.28	1476.6	2054.30	81.84	13.17	2037.29	81.17
248.81	5.45	2144	11.12	1480.4	1724.60	80.44	11.02	1709.09	79.71
248.58	4.94	1864	9.54	1483.5	1482.65	79.54	9.45	1468.67	78.79

จากตารางข้างต้นนำมาพล็อตกราฟโดยแสดงระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบและประสิทธิภาพกับความเร็วรอบของมอเตอร์แต่ละตัวทุกความถี่และภาระทางกลต่างๆ โดยค่าที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี การทดสอบแบบมีภาระ ใช้อักษรย่อ T และค่าที่ได้จากการประเมินโดยวิธีที่นำเสนอใช้อักษรย่อ E ดังรูปที่ (3.4) ถึง (3.5)



รูปที่ 3.4 แรงบิดและประสิทธิภาพที่ได้จากวิธีทดสอบและที่ได้จากการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีที่นำเสนอที่ภาระทางกลต่างๆ กันของมอเตอร์ขนาด 2.2 kW



รูปที่ 3.5 แรงบิดและประสิทธิภาพที่ได้จากวิธีทดสอบและที่ได้จากการเินประสิทธิภาพด้วยวิธีที่นำเสนอที่ภาระทางกลต่าง ๆ กันของมอเตอร์ขนาด 5.5 kW

3.4.4 สรุปผลการทดสอบ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3.2 ถึง 3.7 และรูปที่ 3.4 ถึง 3.5 จะเห็นว่ามีความคลาดเคลื่อนของการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีที่นำเสนอไม่เกิน 2 % เทียบกับวิธีการทดสอบแบบมีภาระ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอนี้สามารถนำไปใช้ได้จริงในทางปฏิบัติกับมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยอินเวอร์เตอร์ โดยไม่รบกวนการทำงานของมอเตอร์ เพียงอาศัยข้อมูลที่วัดได้จริงขณะใช้งานร่วมกับจีเนติกอัลกอริทึมเพื่อประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์