

บทที่ 5

การประหยัดพลังงานการขับเคลื่อนที่ใช้วิธีฐานแบบจำลอง

5.1 บทนำ

การหาวิธีประหยัดพลังงานในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น คือ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ดังนั้นจึงทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงาน ดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 4 โดยงานวิจัยดังกล่าวได้นำเสนอวิธีการประหยัดพลังงานโดยอาศัยวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นวิธีที่มีความยุ่งยาก ซับซ้อน ผู้วิจัยจึงคิดค้นวิธีการประหยัดพลังงานขึ้นใหม่ โดยจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสมการคำนวณของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น เป็นฐานในการคำนวณเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน โดยจะเรียกวิธีประหยัดพลังงานที่คิดค้นใหม่นี้ว่า วิธีฐานแบบจำลอง (Model Based Method : MBM) นอกจากนี้จะนำเสนอผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีฐานแบบจำลอง และการเปรียบเทียบผลการคำนวณดังกล่าวกับอีก 2 วิธี คือ การคำนวณด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีทางคณิตศาสตร์ เพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธีฐานแบบจำลองสามารถประหยัดพลังงานได้

5.2 การใช้วิธีฐานแบบจำลองสำหรับประหยัดพลังงาน

วิธีฐานแบบจำลองสำหรับการประหยัดพลังงาน จะใช้วิธีการควบคุมมอเตอร์ทั้งการควบคุมกระแสสนามและการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ควบคู่กัน โดยการควบคุมกระแสสนามมีวัตถุประสงค์เพื่อประหยัดพลังงานในการขับเคลื่อน ส่วนการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมความเร็วให้ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งการคำนวณจะมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

5.2.1 การหาจุดการทำงานสำหรับประหยัดพลังงาน

การหาจุดการทำงานเพื่อประหยัดพลังงาน จะคำนวณจากสมการพื้นฐานของมอเตอร์ซึ่งอธิบายไว้ในบทที่ 2 โดยเริ่มต้นจากการแทนค่ากระแสสนามตั้งแต่ 0.1-0.3 A จำนวน 30 ค่า ลงในสมการเพื่อคำนวณหาค่า v_f , i_a , v_a และ P_{loss} ต่าง ๆ ที่ทำให้ได้ค่าความเร็วและแรงบิดตามที่กำหนด โดยได้ยกตัวอย่างการคำนวณที่ความเร็ว 500 rpm และแรงบิด 0.6 N·m ดังต่อไปนี้

- ตัวอย่างการคำนวณหาจุดที่เกิดการประหยัดพลังงาน ที่ความเร็ว 500 rpm และแรงบิด 0.6 N·m สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 และบทที่ 3

ขั้นที่ 1 กำหนดค่าความเร็วรอบและแรงบิด ตามที่ต้องการ

ขั้นที่ 2 กำหนดค่ากระแสสนาม ให้มีค่า 0.1-0.3 A จำนวน 30 ค่า

ขั้นที่ 3 คำนวณค่ากระแสอาร์เมเจอร์ ตามสมการที่ (5.1) คือ

$$i_a = \frac{T_L}{K i_f} \tag{5.1}$$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าแรงดันเหนี่ยวนำด้านกลับ จากสมการที่ (5.2) คือ

$$e_g = K i_f \omega \tag{5.2}$$

ขั้นที่ 5 คำนวณค่าแรงดันสนามและแรงดันอาร์เมเจอร์ จากสมการที่ (5.3) และ (5.4) ตามลำดับ ดังนี้

$$v_f = i_f R_f \tag{5.3}$$

$$v_a = i_a R_a + e_g \tag{5.4}$$

ขั้นที่ 6 คำนวณค่ากำลังงานสูญเสีย จากสมการที่ (5.5) ดังนี้

$$P_{loss} = 15.99 i_a^2 + 735.43 i_f^2 + 2 i_a + (7.92 \times 10^{-5}) i_a^2 \omega^2 + (4.77 \times 10^{-8}) i_f^2 \omega \tag{5.5}$$

จากการคำนวณทั้ง 6 ขั้นตอน จะได้ผลการคำนวณที่ความเร็ว 500 rpm และแรงบิด 0.6 N·m ดังตารางที่ 5.1 ดังต่อไปนี้

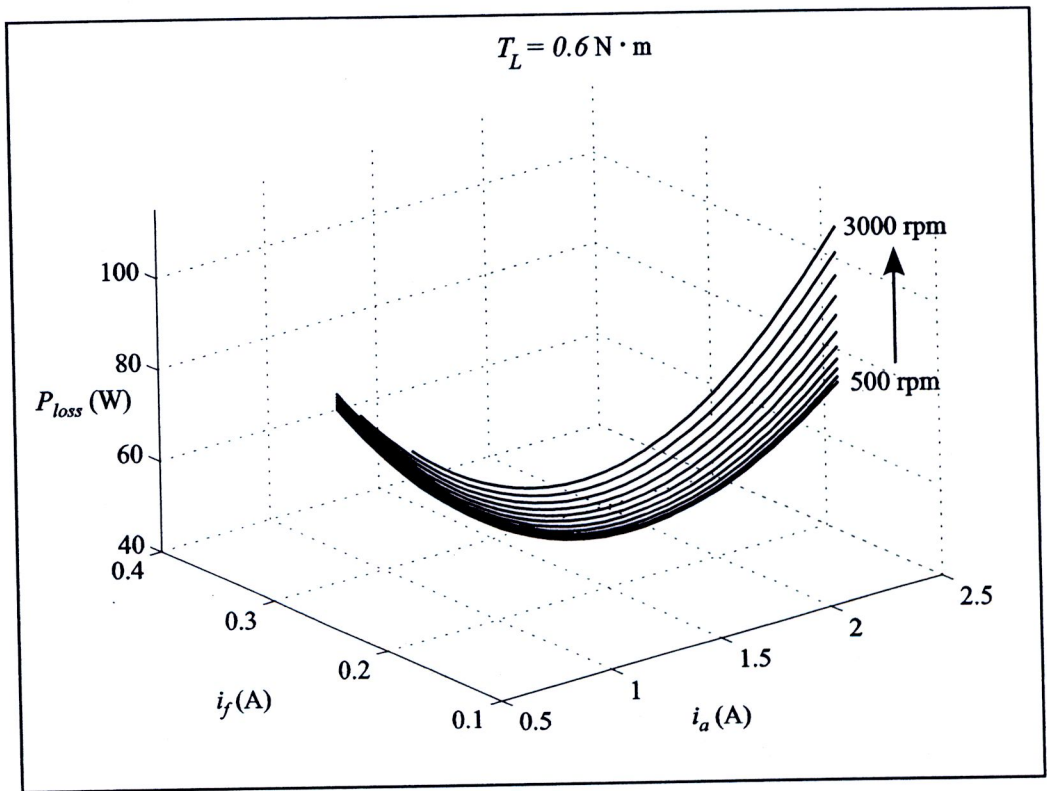
ตารางที่ 5.1 ผลการคำนวณที่ความเร็ว 500 rpm และแรงบิด 0.6 N·m

i_f (A)	v_f (V)	i_a (A)	v_a (V)	P_{loss} (W)
0.1138	83.6869	2.1176	48.6957	86.4314
0.1207	88.7588	1.9966	47.6600	79.3104

ตารางที่ 5.1 ผลการคำนวณที่ความเร็ว 500 rpm และแรงบิด 0.6 N · m (ต่อ)

i_f (A)	v_f (V)	i_a (A)	v_a (V)	P_{loss} (W)
0.1277	93.8307	1.8886	46.8335	73.5583
0.1345	98.9027	1.7918	46.1839	68.9166
0.1414	103.9746	1.7044	45.6855	65.1884
0.1483	109.0465	1.6251	45.3171	62.2213
0.1552	114.1184	1.5529	45.0613	59.8959
0.1621	119.1904	1.4868	44.9038	58.1174
0.1690	124.2623	1.4261	44.8326	56.8100
0.1759	129.3342	1.3702	44.8375	55.9126
0.1828	134.4062	1.3185	44.9099	55.3750
0.1897	139.4781	1.2705	45.0424	55.1562
0.1966	144.5500	1.2260	45.2287	55.2221
0.2035	149.6220	1.1844	45.4633	55.5443
0.2104	154.6939	1.1456	45.7415	56.0990
0.2172	159.7658	1.1092	46.0592	56.8660
0.2241	164.8378	1.0751	46.4126	57.8282
0.2310	169.9097	1.0430	46.7986	58.9710
0.2379	174.9816	1.0128	47.2143	60.2819
0.2448	180.0536	0.9842	47.6573	61.7500
0.2517	185.1255	0.9573	48.1253	63.3661
0.2586	190.1974	0.9317	48.6163	65.1220
0.2655	195.2693	0.9075	49.1285	67.0106
0.2724	200.3413	0.8846	49.6602	69.0257
0.2793	205.4132	0.8627	50.2101	71.1618
0.2862	210.4851	0.8419	50.7769	73.4142
0.2931	215.5571	0.8221	51.3593	75.7785
0.3000	220.6290	0.8032	51.9562	78.2511

จากผลการคำนวณในตารางที่ 5.1 พบว่ากำลังงานสูญเสียมีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 55.1562 W ในสภาวะกระแสสนาม เท่ากับ 0.1897 A และเมื่อนำไปพล็อตกราฟดูความสัมพันธ์ระหว่างกระแสสนาม กระแสอาร์เมเจอร์และกำลังงานสูญเสีย จะได้ดังรูปที่ 5.1 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 กราฟจุดต่ำสุดของกำลังงานสูญเสียเมื่อ แรงบิด โหลด 0.6 N · m ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

จากรูปที่ 5.1 คือ กราฟแสดงจุดต่ำสุดของกำลังงานสูญเสียเมื่อคำนวณโดยกำหนดแรงบิด เท่ากับ 0.6 N · m และเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วรอบตั้งแต่ 500-3000 rpm เพิ่มขึ้นทีละ 250 rpm ซึ่งจุดต่ำสุดในกราฟ หมายถึง จุดที่กำลังงานสูญเสียน้อยที่สุด ซึ่งก็คือ จุดที่เกิดการประหยัพลังงาน

5.2.2 การคำนวณกำลังงานอินพุต

จากหัวข้อ 5.2.1 เมื่อทำการคำนวณที่ค่าความเร็วรอบและแรงบิดที่แตกต่างกันไป จะได้ค่าต่าง ๆ ของจุดที่เกิดการประหยัพลังงาน ค่าที่ได้ คือ ค่าแรงดันสนาม แรงดันอาร์เมเจอร์ กระแสสนามและกระแสอาร์เมเจอร์ ซึ่งค่าเหล่านี้จะนำไปคำนวณค่ากำลังงานอินพุต ตามสมการที่ (5.6) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบในขั้นตอนต่อไปและได้แสดงผลจากการคำนวณแสดงไว้ดังตารางที่ 5.2 จากตารางนี้ได้กำหนดค่าความเร็วรอบและแรงบิดต่าง ๆ คือ กำหนดค่าความเร็วรอบ เท่ากับ

500-3000 rpm และกำหนดค่าแรงบิด เท่ากับ 0.2-1.4 N · m และ 1.5 N · m ซึ่งที่ค่าแรงบิด 1.5 N · m นี้คือ ค่าพิกัดของมอเตอร์ โดยต่อไปจะเรียกข้อมูลเหล่านี้ว่า จุดทดสอบ

$$P_m = v_a i_a + v_f i_f$$

(5.6)

ตารางที่ 5.2 จุดที่เกิดการประหยัพลังงานในแต่ละความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์

T_L (N · m)	N (rpm)	v_a (V)	i_a (A)	v_f (V)	i_f (A)	P_m (W)
0.2	500	26.1225	0.7059	83.6869	0.1138	27.9617
	750	33.5405	0.7059	83.6869	0.1138	33.1976
	1000	40.9584	0.7059	83.6869	0.1138	38.4336
	1250	48.3764	0.7059	83.6869	0.1138	43.6696
	1500	55.7943	0.7059	83.6869	0.1138	48.9056
	1750	63.2123	0.7059	83.6869	0.1138	54.1416
	2000	63.2123	0.7059	83.6869	0.1138	54.1416
	2250	81.4494	0.6655	88.7588	0.1207	64.9184
	2500	89.3169	0.6655	88.7588	0.1207	70.1544
	2750	97.1844	0.6655	88.7588	0.1207	75.3904
	3000	105.0519	0.6655	88.7588	0.1207	80.6263
0.4	500	36.7845	1.0353	114.1184	0.1552	55.7892
	750	46.8998	1.0353	114.1184	0.1552	66.2611
	1000	57.0152	1.0353	114.1184	0.1552	76.7331
	1250	68.6741	0.9912	119.1904	0.1621	87.3867
	1500	79.2390	0.9912	119.1904	0.1621	97.8587
	1750	89.8040	0.9912	119.1904	0.1621	108.3307
	2000	100.3689	0.9912	119.1904	0.1621	118.8026
	2250	114.3332	0.9507	124.2623	0.1690	129.6975
	2500	125.3477	0.9507	124.2623	0.1690	140.1694
	2750	136.3622	0.9507	124.2623	0.1690	150.6414
	3000	147.3767	0.9507	124.2623	0.1690	161.1133

ตารางที่ 5.2 จุดที่เกิดการประหยัคพลังงานในแต่ละความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ (ต่อ)

T_L (N · m)	N (rpm)	v_a (V)	i_a (A)	v_f (V)	i_f (A)	P_{in} (W)
0.6	500	45.0424	1.2705	139.4781	0.1897	83.6807
	750	57.4056	1.2705	139.4781	0.1897	99.3887
	1000	70.8543	1.2260	144.5500	0.1966	115.2759
	1250	83.6672	1.2260	144.5500	0.1966	130.9838
	1500	96.4800	1.2260	144.5500	0.1966	146.6918
	1750	109.2928	1.2260	144.5500	0.1966	162.3998
	2000	125.0377	1.1844	149.6220	0.2035	178.5348
	2250	138.3001	1.1844	149.6220	0.2035	194.2428
	2500	151.5625	1.1844	149.6220	0.2035	209.9508
	2750	169.1493	1.1456	154.6939	0.2104	226.3108
	3000	182.8612	1.1456	154.6939	0.2104	242.0187
0.8	500	52.1427	1.4334	164.8378	0.2241	111.6890
	750	66.1327	1.4789	159.7658	0.2172	132.5135
	1000	81.3649	1.4334	164.8378	0.2241	153.5770
	1250	95.9761	1.4334	164.8378	0.2241	174.5210
	1500	110.5872	1.4334	164.8378	0.2241	195.4650
	1750	127.6611	1.3906	169.9097	0.2310	216.7852
	2000	142.7218	1.3906	169.9097	0.2310	237.7291
	2250	157.7825	1.3906	169.9097	0.2310	258.6731
	2500	176.6944	1.3503	174.9816	0.2379	280.2291
	2750	192.2046	1.3503	174.9816	0.2379	301.1730
	3000	212.5015	1.3123	180.0536	0.2448	322.9460
1.0	500	58.1491	1.6404	180.0536	0.2448	139.4678
	750	74.1089	1.6404	180.0536	0.2448	165.6478
	1000	91.1484	1.5954	185.1255	0.2517	192.0208
	1250	107.5578	1.5954	185.1255	0.2517	218.2007
	1500	123.9672	1.5954	185.1255	0.2517	244.3807

ตารางที่ 5.2 จุดที่เกิดการประหยัพลังงานในแต่ละความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ (ต่อ)

T_L (N · m)	N (rpm)	v_a (V)	i_a (A)	v_f (V)	i_f (A)	P_m (W)
1.0	1750	140.3766	1.5954	185.1255	0.2517	270.5606
	2000	159.7023	1.5529	190.1974	0.2586	297.1872
	2250	176.5613	1.5529	190.1974	0.2586	323.3672
	2500	197.2711	1.5125	195.2693	0.2655	350.2285
	2750	214.5796	1.5125	195.2693	0.2655	376.4084
	3000	217.7474	1.6404	180.0536	0.2448	401.2672
1.2	500	63.8042	1.7691	200.3413	0.2724	167.4519
	750	81.5623	1.7691	200.3413	0.2724	198.8678
	1000	99.3204	1.7691	200.3413	0.2724	230.2837
	1250	117.0786	1.7691	200.3413	0.2724	261.6998
	1500	136.8356	1.7254	205.4132	0.2793	293.4728
	1750	155.0433	1.7254	205.4132	0.2793	324.8888
	2000	173.2510	1.7254	205.4132	0.2793	356.3047
	2250	194.8401	1.6838	210.4851	0.2862	388.3226
	2500	213.4974	1.6838	210.4851	0.2862	419.7386
	2750	219.4167	1.8151	195.2693	0.2655	450.1000
	3000	218.5108	2.0255	174.9816	0.2379	484.2256
1.4	500	68.8867	1.9183	215.5571	0.2931	195.3231
	750	87.9935	1.9183	215.5571	0.2931	231.9750
	1000	107.1004	1.9183	215.5571	0.2931	268.6270
	1250	126.2072	1.9183	215.5571	0.2931	305.2788
	1500	147.3064	1.8742	220.0000	0.3000	342.0762
	1750	166.8628	1.8742	220.0000	0.3000	378.7281
	2000	186.4192	1.8742	220.0000	0.3000	415.3800
	2250	205.9756	0.8742	220.0000	0.3000	246.0562
	2500	217.9848	1.9645	210.4851	0.2862	488.4700
	2750	220.0000	2.1740	190.1974	0.2586	527.4754

ตารางที่ 5.2 จุดที่เกิดการประหยัคพลังงานในแต่ละความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ (ต่อ)

T_L (N · m)	N (rpm)	v_a (V)	i_a (A)	v_f (V)	i_f (A)	P_{in} (W)
1.4	3000	220.0000	2.2000	173.5600	0.2400	525.6544
1.5	500	71.2213	2.0080	220.0000	0.3000	209.0146
	750	90.7777	2.0080	220.0000	0.3000	248.2845
	1000	110.3341	2.0080	220.0000	0.3000	287.5544
	1250	129.8905	2.0080	220.0000	0.3000	326.8243
	1500	149.4469	2.0080	220.0000	0.3000	366.0942
	1750	169.0033	2.0080	220.0000	0.3000	405.3640
	2000	188.5597	2.0080	220.0000	0.3000	444.6339
	2250	208.1162	2.0080	220.0000	0.3000	483.9040
	2500	220.0000	2.1048	210.4851	0.2862	523.2994
	2750	220.0000	2.2000	189.3700	0.2600	533.2362
	3000	220.0000	2.2000	173.5600	0.2400	525.6544

หมายเหตุ บรรทัดที่มีแถบแรเงา คือ ค่าแรงดันอาร์เมเจอร์เกินค่าพิกัด ต้องควบคุมด้วยวิธีดั้งเดิม

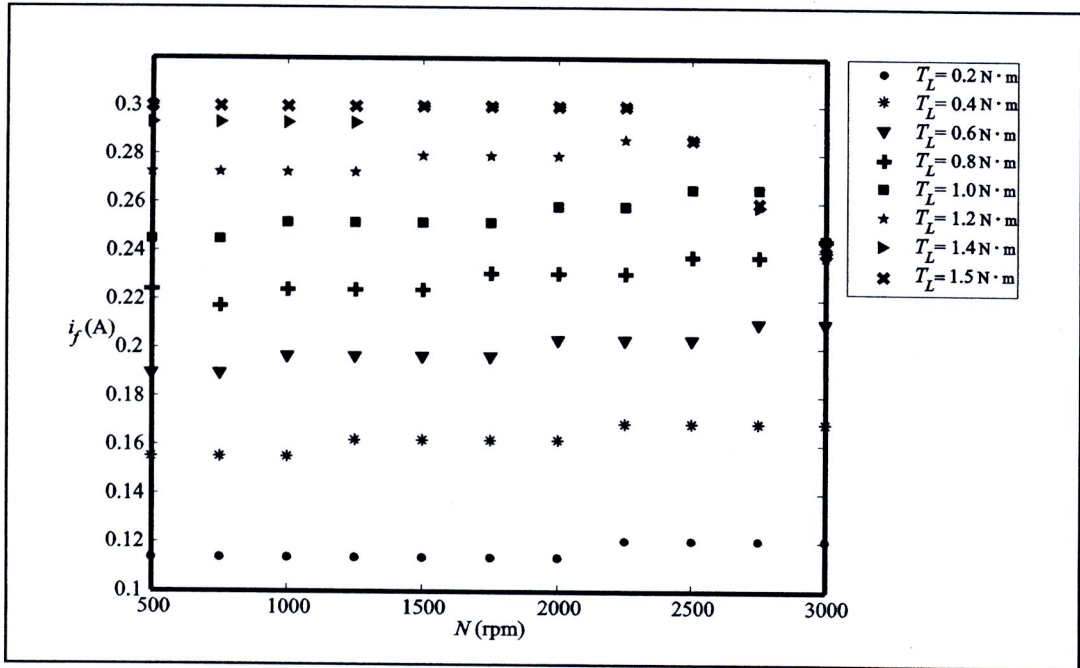
จากตารางที่ 5.2 นำข้อมูลจากการคำนวณไปพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกระแสสนาม แสดงได้ดังรูปที่ 5.2 โดยจากรูปที่ 5.2 สังเกตได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกระแสสนามของแต่ละแรงบิดที่กำหนด มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ขาค่อกการคำนวณเมื่อต้องการค่าที่อยู่นอกเหนือจากจุดที่ทดสอบมา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาสมการเพื่อแทนความสัมพันธ์ดังกล่าว ซึ่งจะอธิบายไว้ในหัวข้อถัดไป

5.2.3 การหาสมการแทนความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกระแสสนาม

การหาสมการแทนความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกระแสสนาม มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อประมาณค่าจุดที่เกิดการประหยัคพลังงานได้ ไม่ว่าจะกำหนดค่าตามที่ได้ทดสอบมาหรือนอกช่วงของจุดทดสอบ โดยสมการแทนความสัมพันธ์ดังกล่าวจะใช้วิธีการประมาณค่า ซึ่งจะเปรียบเทียบกัน 3 วิธี ดังต่อไปนี้

- วิธีที่ 1 การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression : LR)

การถดถอยเชิงเส้น คือ การแทนชุดข้อมูลด้วยสมการเส้นตรง มีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ (5.7) ดังนี้



รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกระแสสนาม

$$i_f = a_0 + a_1 N \quad (5.7)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ a_1 และ a_0 หาได้จากสมการที่ (5.8) และ (5.9) ตามลำดับ

$$a_1 = \frac{n \sum N i_f - \sum N \sum i_f}{n \sum N^2 - (\sum N)^2} \quad (5.8)$$

$$a_0 = \bar{i}_f - a_1 \bar{N} \quad (5.9)$$

โดยที่ N คือ ความเร็วรอบ (rpm)

n คือ จำนวนชุดข้อมูล

$\bar{i}_f$ คือ กระแสสนามเฉลี่ย (A)

$\bar{N}$ คือ ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm)

ดังนั้นจากข้อมูลในตารางที่ 5.2 จะได้สมการแทนความสัมพันธ์ด้วยวิธีถดถอยเชิงเส้น ตามจุดทดสอบแรงบิดทั้ง 8 ค่า ดังสมการที่ (5.10) ถึง (5.17) ดังต่อไปนี้

$$T_L = 0.2 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.1102 + (3.514 \times 10^{-6})N \quad (5.10)$$

$$T_L = 0.4 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.1513 + (6.521 \times 10^{-6})N \quad (5.11)$$

$$T_L = 0.6 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.1852 + (8.276 \times 10^{-6})N \quad (5.12)$$

$$T_L = 0.8 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.214 + (9.028 \times 10^{-6})N \quad (5.13)$$

$$T_L = 1.0 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.2444 + (5.2664 \times 10^{-6})N \quad (5.14)$$

$$T_L = 1.2 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.281 - (4.765 \times 10^{-6})N \quad (5.15)$$

$$T_L = 1.4 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.313 - (1.492 \times 10^{-5})N \quad (5.16)$$

$$T_L = 1.5 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.322 - (1.823 \times 10^{-5})N \quad (5.17)$$

จากสมการที่ (5.10) ถึง (5.17) เมื่อแทนค่าความเร็วรอบลงไป จะได้ค่ากระแสสนามที่ทำให้ประหยัดพลังงานและสามารถนำค่ากระแสสนามดังกล่าวไปพล็อตกราฟเทียบกับรูปที่ 5.2 แสดงได้ดังรูปที่ 5.3

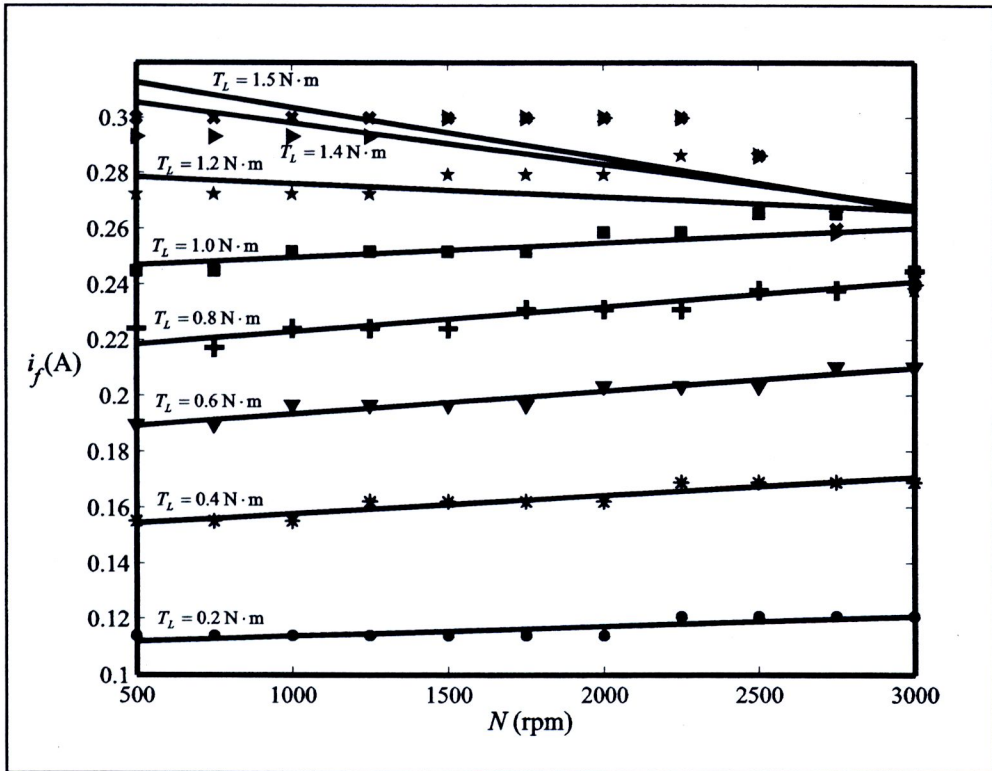
ค่ากระแสสนามที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้น เมื่อนำไปคำนวณค่าต่าง ๆ เพื่อให้ได้ค่ากำลังงานอินพุต จะแสดงไว้ในตารางที่ 5.3 โดยตารางดังกล่าวจะรวมผลการคำนวณจากวิธีการประมาณค่าทั้ง 3 วิธีเข้าด้วยกัน เพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

- วิธีที่ 2 การถดถอยของพหุนามกำลังสอง (2-order polynomial regression)

การถดถอยของพหุนามกำลังสอง คือ การแทนชุดข้อมูลด้วยสมการพหุนามกำลังสอง จะได้สมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ (5.18) ดังนี้

$$i_f = a_0 + a_1 N + a_2 N^2 \quad (5.18)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ a_0, a_1 และ a_2 หาได้จากสมการที่ (5.19) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกระแสสนาม
ที่ประมาณค่าจากวิธีการถดถอยเชิงเส้น

$$\begin{bmatrix} n & \sum N & \sum N^2 \\ \sum N & \sum N^2 & \sum N^3 \\ \sum N^2 & \sum N^3 & \sum N^4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum i_f \\ \sum N i_f \\ \sum N^2 i_f \end{Bmatrix} \quad (5.19)$$

ดังนั้นจะได้สมการจากวิธีการถดถอยของพหุนามกำลังสอง ดังสมการที่ (5.20) ถึง (5.27) ดังนี้

$$T_L = 0.2 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.1145 - (2.79 \times 10^{-6})N + (1.8 \times 10^{-9})N^2 \quad (5.20)$$

$$T_L = 0.4 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.1494 + (9.2213 \times 10^{-6})N - (7.716 \times 10^{-10})N^2 \quad (5.21)$$

$$T_L = 0.6 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.1868 + (6.026 \times 10^{-6})N + (6.43 \times 10^{-10})N^2 \quad (5.22)$$

$$T_L = 0.8 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.221 - (1.77 \times 10^{-6})N + (3.086 \times 10^{-9})N^2 \quad (5.23)$$

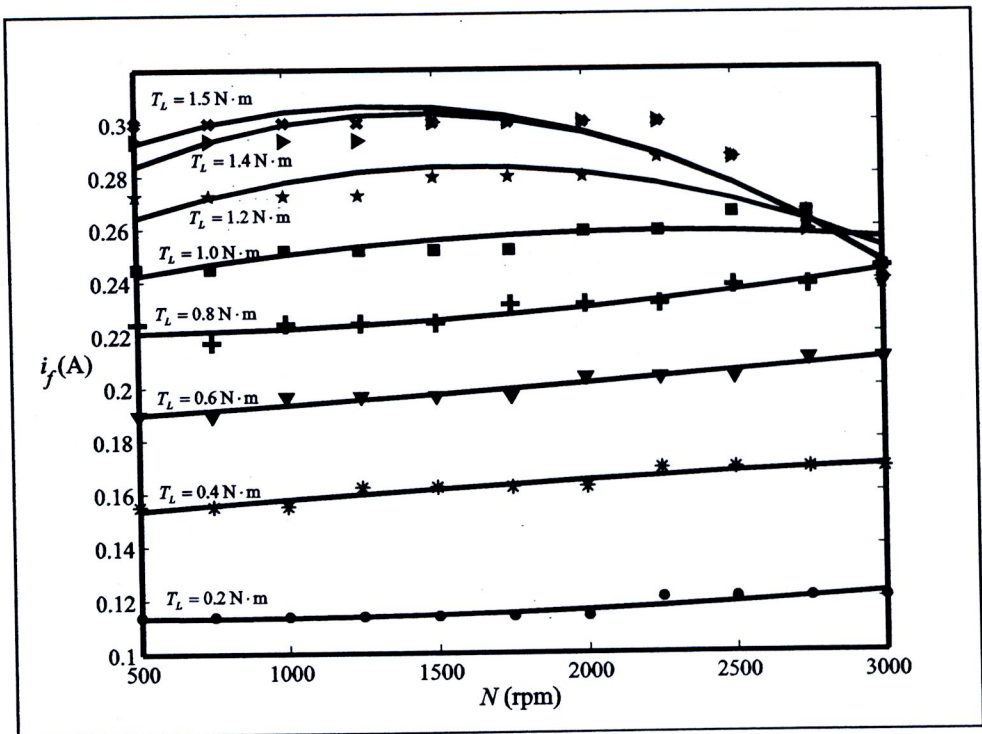
$$T_L = 1.0 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.232 + (2.372 \times 10^{-5})N - (5.272 \times 10^{-9})N^2 \quad (5.24)$$

$$T_L = 1.2 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.243 + (5.059 \times 10^{-5})N - (1.582 \times 10^{-8})N^2 \quad (5.25)$$

$$T_L = 1.4 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.257 + (6.54 \times 10^{-5})N - (2.3 \times 10^{-8})N^2 \quad (5.26)$$

$$T_L = 1.5 \text{ N} \cdot \text{m} : \quad i_f = 0.27 + (5.526 \times 10^{-5})N - (2.1 \times 10^{-8})N^2 \quad (5.27)$$

นำค่าความเร็วรอบแทนลงในสมการจากวิธีการถดถอยของพหุนามกำลังสอง ค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้นำไปเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 5.3 และนำค่ากระแสสนามพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับรูปที่ 5.2 จะได้ดังรูปที่ 5.4 ดังนี้



รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกระแสสนาม
ที่ประมาณค่าจากวิธีการถดถอยของพหุนามกำลังสอง

จากรูปที่ 5.4 สังเกตได้ว่าลักษณะเส้นกราฟจากการถดถอยของพหุนามกำลังสอง เป็นรูปเส้นโค้งพาราโบลา ซึ่งเส้นกราฟมีทั้งที่ผ่านจุดหรือใกล้เคียงค่าจากการคำนวณและห่างไกลค่าจากการคำนวณ ดังนั้นอาจเกิดความผิดพลาดบ้างเล็กน้อยในบางค่าที่ต้องการ

- วิธีที่ 3 การถดถอยของพหุนามกำลังสาม (3-order polynomial regression)

การถดถอยของพหุนามกำลังสาม คือ การแทนชุดข้อมูลด้วยสมการพหุนามกำลังสาม จะได้สมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ (5.28) ดังนี้

$$i_f = a_0 + a_1N + a_2N^2 + a_3N^3 \quad (5.28)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ a_0, a_1, a_2 และ a_3 หาได้จากสมการที่ (5.29)

$$\begin{bmatrix} n & \sum N & \sum N^2 & \sum N^3 \\ \sum N & \sum N^2 & \sum N^3 & \sum N^4 \\ \sum N^2 & \sum N^3 & \sum N^4 & \sum N^5 \\ \sum N^3 & \sum N^4 & \sum N^5 & \sum N^6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum i_f \\ \sum Ni_f \\ \sum N^2 i_f \\ \sum N^3 i_f \end{bmatrix} \quad (5.29)$$

ดังนั้น จะได้สมการแทนความสัมพันธ์ด้วยวิธีการถดถอยของพหุนามกำลังสามตามจุดทดสอบแรงบิดทั้ง 8 ค่า ดังสมการที่ (5.30) ถึง (5.37) ดังต่อไปนี้

$$T_L = 0.2 \text{ N} \cdot \text{m} :$$

$$i_f = 0.12 - (1.71 \times 10^{-5})N + (1.11 \times 10^{-8})N^2 - (1.77 \times 10^{-12})N^3 \quad (5.30)$$

$$T_L = 0.4 \text{ N} \cdot \text{m} :$$

$$i_f = 0.155 - (3.79 \times 10^{-6})N + (7.69 \times 10^{-9})N^2 - (1.612 \times 10^{-12})N^3 \quad (5.31)$$

$$T_L = 0.6 \text{ N} \cdot \text{m} :$$

$$i_f = 0.183 + (1.49 \times 10^{-5})N - (5.13 \times 10^{-9})N^2 + (1.1 \times 10^{-12})N^3 \quad (5.32)$$

$$T_L = 0.8 \text{ N} \cdot \text{m} :$$

$$i_f = 0.224 - (7.88 \times 10^{-6})N + (7.06 \times 10^{-9})N^2 - (7.56 \times 10^{-13})N^3 \quad (5.33)$$

$$T_L = 1.0 \text{ N} \cdot \text{m} :$$

$$i_f = 0.26 - (4.4 \times 10^{-5})N + (3.88 \times 10^{-8})N^2 - (8.39 \times 10^{-12})N^3 \quad (5.34)$$

$$T_L = 1.2 \text{ N} \cdot \text{m} :$$

$$i_f = 0.31 - (1.1 \times 10^{-4})N + (8.83 \times 10^{-8})N^2 - (1.98 \times 10^{-11})N^3 \quad (5.35)$$

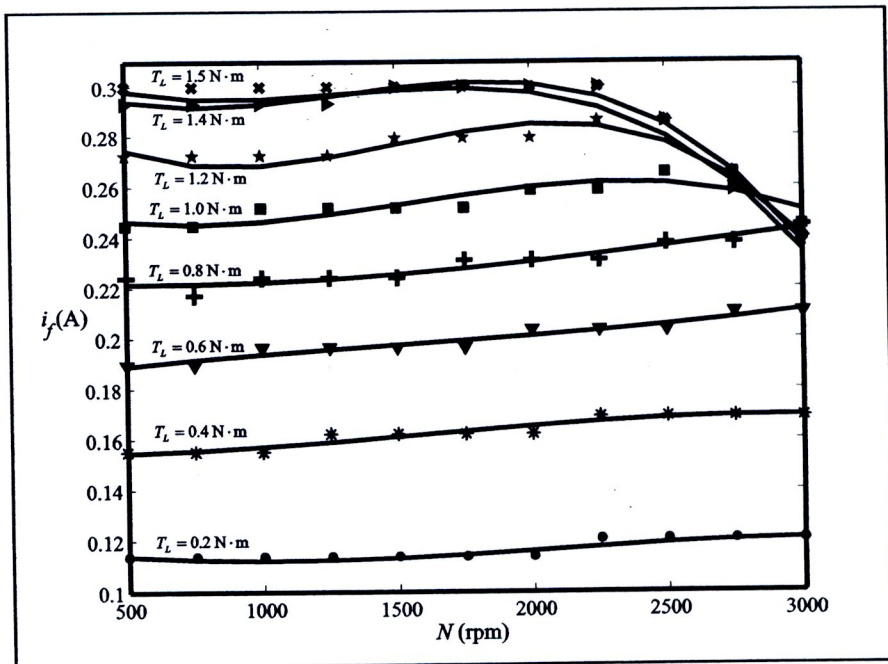
$$T_L = 1.4 \text{ N} \cdot \text{m} :$$

$$i_f = 0.316 - (7.3 \times 10^{-5})N + (6.71 \times 10^{-8})N^2 - (1.715 \times 10^{-11})N^3 \quad (5.36)$$

$$T_L = 1.5 \text{ N} \cdot \text{m} :$$

$$i_f = 0.32 - (6.96 \times 10^{-5})N + (6.02 \times 10^{-8})N^2 - (1.55 \times 10^{-11})N^3 \quad (5.37)$$

จากสมการที่ (5.30) ถึง (5.37) นำค่าความเร็วรอบแทนลงในสมการ ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 5.3 และได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกระแสสนามเปรียบเทียบกับรูปที่ 5.2 จะได้ดังรูปที่ 5.5 ดังนี้



รูปที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกระแสสนาม
ที่ประมาณค่าจากวิธีการถดถอยของพหุนามกำลังสาม

ตารางที่ 5.3 ผลจากการคำนวณด้วยสมการของทั้ง 3 วิธี

T_L (N·m)	N (rpm)	การถอดยเชิงเส้น			การถอดยพหุนาม กำลังสอง			การถอดยพหุนาม กำลังสาม		
		i_f (A)	v_a (V)	P_{in} (W)	i_f (A)	v_a (V)	P_{in} (W)	i_f (A)	v_a (V)	P_{in} (W)
0.2	1000	0.11	40.95	38.43	0.11	40.91	38.43	0.11	40.71	38.40
	2000	0.12	72.09	59.50	0.12	71.62	59.45	0.12	71.58	59.45
	2750	0.12	96.67	75.34	0.12	97.03	75.38	0.12	96.82	75.36
0.4	1000	0.16	57.43	76.77	0.16	57.43	76.77	0.16	57.34	76.76
	2000	0.16	101.34	118.92	0.16	101.51	118.94	0.17	101.74	118.97
	2750	0.17	136.53	150.66	0.17	136.34	150.64	0.17	136.51	150.66
0.6	1000	0.19	70.36	115.16	0.19	70.36	115.16	0.19	70.43	115.18
	2000	0.20	124.31	178.41	0.20	124.17	178.39	0.20	124.03	178.36
	2750	0.21	167.65	226.06	0.21	167.82	226.09	0.21	167.71	226.07
0.8	1000	0.22	81.19	153.54	0.22	81.08	153.52	0.22	81.09	153.52
	2000	0.23	143.16	237.81	0.23	142.20	237.64	0.23	142.47	237.69
	2750	0.24	192.77	301.27	0.24	193.17	301.34	0.24	193.50	301.40
1	1000	0.25	90.82	191.94	0.25	90.95	191.97	0.25	90.31	191.85
	2000	0.25	158.14	296.92	0.26	159.59	297.17	0.26	160.32	297.31
	2750	0.26	210.44	375.75	0.26	209.50	375.63	0.26	209.86	375.67
1.2	1000	0.28	99.93	230.45	0.28	100.17	230.54	0.27	98.71	230.20
	2000	0.27	169.96	355.92	0.28	173.92	356.42	0.28	175.58	356.76
	2750	0.27	220.00	448.55	0.26	217.58	450.15	0.26	218.19	450.13
1.4	1000	0.30	107.89	268.84	0.30	108.10	268.92	0.29	107.08	268.62
	2000	0.28	179.42	415.23	0.30	184.65	415.33	0.30	186.42	415.57
	2750	0.27	220.00	509.21	0.26	220.00	521.31	0.27	220.00	517.02
1.5	1000	0.30	110.33	287.74	0.30	110.33	287.74	0.30	109.59	287.76
	2000	0.29	182.64	445.29	0.30	187.12	444.82	0.30	187.57	444.81
	2750	0.27	220.00	538.36	0.26	220.00	534.93	0.26	220.00	534.29

จากตารางที่ 5.3 พบว่าค่ากระแสสนามและแรงดันอาร์เมเจอร์จากทั้ง 3 วิธี มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเมื่อคำนวณค่ากำลังงานอินพุต ค่าที่ได้จึงใกล้เคียงกันด้วย

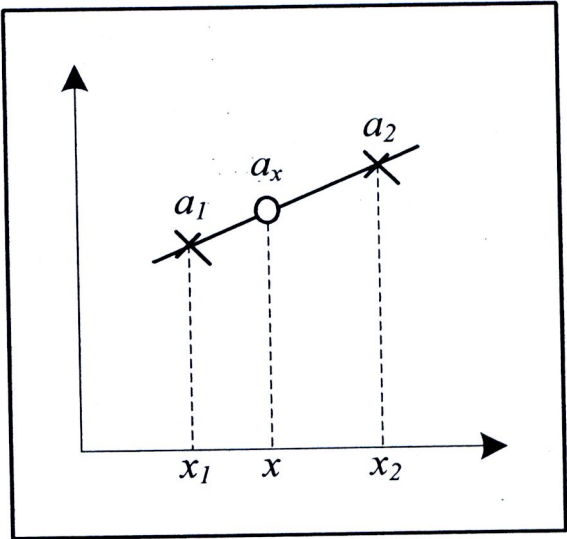
5.2.4 การประมาณค่าในกรณีอยู่นอกจุดทดสอบ

การประมาณค่าในกรณีที่อยู่นอกช่วงจุดทดสอบ จะใช้วิธีการประมาณค่าแบบเชิงเส้น (Linear Interpolation : LI) ซึ่งวิธีการประมาณค่าดังกล่าว คือ การหาค่าระหว่างจุดที่ไม่ตรงกับจุดข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น จากรูปที่ 5.6 ต้องการหา a_x เมื่อทราบค่า a_1, a_2, x, x_1 และ x_2 ดังนั้นจากสมการที่ (5.38) คือ

$$\frac{a_2 - a_1}{a_x - a_1} = \frac{x_2 - x_1}{x - x_1} \tag{5.38}$$

ปรับรูปสมการใหม่เพื่อหาค่า a_x จะได้สมการที่ (5.39) ดังนี้

$$a_x = a_1 + \frac{(a_2 - a_1)(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \tag{5.39}$$



รูปที่ 5.6 ตัวอย่างการประมาณค่าแบบเชิงเส้น

การประมาณค่าแบบเชิงเส้นชุดข้อมูลของจุดทดสอบที่มีอยู่ ได้พิจารณาเป็นคู่ ๆ เช่น ต้องการแรงบิด 0.3 N·m ต้องทำการประมาณค่าแรงบิดในช่วง 0.2-0.4 N·m ดังนั้นจึงได้ทำการกำหนดจุดทดสอบนอกช่วงจุดทดสอบเดิมขึ้นมา คือ 0.1, 0.25, 0.3, 0.55, 0.7, 0.95, 1.1, 1.25,

1.3 และ 1.45 เรียกจุดเหล่านี้ว่าจุดทดสอบนอกช่วง นำจุดทดสอบนอกช่วงเหล่านี้ไปทำการประมาณค่าแบบเชิงเส้นเพื่อนำไปหาสมการมาแทนความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกระแสสนามเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 5.2.3 ซึ่งผลการคำนวณของจุดทดสอบนอกช่วงจากสมการทั้ง 3 วิธี ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.4 ดังต่อไปนี้

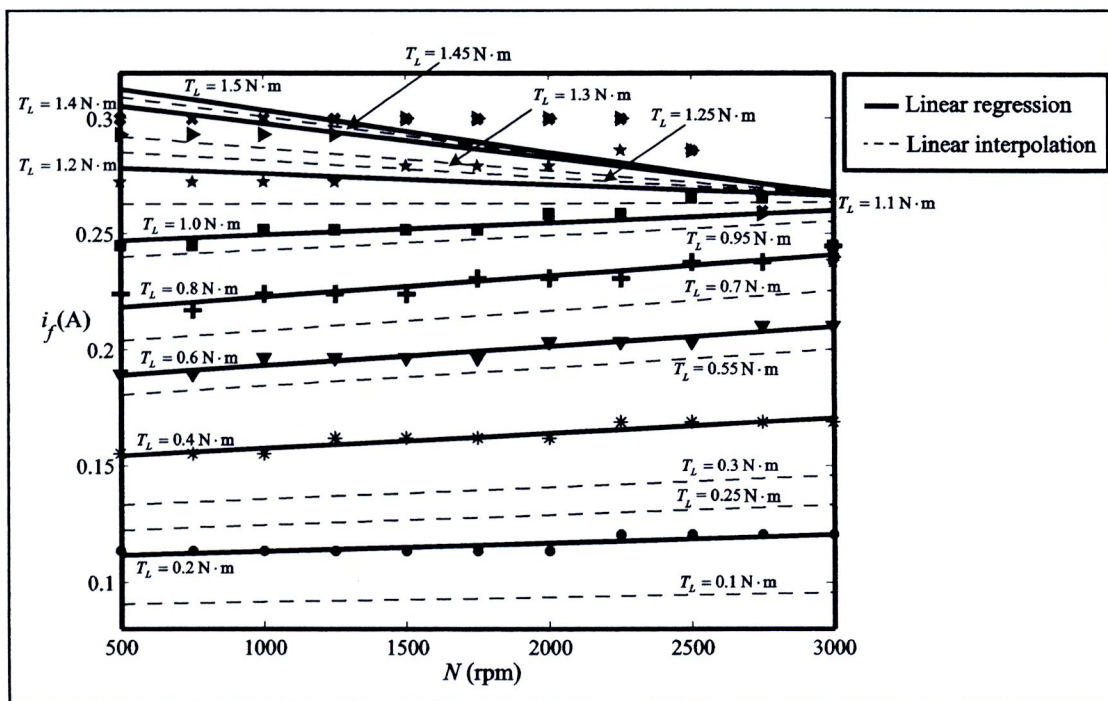
ตารางที่ 5.4 ผลจากการคำนวณด้วยสมการทั้ง 3 วิธี ในกรณีจุดทดสอบนอกช่วง

T_L (N·m)	N (rpm)	การถดถอยเชิงเส้น			การถดถอยพหุนาม กำลังสอง			การถดถอยพหุนาม กำลังสาม		
		i_f (A)	v_a (V)	P_{in} (W)	i_f (A)	v_a (V)	P_{in} (W)	i_f (A)	v_a (V)	P_{in} (W)
0.1	1000	0.09	30.91	19.72	0.09	30.85	19.70	0.09	30.55	19.59
	2000	0.09	55.71	30.34	0.09	54.87	30.20	0.09	54.70	30.18
	2750	0.10	75.00	38.31	0.10	75.66	38.39	0.10	75.24	38.34
0.25	1000	0.12	45.40	47.98	0.12	45.37	47.98	0.12	45.20	47.96
	2000	0.13	79.72	74.28	0.13	79.41	74.26	0.13	79.44	74.26
	2750	0.13	106.94	94.07	0.13	107.17	94.09	0.13	107.06	94.08
0.3	1000	0.14	49.59	57.56	0.14	49.58	57.56	0.13	49.43	57.55
	2000	0.14	87.10	89.12	0.14	86.96	89.11	0.14	87.05	89.11
	2750	0.14	116.98	112.87	0.14	117.06	112.88	0.14	117.05	112.88
0.55	1000	0.18	67.26	105.55	0.18	67.26	105.55	0.18	67.29	105.55
	2000	0.19	118.69	163.49	0.19	118.63	163.48	0.19	118.58	163.47
	2750	0.20	159.99	207.15	0.20	160.07	207.16	0.20	160.03	207.15
0.7	1000	0.21	75.89	134.34	0.21	75.83	134.33	0.21	75.87	134.33
	2000	0.22	133.84	208.07	0.22	133.29	207.98	0.22	133.35	207.99
	2750	0.22	180.31	263.61	0.22	180.60	263.66	0.22	180.71	263.67
0.95	1000	0.24	88.47	182.33	0.25	90.32	183.05	0.24	88.06	182.26
	2000	0.25	154.45	282.12	0.26	160.01	283.39	0.25	155.91	282.38
	2750	0.25	206.07	357.09	0.26	212.34	358.22	0.25	205.81	357.06
1.1	1000	0.26	95.43	211.17	0.26	95.61	211.23	0.26	94.57	211.02
	2000	0.26	164.10	326.38	0.27	166.81	326.77	0.27	168.01	327.01
	2750	0.26	215.69	412.78	0.26	213.56	412.65	0.26	214.04	412.68

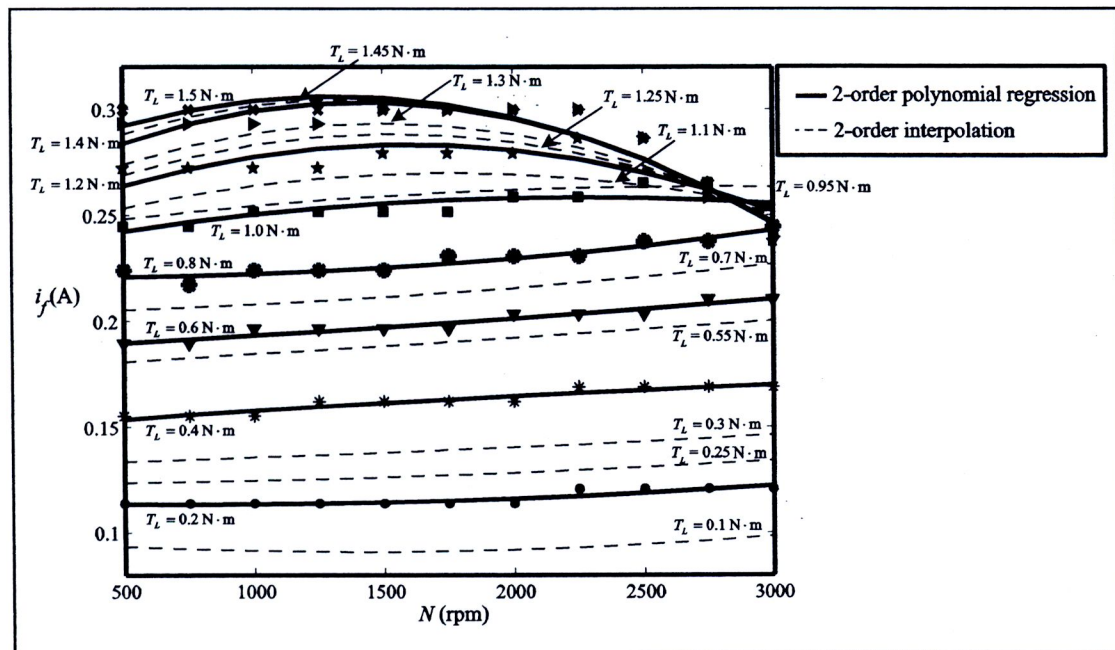
ตารางที่ 5.4 ผลจากการคำนวณด้วยสมการทั้ง 3 วิธี ในกรณีจุดทดสอบนอกช่วง (ต่อ)

T_L (N·m)	N (rpm)	การถดถอยเชิงเส้น			การถดถอยพหุนาม กำลังสอง			การถดถอยพหุนาม กำลังสาม		
		i_f (A)	v_a (V)	P_{in} (W)	i_f (A)	v_a (V)	P_{in} (W)	i_f (A)	v_a (V)	P_{in} (W)
1.25	1000	0.28	101.95	240.04	0.28	102.19	240.13	0.27	100.84	239.80
	2000	0.27	172.35	370.69	0.28	176.64	371.12	0.29	178.45	371.46
	2750	0.26	220.00	469.12	0.26	218.86	469.13	0.26	219.79	469.04
1.3	1000	0.29	103.95	249.64	0.29	104.18	249.72	0.28	102.94	249.40
	2000	0.28	174.72	385.50	0.29	179.33	385.84	0.29	181.29	386.18
	2750	0.26	220.00	488.26	0.26	220.15	488.28	0.26	220.00	488.26
1.45	1000	0.30	109.26	278.09	0.30	109.26	278.09	0.29	108.34	278.14
	2000	0.28	181.04	430.21	0.30	185.89	430.01	0.30	187.24	430.10
	2750	0.26	220.00	532.84	0.26	220.00	532.84	0.26	220.00	532.84

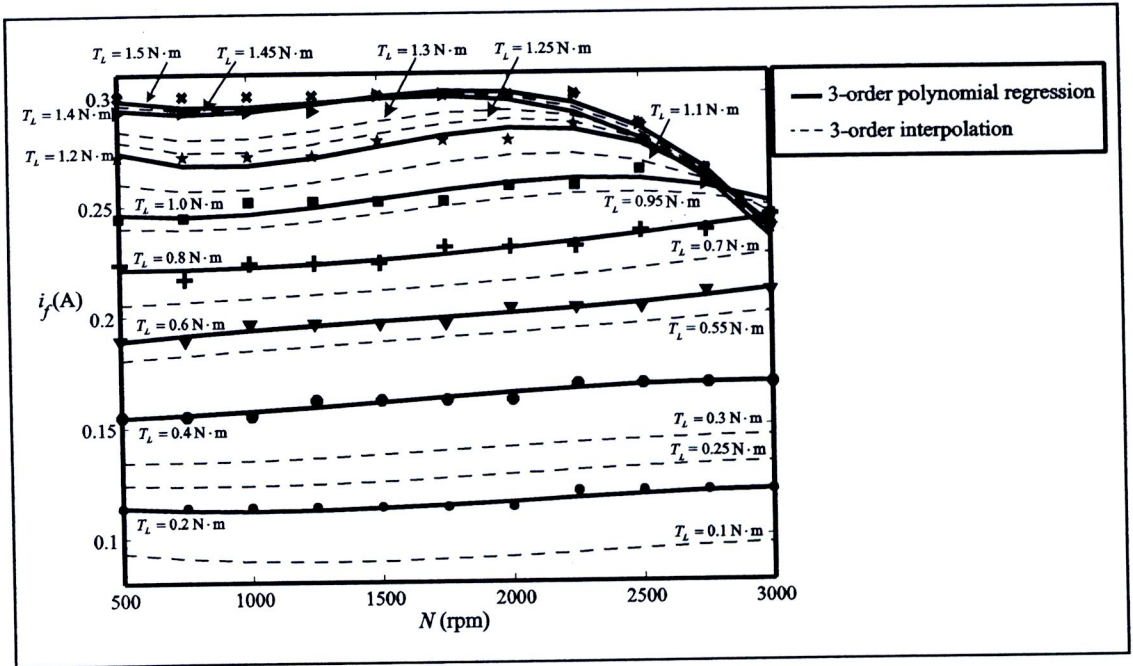
จากตารางที่ 5.4 ผลการคำนวณของจุดทดสอบนอกช่วงจากสมการทั้ง 3 วิธี ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันและนำข้อมูลจากตารางที่ 5.4 ไปพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับรูปที่ 5.3, 5.4 และ 5.5 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องว่าเส้นกราฟของจุดทดสอบนอกช่วงอยู่ระหว่างเส้นกราฟของจุดทดสอบหรือไม่ ซึ่งกราฟการเปรียบเทียบจะเป็นดังรูปที่ 5.7, 5.8 และ 5.9 จากรูปดังกล่าวสังเกตได้ว่าเส้นกราฟจุดทดสอบนอกช่วงอยู่ระหว่างเส้นกราฟจากจุดทดสอบจริง และนอกจากสมการการถดถอยทั้ง 3 วิธีแล้ว การคำนวณที่จุดทดสอบนอกช่วงกรณีวิธีดั้งเดิมและวิธีทางคณิตศาสตร์ก็ได้คำนวณจุดทดสอบนอกช่วงโดยใช้วิธีเดียวกันกับที่นำเสนอในหัวข้อนี้



รูปที่ 5.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างจุดทดสอบและจุดทดสอบนอกช่วง
จากผลการการถดถอยเชิงเส้น



รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างจุดทดสอบและจุดทดสอบนอกช่วง
จากผลการการถดถอยของพหุนามกำลังสอง



รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบระหว่างจุดทดสอบและจุดทดสอบนอกช่วง
จากสมการการถดถอยของพหุนามกำลังสาม

5.3 ผลการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงาน

ผลการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงาน จะใช้ค่ากำลังงานอินพุตจากวิธีฐานแบบจำลองทั้ง 3 วิธีการประมาณค่า ไปเปรียบเทียบกับค่าจากการคำนวณด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งการคำนวณด้วย 2 วิธีดังกล่าวได้ทำการเปรียบเทียบไว้ในบทที่ 4 โดยการคำนวณเปรียบเทียบนี้จะดำเนินการหาเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานจากสมการที่ (4.10) ในหัวข้อ 4.3 จากสมการดังกล่าว ถ้าต้องการหาเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานระหว่างวิธีฐานแบบจำลองกับวิธีดั้งเดิมต้องแทนค่ากำลังงานอินพุตที่อาศัยการขับเคลื่อนด้วยวิธีฐานแบบจำลอง ($P_{in,MBM}$) ลงแทนที่ค่ากำลังงานอินพุตที่อาศัยการขับเคลื่อนด้วยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ($P_{in,OM}$) ดังนั้นการหาเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานจึงเป็นดังสมการที่ (5.40) ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน} = \frac{P_{in,classical} - (P_{in,OM} \text{ or } P_{in,MBM})}{P_{in,classical}} \times 100\% \quad (5.40)$$

ผลการคำนวณเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ เปรียบเทียบผลการคำนวณกรณีจุดทดสอบและกรณีจุดทดสอบนอกช่วง สามารถอธิบายได้ดังนี้

5.3.1 ผลการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานกรณีจุดทดสอบ

ผลการเปรียบเทียบในกรณีจุดทดสอบ มีทั้งหมด 3 ตาราง คือ ตารางที่ 5.5 ใช้วิธีฐานแบบจำลองที่ประมาณค่าด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมและวิธีทางคณิตศาสตร์ ส่วนตารางที่ 5.6 และ 5.7 จะเป็นวิธีฐานแบบจำลองที่ประมาณค่าด้วยวิธีการถดถอยของพหุนามกำลังสอง และวิธีการถดถอยของพหุนามกำลังสาม ในการเปรียบเทียบตามลำดับ ซึ่งจากตารางทั้งสาม จะพบว่าผลการคำนวณด้วยวิธีฐานแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับวิธีทางคณิตศาสตร์ และมีการประหยัดพลังงานเกิดขึ้นในจุดทดสอบเป็นส่วนมาก มีเพียงบางจุด เช่น ที่แรงบิดสูง ๆ เกิดการประหยัดพลังงานได้น้อยมากหรือไม่มีการประหยัดพลังงานเลย

5.3.2 ผลการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานกรณีจุดทดสอบนอกช่วง

ผลการเปรียบเทียบในกรณีจุดทดสอบนอกช่วง จะทำเช่นเดียวกับในกรณีจุดทดสอบที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น มีตารางผลการคำนวณ 3 ตารางเช่นเดียวกัน คือ ตารางที่ 5.8, 5.9 และ 5.10 จากตารางทั้ง 3 จะเห็นว่าค่าจากการคำนวณด้วยวิธีฐานแบบจำลองกับวิธีทางคณิตศาสตร์มีค่าใกล้เคียงกัน และมีเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานสูงถึง 74.31% ซึ่งการประหยัดพลังงานจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อแรงบิดต่ำ แต่จะค่อย ๆ ลดลงเมื่อแรงบิดมีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานด้วยวิธีการลดรอยเชิงเส้น กรณีจุดทดสอบ

T_L (N·m)	N (rpm)	วิธีดั้งเดิม			วิธีการลดรอยเชิงเส้น (LR)			วิธีทางคณิตศาสตร์ (OM)			เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	
		i_f (A)	v_a (V)	$P_{m, classical}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{m, MBM}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{m, OM}$ (W)	วิธีดั้งเดิม - LR	วิธีดั้งเดิม - OM
0.2	1000	0.30	82.51	88.09	0.11	40.95	38.43	0.11	40.75	38.40	56.37	56.41
	2000	0.30	160.73	109.03	0.12	72.09	59.50	0.12	71.73	59.47	45.43	45.46
	2750	0.30	220.00	125.09	0.12	96.67	75.34	0.12	97.08	75.38	39.77	39.74
0.4	1000	0.30	86.79	112.47	0.16	57.43	76.77	0.16	57.49	76.78	31.74	31.73
	2000	0.30	165.01	154.36	0.16	101.34	118.92	0.16	101.08	118.88	22.96	22.99
	2750	0.29	220.00	183.79	0.17	136.53	150.66	0.17	136.80	150.70	18.03	18.00
0.6	1000	0.30	91.07	139.15	0.19	70.36	115.16	0.19	70.33	115.16	17.24	17.24
	2000	0.30	169.29	201.98	0.20	124.31	178.41	0.20	123.59	178.30	11.67	11.72
	2750	0.29	220.00	245.07	0.21	167.65	226.06	0.21	167.27	226.00	7.76	7.78
0.8	1000	0.30	95.35	168.12	0.22	81.19	153.54	0.22	81.15	153.53	8.67	8.68
	2000	0.30	173.58	251.89	0.23	143.16	237.81	0.23	142.58	237.71	5.59	5.63
	2750	0.28	220.00	309.47	0.24	192.77	301.27	0.24	192.96	301.30	2.65	2.64
1	1000	0.30	99.63	199.38	0.25	90.82	191.94	0.25	90.69	191.91	3.73	3.75
	2000	0.30	177.86	304.09	0.25	158.14	296.92	0.26	159.30	297.11	2.36	2.30
	2750	0.27	220.00	377.67	0.26	210.44	375.75	0.27	215.59	376.60	0.51	0.28

ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานด้วยวิธีการลดอยเชิงเส้น กรณีทดสอบ (ต่อ)

T_L (N·m)	N (rpm)	วิธีดั้งเดิม			วิธีการลดอยเชิงเส้น (LR)			วิธีทางคณิตศาสตร์ (OM)			เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	
		i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, classical}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, MBM}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, OM}$ (W)	วิธีดั้งเดิม - LR	วิธีดั้งเดิม - OM
1.2	1000	0.30	103.91	232.93	0.28	99.93	230.45	0.27	99.31	230.28	1.06	1.14
	2000	0.30	182.14	358.59	0.27	169.96	355.92	0.28	174.42	356.52	0.74	0.58
	2750	0.27	220.00	450.07	0.27	220.00	448.55	0.27	220.00	450.07	0.34	ไม่ประหยัด
1.4	1000	0.30	108.19	268.77	0.30	107.89	268.84	0.29	107.24	268.66	ไม่ประหยัด	0.04
	2000	0.30	186.42	415.38	0.28	179.42	415.23	0.30	186.42	415.57	0.04	ไม่ประหยัด
	2750	0.26	220.00	528.09	0.27	220.00	509.21	0.26	220.00	528.09	3.58	ไม่ประหยัด
1.5	1000	0.30	110.33	287.55	0.30	110.33	287.74	0.30	110.33	287.74	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
	2000	0.30	188.56	444.63	0.29	182.64	445.29	0.30	188.56	444.82	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
	2750	0.26	220.00	532.84	0.27	220.00	538.36	0.26	220.00	532.84	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด

ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานด้วยวิธีการลดของพหุนามกำลังสอง กรณีจุดทดสอบ

T_L (N·m)	N (rpm)	วิธีดั้งเดิม			การลดของพหุนาม กำลังสอง (2-order)			วิธีการคณิตศาสตร์ (OM)			เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	
		i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, classical}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, MBM}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, OM}$ (W)	วิธีดั้งเดิม - 2 order	วิธีดั้งเดิม - OM
0.2	1000	0.30	82.51	88.09	0.11	40.91	38.43	0.11	40.75	38.40	56.37	56.41
	2000	0.30	160.73	109.03	0.12	71.62	59.45	0.12	71.73	59.47	45.47	45.46
	2750	0.30	220.00	125.09	0.12	97.03	75.38	0.12	97.08	75.38	39.74	39.74
0.4	1000	0.30	86.79	112.47	0.16	57.43	76.77	0.16	57.49	76.78	31.74	31.73
	2000	0.30	165.01	154.36	0.16	101.51	118.94	0.16	101.08	118.88	22.95	22.99
	2750	0.29	220.00	183.79	0.17	136.34	150.64	0.17	136.80	150.70	18.04	18.00
0.6	1000	0.30	91.07	139.15	0.19	70.36	115.16	0.19	70.33	115.16	17.24	17.24
	2000	0.30	169.29	201.98	0.20	124.17	178.39	0.20	123.59	178.30	11.68	11.72
	2750	0.29	220.00	245.07	0.21	167.82	226.09	0.21	167.27	226.00	7.74	7.78
0.8	1000	0.30	95.35	168.12	0.22	81.08	153.52	0.22	81.15	153.53	8.68	8.68
	2000	0.30	173.58	251.89	0.23	142.20	237.64	0.23	142.58	237.71	5.66	5.63
	2750	0.28	220.00	309.47	0.24	193.17	301.34	0.24	192.96	301.30	2.63	2.64
1	1000	0.30	99.63	199.38	0.25	90.95	191.97	0.25	90.69	191.91	3.72	3.75
	2000	0.30	177.86	304.09	0.26	159.59	297.17	0.26	159.30	297.11	2.28	2.30
	2750	0.27	220.00	377.67	0.26	209.50	375.63	0.27	215.59	376.60	0.54	0.28

ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัพลังงานด้วยวิธีการลดของพหุนามกำลังสอง กรณีจุดทดสอบ (ต่อ)

T_L (N·m)	N (rpm)	วิธีดั้งเดิม			การลดของพหุนาม กำลังสอง (2-order)			วิธีการคณิตศาสตร์ (OM)			เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	
		i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, classical}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, MBM}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, OM}$ (W)	วิธีดั้งเดิม - 2 order	วิธีดั้งเดิม - OM
1.2	1000	0.30	103.91	232.93	0.28	100.17	230.54	0.27	99.31	230.28	1.03	1.14
	2000	0.30	182.14	358.59	0.28	173.92	356.42	0.28	174.42	356.52	0.61	0.58
	2750	0.27	220.00	450.07	0.26	217.58	450.15	0.27	220.00	450.07	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
1.4	1000	0.30	108.19	268.77	0.30	108.10	268.92	0.29	107.24	268.66	ไม่ประหยัด	0.04
	2000	0.30	186.42	415.38	0.30	184.65	415.33	0.30	186.42	415.57	0.01	ไม่ประหยัด
	2750	0.26	220.00	528.09	0.26	220.00	521.31	0.26	220.00	528.09	1.28	ไม่ประหยัด
1.5	1000	0.30	110.33	287.55	0.30	110.33	287.74	0.30	110.33	287.74	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
	2000	0.30	188.56	444.63	0.30	187.12	444.82	0.30	188.56	444.82	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
	2750	0.26	220.00	532.84	0.26	220.00	534.93	0.26	220.00	532.84	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด

ตารางที่ 5.7 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานด้วยวิธีการลดของพหุนามกำลังสาม กรณีจุดทดสอบ

T_L (N·m)	N (rpm)	วิธีดั้งเดิม			การลดของพหุนาม กำลังสาม (3-order)			วิธีการคณิตศาสตร์ (OM)			เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	
		i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, classical}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, MBM}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, OM}$ (W)	วิธีดั้งเดิม - 3 order	วิธีดั้งเดิม - OM
0.2	1000	0.30	82.51	88.09	0.11	40.71	38.40	0.11	40.75	38.40	56.41	56.41
	2000	0.30	160.73	109.03	0.12	71.58	59.45	0.12	71.73	59.47	45.47	45.46
	2750	0.30	220.00	125.09	0.12	96.82	75.36	0.12	97.08	75.38	39.76	39.74
0.4	1000	0.30	86.79	112.47	0.16	57.34	76.76	0.16	57.49	76.78	31.75	31.73
	2000	0.30	165.01	154.36	0.17	101.74	118.97	0.16	101.08	118.88	22.93	22.99
	2750	0.29	220.00	183.79	0.17	136.51	150.66	0.17	136.80	150.70	18.03	18.00
0.6	1000	0.30	91.07	139.15	0.19	70.43	115.18	0.19	70.33	115.16	17.23	17.24
	2000	0.30	169.29	201.98	0.20	124.03	178.36	0.20	123.59	178.30	11.69	11.72
	2750	0.29	220.00	245.07	0.21	167.71	226.07	0.21	167.27	226.00	7.75	7.78
0.8	1000	0.30	95.35	168.12	0.22	81.09	153.52	0.22	81.15	153.53	8.68	8.68
	2000	0.30	173.58	251.89	0.23	142.47	237.69	0.23	142.58	237.71	5.64	5.63
	2750	0.28	220.00	309.47	0.24	193.50	301.40	0.24	192.96	301.30	2.61	2.64
1	1000	0.30	99.63	199.38	0.25	90.31	191.85	0.25	90.69	191.91	3.78	3.75
	2000	0.30	177.86	304.09	0.26	160.32	297.31	0.26	159.30	297.11	2.23	2.30
	2750	0.27	220.00	377.67	0.26	209.86	375.67	0.27	215.59	376.60	0.53	0.28

ตารางที่ 5.7 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานด้วยวิธีการลดของพหุนามกำลังสาม กรณีจุดทดสอบ (ต่อ)

T_L (N·m)	N (rpm)	วิธีดั้งเดิม			การลดของพหุนาม กำลังสาม (3-order)			วิธีการคณิตศาสตร์ (OM)			เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	
		i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, classical}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, MBM}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, OM}$ (W)	วิธีดั้งเดิม - 3 order	วิธีดั้งเดิม - OM
1.2	1000	0.30	103.91	232.93	0.27	98.71	230.20	0.27	99.31	230.28	1.17	1.14
	2000	0.30	182.14	358.59	0.28	175.58	356.76	0.28	174.42	356.52	0.51	0.58
	2750	0.27	220.00	450.07	0.26	218.19	450.13	0.27	220.00	450.07	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
1.4	1000	0.30	108.19	268.77	0.29	107.08	268.62	0.29	107.24	268.66	0.06	0.04
	2000	0.30	186.42	415.38	0.30	186.42	415.57	0.30	186.42	415.57	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
	2750	0.26	220.00	528.09	0.27	220.00	517.02	0.26	220.00	528.09	2.10	ไม่ประหยัด
1.5	1000	0.30	110.33	287.55	0.30	109.59	287.76	0.30	110.33	287.74	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
	2000	0.30	188.56	444.63	0.30	187.57	444.81	0.30	188.56	444.82	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
	2750	0.26	220.00	532.84	0.26	220.00	534.29	0.26	220.00	532.84	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด

ตารางที่ 5.8 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้น กรณีจุดทดสอบนอกช่วง

T_L (N·m)	N (rpm)	วิธีดั้งเดิม			วิธีการถดถอยเชิงเส้น (LR)			วิธีทางคณิตศาสตร์ (OM)			เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	
		i_f (A)	v_a (V)	$P_{m, classical}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{m, MBM}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{m, OM}$ (W)	วิธีดั้งเดิม - LR	วิธีดั้งเดิม - OM
0.1	1000	0.30	80.37	76.76	0.09	30.91	19.72	0.08	28.92	19.21	74.31	74.97
	2000	0.30	158.59	87.23	0.09	55.71	30.34	0.08	50.98	29.75	65.22	65.89
	2750	0.30	217.26	95.08	0.10	75.00	38.31	0.09	69.00	37.71	59.71	60.34
0.25	1000	0.30	83.58	93.97	0.12	45.40	47.98	0.13	45.52	48.00	48.94	48.92
	2000	0.30	161.80	120.15	0.13	79.72	74.28	0.13	80.09	74.32	38.17	38.14
	2750	0.30	220.00	139.68	0.13	106.94	94.07	0.13	108.40	94.21	32.65	32.55
0.3	1000	0.30	84.65	99.99	0.14	49.59	57.56	0.14	49.83	57.59	42.43	42.40
	2000	0.30	162.87	131.41	0.14	87.10	89.12	0.14	87.65	89.18	32.18	32.14
	2750	0.30	220.00	154.21	0.14	116.98	112.87	0.15	118.63	113.04	26.81	26.70
0.55	1000	0.30	90.00	132.26	0.18	67.26	105.55	0.19	67.35	105.56	20.20	20.19
	2000	0.30	168.22	189.86	0.19	118.69	163.49	0.19	118.37	163.44	13.89	13.92
	2750	0.29	220.00	229.45	0.20	159.99	207.15	0.20	160.20	207.18	9.72	9.71
0.7	1000	0.30	93.21	153.34	0.21	75.89	134.34	0.21	75.93	134.35	12.39	12.38
	2000	0.30	171.44	226.65	0.22	133.84	208.07	0.22	133.43	208.00	8.20	8.23
	2750	0.28	220.00	276.81	0.22	180.31	263.61	0.22	180.57	263.65	4.77	4.75
0.95	1000	0.30	98.56	191.35	0.24	88.47	182.33	0.24	88.40	182.31	4.72	4.72
	2000	0.30	176.79	290.83	0.25	154.45	282.12	0.25	155.29	282.26	3.00	2.95
	2750	0.28	220.00	360.14	0.25	206.07	357.09	0.26	210.16	357.78	0.85	0.66

ตารางที่ 5.8 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานด้วยวิธีการลดออยเชิงเส้น กรณีจุดทดสอบนอกช่วง (ต่อ)

T_L (N·m)	N (rpm)	วิธีดั้งเดิม			วิธีการลดออยเชิงเส้น (LR)			วิธีทางคณิตศาสตร์ (OM)			เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	
		i_f (A)	v_a (V)	$P_{m,classical}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{m,MBM}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{m,OM}$ (W)	วิธีดั้งเดิม - LR	วิธีดั้งเดิม - OM
1.1	1000	0.30	101.77	215.86	0.26	95.43	211.17	0.26	95.10	211.09	2.17	2.21
	2000	0.30	180.00	331.06	0.26	164.10	326.38	0.27	167.04	326.82	1.41	1.28
	2750	0.27	220.00	413.29	0.26	215.69	412.78	0.27	220.00	413.29	0.12	0.00
1.25	1000	0.30	104.98	241.67	0.28	101.95	240.04	0.28	101.35	239.88	0.67	0.74
	2000	0.30	183.21	372.57	0.27	172.35	370.69	0.29	178.00	371.37	0.50	0.32
	2750	0.26	220.00	469.12	0.26	220.00	469.12	0.26	220.00	469.12	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
1.3	1000	0.30	106.05	250.56	0.29	103.95	249.64	0.28	103.35	249.47	0.37	0.44
	2000	0.30	184.28	386.70	0.28	174.72	385.50	0.29	181.51	386.22	0.31	0.12
	2750	0.26	220.00	488.26	0.26	220.00	488.26	0.26	220.00	488.26	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
1.45	1000	0.30	109.26	278.09	0.30	109.26	278.09	0.30	109.13	278.25	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
	2000	0.30	187.49	429.94	0.28	181.04	430.21	0.30	187.49	430.12	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
	2750	0.26	220.00	532.84	0.26	220.00	532.84	0.26	220.00	532.84	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด

ตารางที่ 5.9 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานด้วยวิธีการถอดของพหุนามกำลังสอง กรณีจุดทดสอบนอกช่วง

T_L (N · m)	N (rpm)	วิธีดั้งเดิม			วิธีการถอดยเชิงเส้น (LR)			วิธีทางคณิตศาสตร์ (OM)			เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	
		i_f (A)	v_a (V)	$P_{in,classical}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in,MBM}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in,OM}$ (W)	วิธีดั้งเดิม - LR	วิธีดั้งเดิม - OM
0.1	1000	0.30	80.37	76.76	0.09	30.85	19.70	0.08	28.92	19.21	74.34	74.97
	2000	0.30	158.59	87.23	0.09	54.87	30.20	0.08	50.98	29.75	65.38	65.89
	2750	0.30	217.26	95.08	0.10	75.66	38.39	0.09	69.00	37.71	59.62	60.34
0.25	1000	0.30	83.58	93.97	0.12	45.37	47.98	0.13	45.52	48.00	48.94	48.92
	2000	0.30	161.80	120.15	0.13	79.41	74.26	0.13	80.09	74.32	38.20	38.14
	2750	0.30	220.00	139.68	0.13	107.17	94.09	0.13	108.40	94.21	32.64	32.55
0.3	1000	0.30	84.65	99.99	0.14	49.58	57.56	0.14	49.83	57.59	42.43	42.40
	2000	0.30	162.87	131.41	0.14	86.96	89.11	0.14	87.65	89.18	32.19	32.14
	2750	0.30	220.00	154.21	0.14	117.06	112.88	0.15	118.63	113.04	26.80	26.70
0.55	1000	0.30	90.00	132.26	0.18	67.26	105.55	0.19	67.35	105.56	20.20	20.19
	2000	0.30	168.22	189.86	0.19	118.63	163.48	0.19	118.37	163.44	13.89	13.92
	2750	0.29	220.00	229.45	0.20	160.07	207.16	0.20	160.20	207.18	9.72	9.71
0.7	1000	0.30	93.21	153.34	0.21	75.83	134.33	0.21	75.93	134.35	12.40	12.38
	2000	0.30	171.44	226.65	0.22	133.29	207.98	0.22	133.43	208.00	8.24	8.23
	2750	0.28	220.00	276.81	0.22	180.60	263.66	0.22	180.57	263.65	4.75	4.75
0.95	1000	0.30	98.56	191.35	0.25	90.32	183.05	0.24	88.40	182.31	4.34	4.72
	2000	0.30	176.79	290.83	0.26	160.01	283.39	0.25	155.29	282.26	2.56	2.95
	2750	0.28	220.00	360.14	0.26	212.34	358.22	0.26	210.16	357.78	0.53	0.66

ตารางที่ 5.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัพลังงานด้วยวิธีการลดของพหุนามกำลังสอง กรณีจุดทดสอบนอกช่วง (ต่อ)

T_L (N·m)	N (rpm)	วิธีดั้งเดิม			การลดของพหุนาม กำลังสอง (2-order)			วิธีทางคณิตศาสตร์ (OM)			เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	
		i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, classical}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, MBM}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, OM}$ (W)	วิธีดั้งเดิม - 2 order	วิธีดั้งเดิม - OM
1.1	1000	0.30	101.77	215.86	0.26	95.61	211.23	0.26	95.10	211.09	2.15	2.21
	2000	0.30	180.00	331.06	0.27	166.81	326.77	0.27	167.04	326.82	1.29	1.28
	2750	0.27	220.00	413.29	0.26	213.56	412.65	0.27	220.00	413.29	0.15	0.00
1.25	1000	0.30	104.98	241.67	0.28	102.19	240.13	0.28	101.35	239.88	0.64	0.74
	2000	0.30	183.21	372.57	0.28	176.64	371.12	0.29	178.00	371.37	0.39	0.32
	2750	0.26	220.00	469.12	0.26	218.86	469.13	0.26	220.00	469.12	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
1.3	1000	0.30	106.05	250.56	0.29	104.18	249.72	0.28	103.35	249.47	0.34	0.44
	2000	0.30	184.28	386.70	0.29	179.33	385.84	0.29	181.51	386.22	0.22	0.12
	2750	0.26	220.00	488.26	0.26	220.00	488.28	0.26	220.00	488.26	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
1.45	1000	0.30	109.26	278.09	0.30	109.26	278.09	0.30	109.13	278.25	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
	2000	0.30	187.49	429.94	0.30	185.89	430.01	0.30	187.49	430.12	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
	2750	0.26	220.00	532.84	0.26	220.00	532.84	0.26	220.00	532.84	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด

ตารางที่ 5.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัพลังงานด้วยวิธีการถดถอยของพหุนามกำลังสาม กรณีจุดทดสอบนอกช่วง

T_L (N·m)	N (rpm)	วิธีดั้งเดิม			วิธีการถดถอยเชิงเส้น (LR)			วิธีทางคณิตศาสตร์ (OM)			เปอร์เซ็นต์การประหยัพลังงาน	
		i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, classical}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, MBM}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, OM}$ (W)	วิธีดั้งเดิม - LR	วิธีดั้งเดิม - OM
0.1	1000	0.30	80.37	76.76	0.09	30.55	19.59	0.08	28.92	19.21	74.47	74.97
	2000	0.30	158.59	87.23	0.09	54.70	30.18	0.08	50.98	29.75	65.41	65.89
	2750	0.30	217.26	95.08	0.10	75.24	38.34	0.09	69.00	37.71	59.68	60.34
0.25	1000	0.30	83.58	93.97	0.12	45.20	47.96	0.13	45.52	48.00	48.96	48.92
	2000	0.30	161.80	120.15	0.13	79.44	74.26	0.13	80.09	74.32	38.19	38.14
	2750	0.30	220.00	139.68	0.13	107.06	94.08	0.13	108.40	94.21	32.65	32.55
0.3	1000	0.30	84.65	99.99	0.13	49.43	57.55	0.14	49.83	57.59	42.44	42.40
	2000	0.30	162.87	131.41	0.14	87.05	89.11	0.14	87.65	89.18	32.19	32.14
	2750	0.30	220.00	154.21	0.14	117.05	112.88	0.15	118.63	113.04	26.80	26.70
0.55	1000	0.30	90.00	132.26	0.18	67.29	105.55	0.19	67.35	105.56	20.19	20.19
	2000	0.30	168.22	189.86	0.19	118.58	163.47	0.19	118.37	163.44	13.90	13.92
	2750	0.29	220.00	229.45	0.20	160.03	207.15	0.20	160.20	207.18	9.72	9.71
0.7	1000	0.30	93.21	153.34	0.21	75.87	134.33	0.21	75.93	134.35	12.39	12.38
	2000	0.30	171.44	226.65	0.22	133.35	207.99	0.22	133.43	208.00	8.23	8.23
	2750	0.28	220.00	276.81	0.22	180.71	263.67	0.22	180.57	263.65	4.75	4.75
0.95	1000	0.30	98.56	191.35	0.24	88.47	182.33	0.24	88.06	182.26	4.75	4.72
	2000	0.30	176.79	290.83	0.25	154.45	282.12	0.25	155.91	282.38	2.91	2.95
	2750	0.28	220.00	360.14	0.25	206.07	357.09	0.25	205.81	357.06	0.86	0.66

ตารางที่ 5.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัพลังงานด้วยวิธีการลดของพหุนามกำลังสาม กรณีจุดทดสอบนอกช่วง (ต่อ)

T_L (N·m)	N (rpm)	วิธีดั้งเดิม			การลดของพหุนาม กำลังสาม (3-order)			วิธีการคณิตศาสตร์ (OM)			เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน	
		i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, classical}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, MBM}$ (W)	i_f (A)	v_a (V)	$P_{in, OM}$ (W)	วิธีดั้งเดิม - 3 order	วิธีดั้งเดิม - OM
1.1	1000	0.30	101.77	215.86	0.26	95.43	211.17	0.26	94.57	211.02	2.24	2.21
	2000	0.30	180.00	331.06	0.26	164.10	326.38	0.27	168.01	327.01	1.22	1.28
	2750	0.27	220.00	413.29	0.26	215.69	412.78	0.26	214.04	412.68	0.15	ไม่ประหยัด
1.25	1000	0.30	104.98	241.67	0.28	101.95	240.04	0.27	100.84	239.80	0.78	0.74
	2000	0.30	183.21	372.57	0.27	172.35	370.69	0.29	178.45	371.46	0.30	0.32
	2750	0.26	220.00	469.12	0.26	220.00	469.12	0.26	219.79	469.04	0.02	ไม่ประหยัด
1.3	1000	0.30	106.05	250.56	0.29	103.95	249.64	0.28	102.94	249.40	0.46	0.44
	2000	0.30	184.28	386.70	0.28	174.72	385.50	0.29	181.29	386.18	0.14	0.12
	2750	0.26	220.00	488.26	0.26	220.00	488.26	0.26	220.00	488.26	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
1.45	1000	0.30	109.26	278.09	0.30	109.26	278.09	0.29	108.34	278.14	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
	2000	0.30	187.49	429.94	0.28	181.04	430.21	0.30	187.24	430.10	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด
	2750	0.26	220.00	532.84	0.26	220.00	532.84	0.26	220.00	532.84	ไม่ประหยัด	ไม่ประหยัด

5.4 สรุป

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอการประหยัดพลังงานในการขับเคลื่อนที่ใช้วิธีฐานแบบจำลอง โดยจะคำนวณค่ากระแสสนามและแรงดันอาร์มเจอร์ ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถลดกำลังงานสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้นและควบคุมความเร็วรอบตามที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยดูได้จากผลการคำนวณที่คำนวณค่าได้ใกล้เคียงกับวิธีทางคณิตศาสตร์ แต่ใช้สมการพื้นฐานในการคำนวณ ไม่ซับซ้อนเท่าวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งถือเป็นข้อดีของวิธีการนี้ และการดำเนินงานวิจัยหลังจากนี้จะใช้การคำนวณของวิธีการลดรอยเชิงเส้นเพียงอย่างเดียว เพราะค่าที่ได้จากวิธีประมาณค่าทั้ง 3 วิธี มีความใกล้เคียงกัน แต่สัมประสิทธิ์ของวิธีการลดรอยเชิงเส้นมีน้อยกว่าวิธีอื่น จึงสามารถลดความยุ่งยากในการคำนวณได้ดีกว่า