

การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อช่วยคำนวณหาสมรรถนะ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก

ประสิทธิ์ โอวศิริกุล¹ วัลลภ เรืองด้วยธรรม²
มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์³ และ ศุภี บรรจงจิตร⁴
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนองานการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อช่วยคำนวณหาสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก โดยนำทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางซึ่งเป็นทฤษฎีที่คำนวณง่ายและรวดเร็วมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งในการคำนวณต้องคำนึงถึงความเร็วและสภาวะการต่อขดลวดของมอเตอร์ที่จะนำมาคำนวณว่าอยู่ในสภาวะต่ออยู่เพียงขดลวดเดียวหรือต่ออยู่สองขดลวด โดยซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้น ออกแบบให้มีการติดต่อกับผู้ใช้ในรูปแบบกราฟฟิก และทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ จึงทำให้เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพ

ซอฟต์แวร์นี้สามารถช่วยคำนวณหาสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กได้ 6 ชนิดด้วยกัน ดังต่อไปนี้ มอเตอร์คาปาซิเตอร์สตาร์ท มอเตอร์สปลิทเฟส มอเตอร์คาปาซิเตอร์รัน มอเตอร์คาปาซิเตอร์สองค่า มอเตอร์สปลิทเฟสคาปาซิเตอร์ และมอเตอร์คาปาซิเตอร์รันที่มีขดลวดช่วยสองขด

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

² ผู้ช่วยนักวิจัย หน่วยวิจัยและบริการเทคโนโลยีมอเตอร์ (NECTEC)

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

⁴ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

Development of a Software on Performance Calculation for Small Induction Motors

**Prasit Owsirigul¹ Wonlop Ruengduaytam²
Monthon Leelajindakrailerk³ a n d Sulee Bunjongjit⁴**
King Mongkut's Institute of Technology Lardkrabang

Abstract

This paper presents the development of a software for small induction motors on performance calculation. By using the concept of cross-field theory, it gives more speed and ease to use. There are two conditions to be concerned in using this calculation method, one is speed and the other is the winding connections: single winding or combined winding. This new package is an easily and efficiently operated software package because it has a graphical user interface (GUI) and runs on a personal computer along with Microsoft Windows.

With this software, a user can calculate the performance of six types small induction motors and they are as follows: capacitor-start motor, split-phase motor, permanent split capacitor motor, two-value capacitor motor, split-phase capacitor motor, and two - value dual auxill wedge capacitor motor.

¹ Graduate Student, Department of Electrical Engineering

² Assistant Researcher, Department of Electrical Engineering (NECTEC)

³ Assistant Professor, Department of Electrical Engineering

⁴ Associate Professor, Department of Electrical Engineering

1. บทนำ

ปัจจุบันพบว่าส่วนใหญ่มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก (Small Induction Motors, SIM) หรือ มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวที่มีขนาดไม่เกิน 1 แรงม้า จะนำไปใช้เป็นส่วนประกอบหนึ่งในเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น ตู้เย็น เครื่องซักผ้า เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น ซึ่งมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กนี้เป็นส่วนประกอบที่มีความลื่นไหลทั้งด้านราคาและกระแสไฟฟ้า จึงมีผู้ผลิตและสถาบันการศึกษาบางแห่งทำการพัฒนามอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่ในการออกแบบและวิเคราะห์ห่มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กนั้นมีความยุ่งยากและใช้เวลาในการคำนวณและศึกษามาก

จากปัญหาข้างต้น การศึกษาครั้งนี้จึงขอนำเสนองานพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อช่วยคำนวณหา สมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ Visual Basic [3] และจะทำงานบนระบบปฏิบัติการของไมโครซอฟต์วินโดวส์ ซอฟต์แวร์นี้จะเข้ามาช่วยลดความยุ่งยากและเวลาในการคำนวณหาสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กได้ ทั้งนี้มีมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก ที่มีลักษณะการทำงานและโครงสร้างที่คล้ายกันและเป็นที่ยอมรับใช้จำนวน 6 ประเภทที่ซอฟต์แวร์นี้สามารถช่วยคำนวณหาสมรรถนะได้ คือ

1. มอเตอร์สปลิทเฟส
2. มอเตอร์คาปาซิเตอร์สตาร์ท
3. มอเตอร์คาปาซิเตอร์รัน
4. มอเตอร์คาปาซิเตอร์สองค่า
5. มอเตอร์สปลิทเฟสคาปาซิเตอร์
6. มอเตอร์คาปาซิเตอร์รันที่มีขดลวดช่วยสองขด

ตารางที่ 1 แสดงวิธีที่ใช้ในการคำนวณของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กแต่ละประเภท

ประเภทของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก	ความเร็ว (โดยประมาณ) (ร้อยละของความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน)	วิธีที่ใช้ในการคำนวณ	
		ขดลวดเดียว	สองขดลวด
มอเตอร์สปลิทเฟส	0 - 78		X
	79-100	X	
มอเตอร์คาปาซิเตอร์สตาร์ท	0 - 78		X *
	79-100	X	
มอเตอร์คาปาซิเตอร์รัน	0 - 100		X *
มอเตอร์คาปาซิเตอร์สองค่า	0 - 78		X *
	79 - 100		X *
มอเตอร์สปลิทเฟสคาปาซิเตอร์	0 - 78		X
	79 - 100		X *
มอเตอร์คาปาซิเตอร์รันที่มี ขดลวดช่วย 2 ขด	0 - 78		X *
	79 - 100		X *

* หมายถึง มีคาปาซิเตอร์ต่อร่วมด้วย

2. การแบ่งสภาวะการต่อขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก

ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นได้นำเอาทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง (Cross-field Theory) มาใช้ ซึ่งในการคำนวณแบ่งเป็น 2 ส่วนตามความเร็ว และสภาวะการต่อขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก ดังตารางที่ 1

ในแต่ละสภาวะการต่อขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก มีวงจรสมมูลย์และสมการพื้นฐาน [1, 2] ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

2.1 ขณะมีการต่อเพียงขดลวดเดียว (Single Winding)

เป็นสภาวะในขณะที่ขดลวดหลัก (Main Winding) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก ได้รับการจ่ายแรงดันเพียงขดเดียว ส่วนขดลวดช่วย (Auxiliary Winding) ซึ่งถูกตัดวงจรออกไปจากรูปที่ 1 ซึ่งแสดงวงจรสมมูลย์ ทำให้สามารถหาสมการพื้นฐาน [1,2] ได้ดังนี้

$$I_{1m} (Z_1 + Z_0) + I_{2m} (-Z_0) + 0 = V \quad (1)$$

$$I_{1m} (-Z_0) + I_{2m} (Z_2 + Z_0) + I_{2c} [S(jZ_0 - X_2)] = 0 \quad (2)$$

$$I_{1m} (-jSZ_0) + I_{2m} [S(jZ_0 - X_2)] + I_{2c} [-(Z_0 + Z_2)] = 0 \quad (3)$$

โดยที่

V = แรงดันไฟฟ้า

V_{sm} = Speed Voltages แนวแกนเส้นแรงแม่เหล็กหลักของโรเตอร์

V_{sc} = Speed Voltages แนวแกนเส้นแรงแม่เหล็กขวางของโรเตอร์

S = อัตราส่วนระหว่างความเร็วใด ๆ กับความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน

I_{1m} = กระแสในขดลวดหลักของสเตเตอร์

I_{2m} = กระแสในแนวแกนเส้นแรงแม่เหล็กหลักของโรเตอร์

I_{2c} = กระแสในแนวแกนเส้นแรงแม่เหล็กขวางของโรเตอร์

Z_0 = อิมพีแดนซ์กระตุ้น (Magnetizing Impedance) ของขดลวด

Z_1 = อิมพีแดนซ์รั่ว (Leakage Impedance) ของขดลวด

Z_2 = อิมพีแดนซ์รั่วของโรเตอร์

2.2 ขณะมีการต่อสองขดลวด (Combined Winding)

เป็นสภาวะที่ขดลวดหลักของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก ถูกขดลวดช่วยและอาจจะ มีคาปาซิเตอร์มาต่อร่วมอยู่ด้วยตามแต่ชนิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กที่จะคำนวณหาสมรรถนะ โดยจากรูปที่ 2 ซึ่งแสดงวงจรสมมูลย์ ทำให้สามารถหาสมการพื้นฐาน [1,2] ได้ดังนี้

$$I_{1m} (Z_{1m} + Z_{0m}) + I_{2m} (-Z_{0m}) + 0 + 0 = V \quad (4)$$

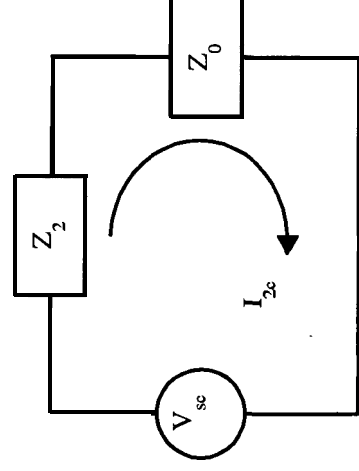
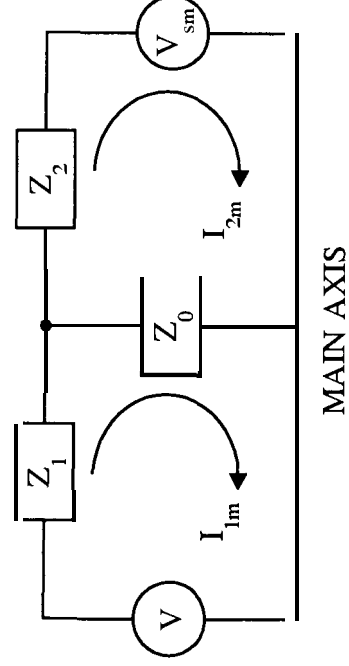
$$0 + 0 + I_{1a}(Z_{1a} + Z_c + Z_{0a}) + I_{2a}(-Z_{0a}) = V \quad (5)$$

$$I_{1m}(Z_{0m}) + I_{2m}[-(Z_{0m} + Z_2)] + I_{1a}(jSZ_{0a}/a) + I_{2m}\{-S[(jZ_{0a}/a) - aX_2]\} = 0 \quad (6)$$

$$I_{1m}(-jSZ_{0m}) + I_{2m}[S(jZ_{0m} - X_2)] + I_{1a}(Z_{0a}/a) + I_{2a}\{-[(Z_{0a}/a) - aZ_2]\} = 0 \quad (7)$$

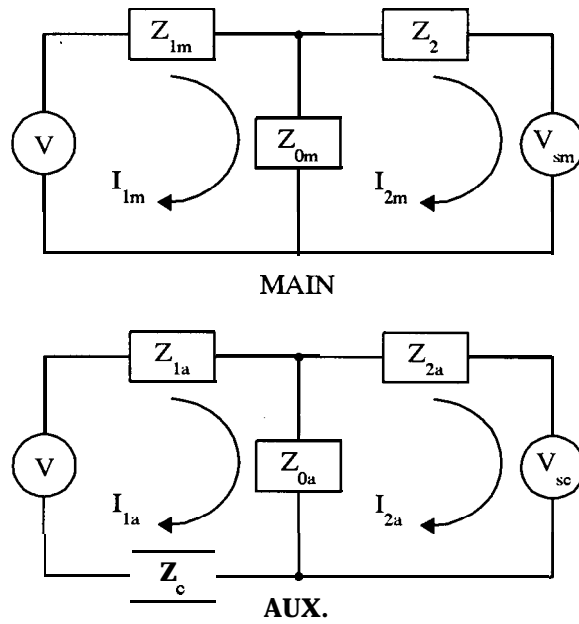
โดยที่

- I_{1a} = กระแสในขดลวดช่วยสเตเตอร์
- I_{2a} = กระแสในแนวแกนเส้นแรงแหล่งของโรเตอร์
- Z_{0m} = อิมพีแดนซ์กระตุ้น (Magnetizing Impedance) ของขดลวดหลัก
- Z_{1m} = อิมพีแดนซ์รั่ว (Leakage Impedance) ของขดลวดหลัก
- Z_{0a} = อิมพีแดนซ์กระตุ้นของขดลวดช่วย
- Z_{1a} = อิมพีแดนซ์รั่วของขดลวดช่วย
- Z_2 = อิมพีแดนซ์รั่วของโรเตอร์ เมื่ออ้างอิงขดลวดหลัก
- Z_{2a} = อิมพีแดนซ์รั่วของโรเตอร์ เมื่ออ้างอิงขดลวดช่วย
- Z_c = อิมพีแดนซ์ของคาปาซิเตอร์



CROSS - FIELD AXIS

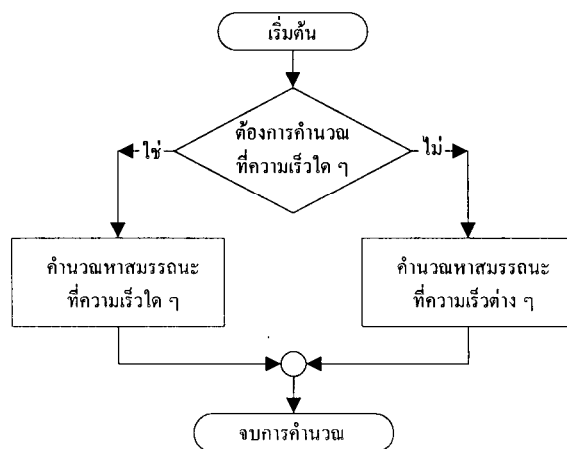
รูปที่ 1 วงจรสมมูลขณะที่มีการต่อขดลวดเพียงขดเดียว



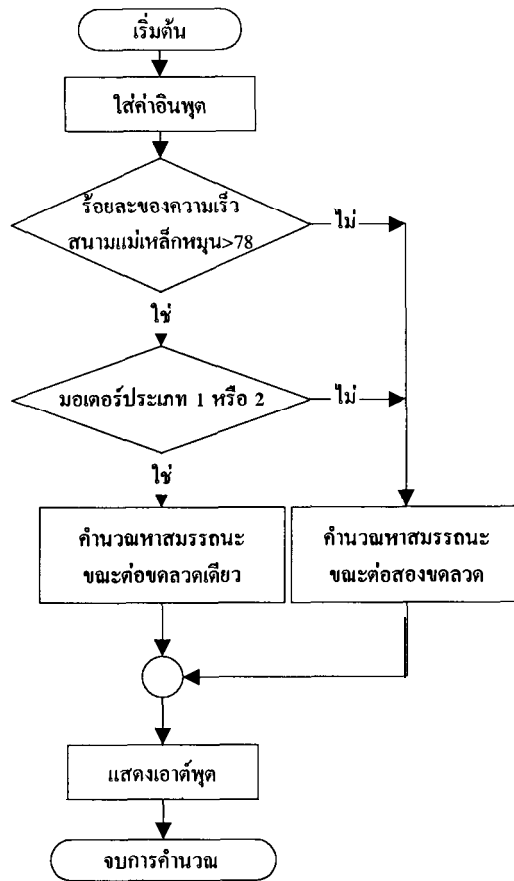
รูปที่ 2 วงจรสมมูลยขณะที่มีการต่อสองขดลวด

3. ผังการทำงานของซอฟต์แวร์

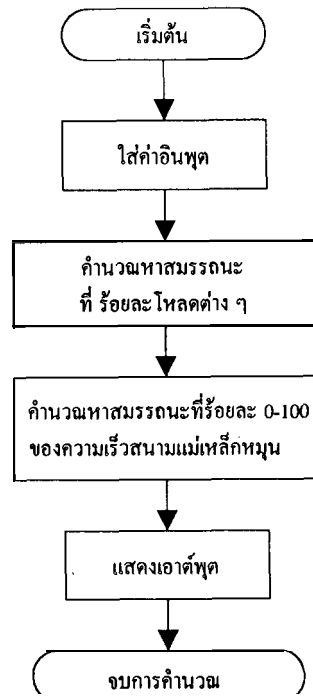
จากรูปที่ 3 จัดแสดงผังการทำงานของซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้จะต้องเลือกการคำนวณว่าจะทำการคำนวณที่ความเร็วใด ๆ ตั้งผังการทำงานรูปที่ 4 หรือจะคำนวณที่ความเร็วต่าง ๆ ตั้งผังการทำงานรูปที่ 5 ในการคำนวณที่ความเร็วใด ๆ ซอฟต์แวร์จะแยกการการคำนวณเป็นสองส่วนคือ คำนวณขณะต่อขดลวดเดี่ยวและขณะต่อสองขดลวด โดยอาศัยความเร็วและประเภทของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก ที่ผู้ใช้ใส่เข้ามาเป็นค่าอินพุต ส่วนในการคำนวณที่ความเร็วต่าง ๆ ซอฟต์แวร์จะใช้ค่าอินพุตที่ได้มา ในการคำนวณหาสมรรถนะที่จำนวนร้อยละของโหลดต่าง ๆ และคำนวณหาสมรรถนะที่ร้อยละ 0-100 ของความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน



รูปที่ 3 ผังการทำงานของซอฟต์แวร์



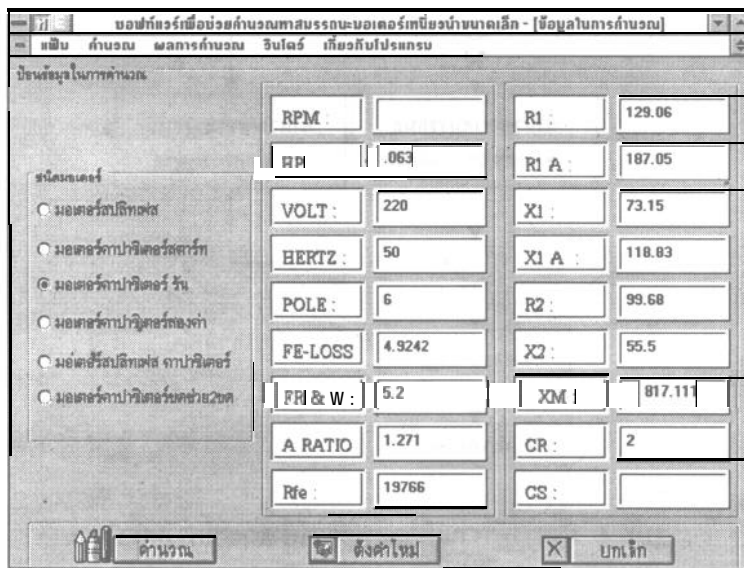
รูปที่ 4 ผังการทำงานเมื่อซอฟต์แวร์คำนวณที่ความเร็วใด ๆ



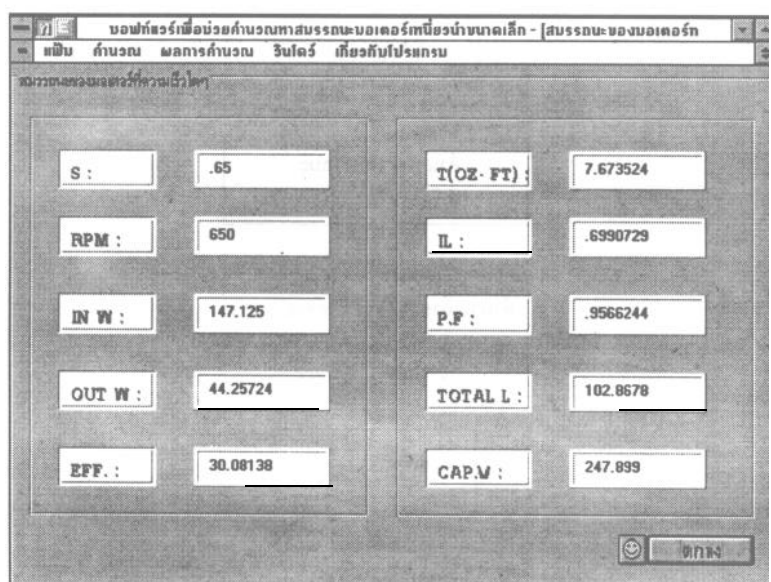
รูปที่ 5 ผังการทำงานเมื่อซอฟต์แวร์คำนวณที่ความเร็วต่าง ๆ

4. ผลของซอฟต์แวร์ที่แสดงปรากฏบนจอ

จากรูปที่ 6 ผู้ใช้ต้องเลือกชนิดของมอเตอร์และใส่ค่าเข้ามาเป็นค่าอินพุต ในการคำนวณที่ความเร็วต่างๆ ซอฟต์แวร์จะใช้ค่าอินพุตมาคำนวณหาสมรรถนะที่จำนวนร้อยละของ โหลดต่างๆ และคำนวณหาสมรรถนะที่ร้อยละ 0-100 ของความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน โดยใช้สมการพื้นฐาน [1,2] ในหัวข้อที่ 2.2 ขณะมีการต่อสองขดลวด ผลที่ได้จะแสดงไว้ในรูปที่ 7, 8 และ 9 ตามลำดับ ซอฟต์แวร์จะนำผลที่ได้จากรูปที่ 9 มาวาดกราฟ แสดงไว้ในรูปที่ 10



รูปที่ 6 จอภาพขณะใส่ค่าอินพุต



รูปที่ 7 จอภาพขณะแสดงผลการคำนวณที่ความเร็วใดๆ

ซอฟต์แวร์เพื่อช่วยคำนวณหาสมรรถนะมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก - [สมรรถนะของมอเตอร์]

แบบ จำนวน ผลการคำนวณ วินโดว์ เกี่ยวกับโปรแกรม

% LOAD	0 %	50%	100%
S	0.99084	0.96117	0.90833
RPM	990.84	961.17	908.33
IM[A]	0.2488	0.2277	0.2922
IA[A]	0.2671	0.2475	0.2191
IL[A]	0.1839	0.2586	0.3788
EM[V]	210.95	198.50	179.03
ECM	425.10	393.85	348.70
EAV	338.33	312.36	271.74
INW[W]	36.330	54.753	81.688
T[Oz-ft]	0.0016	2.7529	5.8264
PRI LOSS[W]	7.9922	6.6920	11.0191
PRIA LOSS[W]	13.3444	11.4548	8.9787
SEC LOSS[W]	0.9872	0.0500	3.0883
SECA LOSS[W]	1.9148	2.0659	2.3002
FE LOSS[W]	4.8247	4.1607	3.2240
FR LOSS[W]	7.2006	6.8512	6.1186
TOTAL LOSS[W]	36.34	31.27	34.73
W OUTPUT[W]	0.01	23.48	46.96
HPOUTPUT	0.00002	0.03147	0.06295
EFF.[%]	0.039	42.880	57.486
PF	0.898	0.963	0.980

ตกลง

รูปที่ 8 จอภาพขณะแสดงผลการคำนวณที่ร้อยละของโหลดต่างๆ

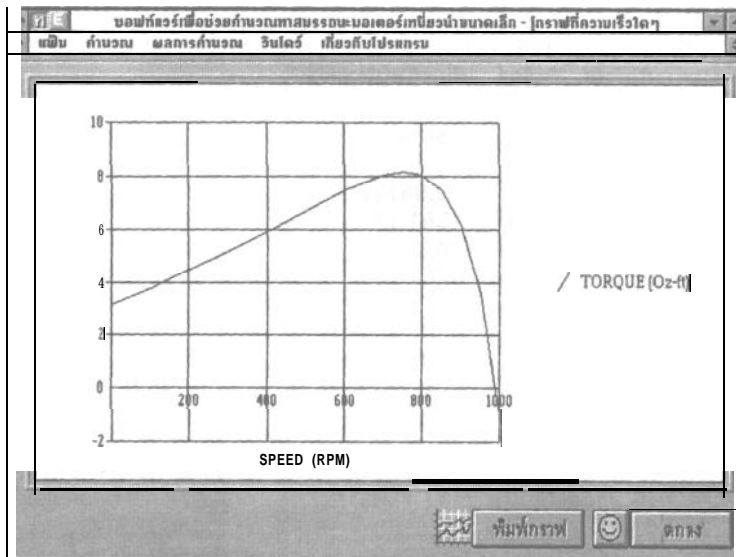
ซอฟต์แวร์เพื่อช่วยคำนวณหาสมรรถนะมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก - [สมรรถนะของมอเตอร์]

แบบ จำนวน ผลการคำนวณ วินโดว์ เกี่ยวกับโปรแกรม

สมรรถนะของมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆ

S	RPM	INW	OUTW	EFF	TORQUE	IL	P. F.	TOTAL L	CAP. W
1.00	1000.0	30.16	9.28	30.8	1.046	.162	.844	39.44	435.636
.95	950.0	61.06	30.13	49.3	3.574	.286	.970	30.93	383.219
.90	900.0	85.30	49.12	57.6	6.151	.395	.980	36.18	342.711
.85	850.0	103.89	56.34	54.2	7.471	.482	.979	447.54	312.362
.80	800.0	118.11	51.10	48.3	8.044	.551	.975	61.01	290.044
.75	750.0	129.08	54.44	42.2	8.181	.605	.970	74.64	273.854
.70	700.0	137.62	50.09	36.4	8.065	.649	.964	87.53	262.256
.60	600.0	749.70	39.77	26.6	7.470	.713	.954	109.93	248.387
.50	500.0	157.48	29.72	18.9	6.700	.757	.946	127.76	242.139
.40	400.0	162.61	20.98	12.9	5.912	.787	.939	141.63	240.081
.30	300.0	165.99	13.73	8.3	5.157	.807	.935	152.26	240.403
.20	200.0	168.13	7.89	4.7	4.446	.821	.931	160.24	242.130
.10	100.0	169.32	3.35	2.0	3.776	.828	.929	165.97	244.748
.00	.0	169.71	.00	.0	3.137	.831	.929	169.69	247.978

รูปที่ 9 จอภาพขณะแสดงผลการคำนวณที่ร้อยละ 0 -100 ของความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน



รูปที่ 10 จอภาพขณะแสดงกราฟ

5. สรุป

ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ได้เข้ามาช่วยให้การคำนวณหาสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก 6 ประเภทสามารถทำได้รวดเร็วและถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ผู้ผลิตและสถาบันการศึกษาที่ทำการพัฒนามอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก อีกทั้งซอฟต์แวร์นี้สามารถนำไปใช้ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนของพารามิเตอร์ (เช่น R_1 , X_2 , X_m เป็นต้น) ที่มีผลต่อสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กได้อีกด้วย

ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาครั้งนี้ จะได้นำไปเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อช่วยออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก (Small Induction Motors Design Program, SIMDSP) ในโอกาสต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยและบริการเทคโนโลยีมอเตอร์ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่สนับสนุนผลงาน จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Guru, B.S., 1978, "Two-equation Analysis of a Capacitor Motor by Cross-field Theory", Electric Machines and Electromechanics, Vol.2
- [2] Puchstein, A.F., Lloyd, T.C., and Conrad, A.G., 1954, Alternating-Current Machines, John Wiley & Sons, Inc., New York
- [3] Torgerson, T.W. 1994, Visual Basic Professional 3.0 Programming, John Wiley & Sons, Inc., New York
- [4] วัลลภ เรืองด้วยธรรม, ศุภลี บรรจงจิตร และ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ | 2538, "การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์ชนิดต่อคาปาซิเตอร์ถาวร," การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18, หน้า 33-37.