

การสร้างผังวงกลมสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

กิตติพงษ์ ตันมิตร

อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการใช้ micro-computer สร้างผังวงกลมของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ผังวงกลมนี้สร้างขึ้นโดยใช้ภาษาเบสิกของเครื่อง micro-computer OKI 1F 800 จากผังวงกลมที่สร้างขึ้นสามารถนำค่าต่าง ๆ มาใช้ในการคำนวณ การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ชนิดที่ใช้ Rotor แบบ Squirrel cage และ แบบ Wound rotor ซึ่งได้ผลใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณโดยวิธีปกติ

การสร้างผังวงกลม

1. บทนำ

ในการทำนายการทำงานของ Induction motor นั้น โดยทั่วไปแล้วนิยมคำนวณจากผังวงกลม ซึ่งผังวงกลมนั้นสร้างขึ้นจากค่าที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ลองพิจารณาว่าวงกลมนั้นสามารถทำนายค่าอะไรได้บ้าง จากผังวงกลมนั้นเมื่อสร้างเสร็จแล้วสามารถใช้ทำนายการทำงานของมอเตอร์ได้ว่า

- ขณะที่มอเตอร์ขับเคลื่อน Load ที่ค่า slip ใด ๆ นั้นใช้กำลังไฟฟ้าเท่าไร มีค่า Power factor เท่าไร มีการสูญเสียในขดลวด, แกนเหล็ก, แรงเสียดทานเท่าไร มีแรงบิด (Torque) เท่าไร ให้กำลังที่จ่ายออกมาที่เพลاتเท่าไร ?
- ใช้คำนวณหาค่าจุดสูงสุดของกำลังที่จ่ายออกมาที่เพลา แรงบิด และใช้กำลังไฟฟ้าเท่าไร เมื่อ Lock rotor ให้หยุดอยู่กับที่
- บอกช่วงการทำงานของ Motor ให้ทราบว่าในช่วงใดในผังวงกลมที่ Motor ทำงานอยู่ในช่วง Stable และไม่ Stable

ซึ่งจะเห็นว่าผังวงกลมนี้มีประโยชน์ค่อนข้างมาก แต่ปัญหาทั่ว ๆ ไปในการสร้างผังวงกลมนั้นจะต้องใช้วงเวียน ดินสอและไม้บรรทัดลากเส้นต่าง ๆ โดย

ลำดับที่ 2 จากการทดสอบแบบ locked rotor test จะทำที่กระแส rated (I_r) แล้วทำการวัดค่า V_r , I_r , W_r จากนั้นก็คำนวณหาค่า $\cos \phi_s$ จาก $\cos \phi_s = W_r / \sqrt{3} \cdot V_r \cdot I_r$ และ $\phi_s = \cos^{-1} W_r / \sqrt{3} \cdot V_r \cdot I_r$

ลำดับที่ 3 นำค่ากระแส Locked rotor test ที่กระแส rated (I_r) มาเปลี่ยนเป็นกระแส Locked rotor ที่แรงดัน rated (V_r) ซึ่งกระแสนี้จะมีค่าเท่ากับ

$$I_{sN} = I_r \times V_r / V_N$$

ลากเส้น OA ให้มีค่า = I_{sN} ทำมุมกับ OE = ϕ_s ซึ่งจะได้ I_{sN} ล้าหลัง V เป็นมุม ϕ_s ดังรูปที่ 1

ลำดับที่ 4 ลากเส้น O'A เส้น O'A จะแทนกระแส I_2 ซึ่งย้ายไปยังด้าน Stator แล้ว ซึ่ง O'A นี้ ต่างก็อยู่บนเส้นรอบวงของเครื่องวงกลมแล้ว

ลำดับที่ 5 แบ่งครึ่ง O'A แล้วลากเส้นตั้งฉาก O'A เพื่อให้ไปตัดกับเส้น O'D ที่จุด C จุด C นี้จะเป็นจุดศูนย์กลางของเครื่องวงกลม O'AD ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ O'C

ลำดับที่ 6 เขียนเครื่องวงกลมให้ผ่านจุด O'A แล้วตัดกับเส้นขนาน O'D ที่จุด D

ลำดับที่ 7 ลากเส้นตั้ง AG จากจุด A มาตัดกับ O'D ที่จุด F และจุด G

ข้อสังเกต เส้นทางแนวแกนตั้งหมายถึงกำลังไฟฟ้า เช่น $O'P = FG$ ซึ่งจะแทนค่าการสูญเสียที่คงที่ (Fixed Loss) ซึ่งประกอบด้วย แรงเสียดทานจากความฝืดของแปรงและจากแรงลมและการสูญเสียจากแกนเหล็ก (Core loss)

AG เป็นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ motor ขณะทำการ Locked rotor

ลำดับที่ 8 วิชิตาเส้นแรงบิด (Torque line) เส้นนี้เป็นเส้นแบ่งครึ่งการสูญเสียที่เกิดจาก Stator และ Rotor

ข้อสังเกต เมื่อทำการ Locked rotor กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Motor ทั้งหมดคือ (การสูญเสียที่คงที่ (Fixed loss) + การสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) ซึ่งไม่รวมค่าการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานจากความฝืดและจากแรงลม . motor หยุดอยู่กับที่ + เส้น AF ซึ่งเป็นกำลังสูญเสียในความต้านทานของ stator และ rotor

ลำดับที่ 9 การหาจุด E จุดนี้ปกติหาได้จาก

$$AE / EF = \text{Rotor Cu loss} / \text{Stator Cu loss}$$

แต่เนื่องจากจุด E นี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ Rotor ของ Induction motor ซึ่งมีสองแบบคือ

ก) เมื่อ Rotor เป็นแบบ Squirrel cage

ถ้าลากเส้น MP เส้นนี้จะแสดงค่ากำลังที่จ่ายออกมาสูงสุด (maximum out put)

แรงบิดสูงสุด (Maximum Torque) ในผังวงกลมนั้นคือจุด N หาได้จากการลากเส้นสัมผัสวงกลมโดยลากขนานกับเส้น O'E

ถ้าลากเส้น CN เส้น CN จะตั้งฉากกับเส้นแรงบิด (Torque line) NQ จะเป็นเส้นแรงบิดสูงสุด (Maximum Torque)

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ Motor ใช้ไป (Maximum Input) ในผังวงกลมนั้นคือ จุด R ซึ่งหาโดยการลากเส้นสัมผัสวงกลมขนานกับเส้น O'D

RS เป็นเส้นกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ motor ใช้ไป (maximum Input)

5. การคำนวณหาค่าต่าง ๆ จากผังวงกลม

ถ้าหากว่าเราให้ motor ทำงานที่แรงดัน rated เราก็สามารถหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$\text{กระแส } I_1 = OL$$

$$\text{กำลังสูญเสียที่คงที่ (Fixed Loss) = JK} / 3 V_L \cdot S$$

$$\text{การสูญเสียที่ Stator (stator Cu loss) = JN} \cdot \sqrt{3} \cdot V_L \cdot S$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าที่ rotor ใช้ไป (Rotor input) = NL} \cdot \sqrt{3} \cdot V_L \cdot S$$

$$\text{กำลังสูญเสียที่ rotor (Rtor Cu loss) = NM} \cdot \sqrt{3} \cdot V_L \cdot S$$

$$\text{กำลังงานที่ rotor จ่ายออกมา (Rotor out put) บางทีเรียกว่า กำลังงานที่เพล่า = ML} \cdot \sqrt{3} \cdot V_L \cdot S$$

$$\text{กำลังไฟที่ motor ใช้ไป (Motor input) = LK} \cdot \sqrt{3} \cdot V_L \cdot S$$

$$\text{กำลังสูญเสียทั้งหมด (Total loss) = MK} \cdot \sqrt{3} \cdot V_L \cdot S$$

$$\text{เมื่อ S เป็น ขนาดของมาตราส่วนที่ใช้ (Scale)}$$

$$\text{Power factor = LK/OL}$$

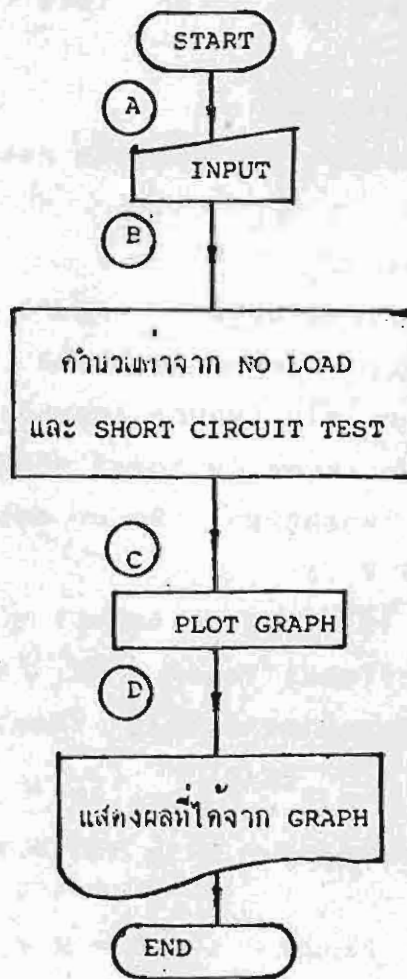
$$\text{Rotor Cu Loss / Rotor Input = Slip (S) = MN / NL}$$

$$\text{Rotor Output / Rotor Input = 1 - S = N / N_s}$$

$$= \text{Rotor Speed / Synchronous Speed}$$

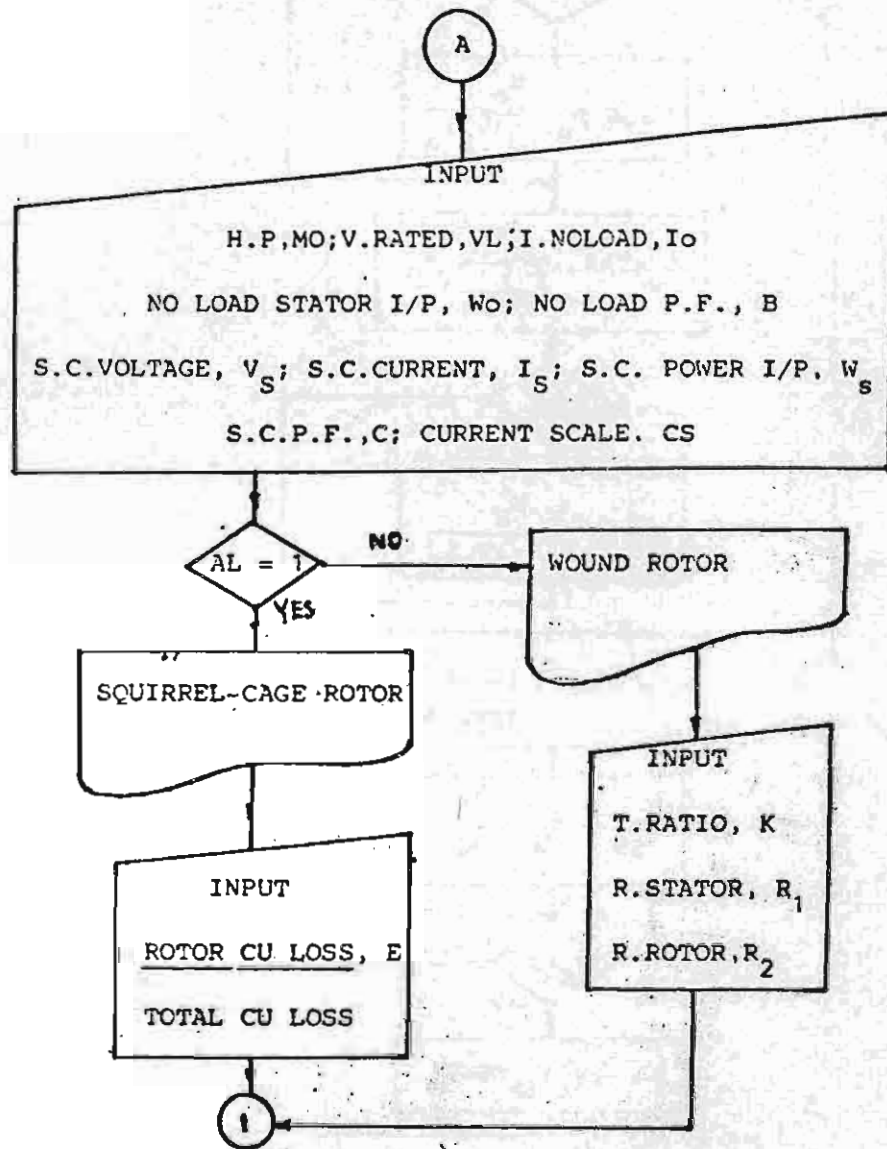
$$\text{ประสิทธิภาพของ motor = ML / LK}$$

6.0 Flow chart ของ program



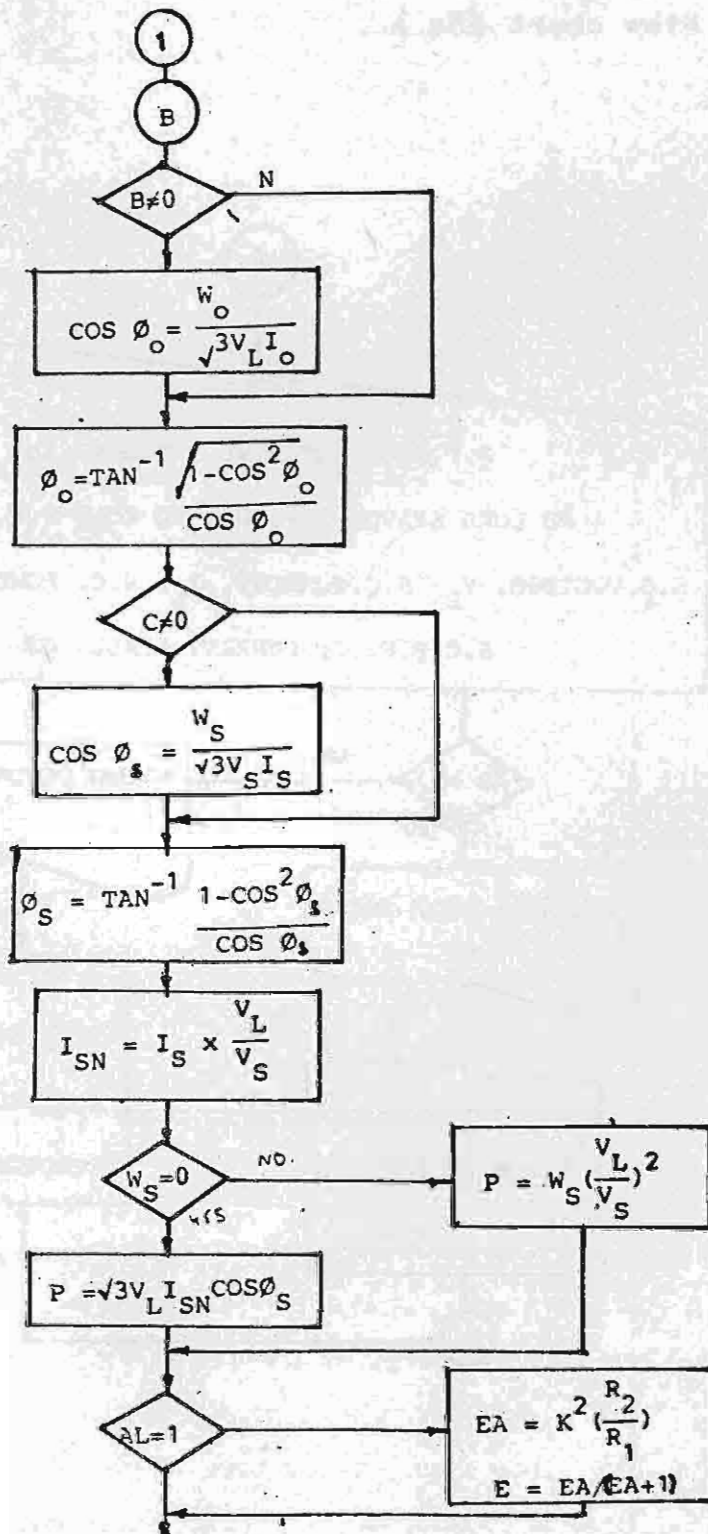
รูปที่ 3 Flow chart รวมของ program

6.1 Flow chart ส่วน A



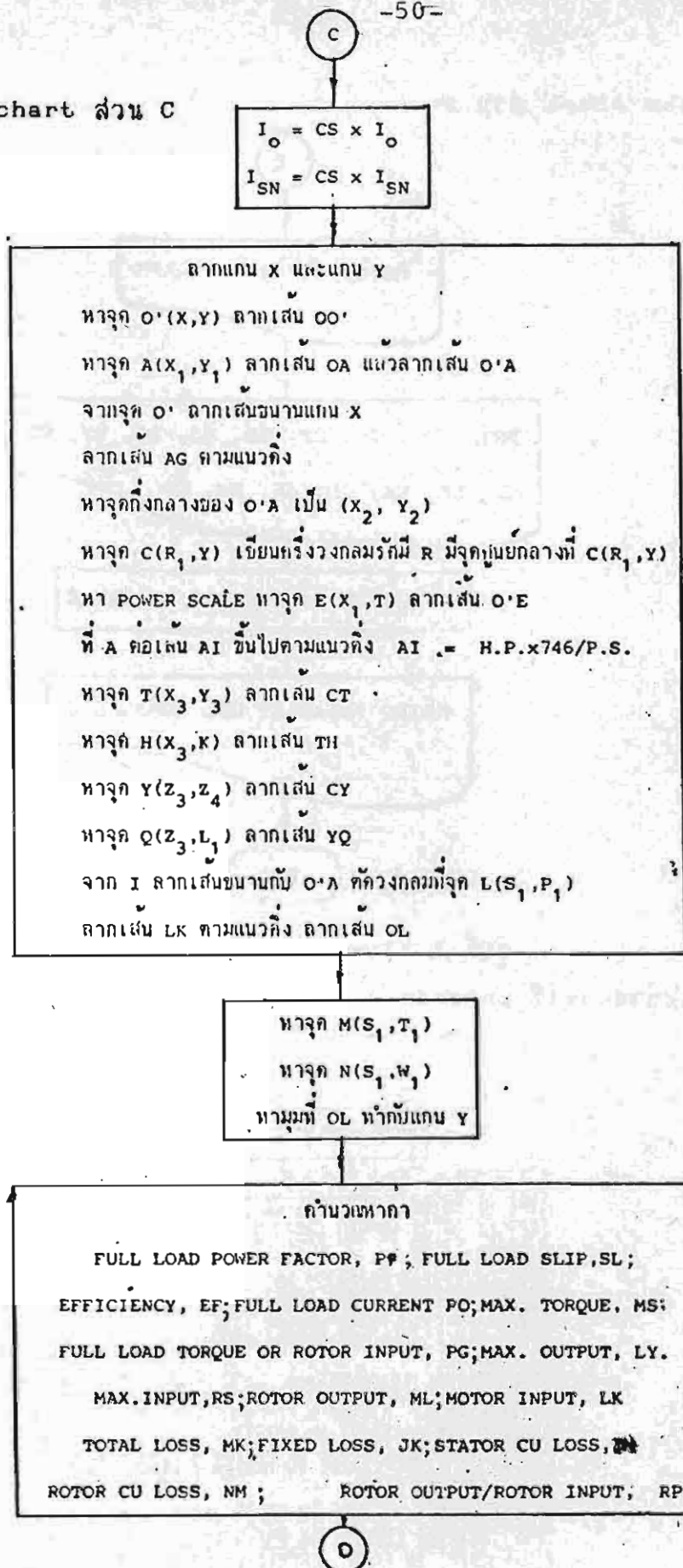
รูปที่ 4 Flow chart ส่วน A

6.2 Flow chart ส่วน B



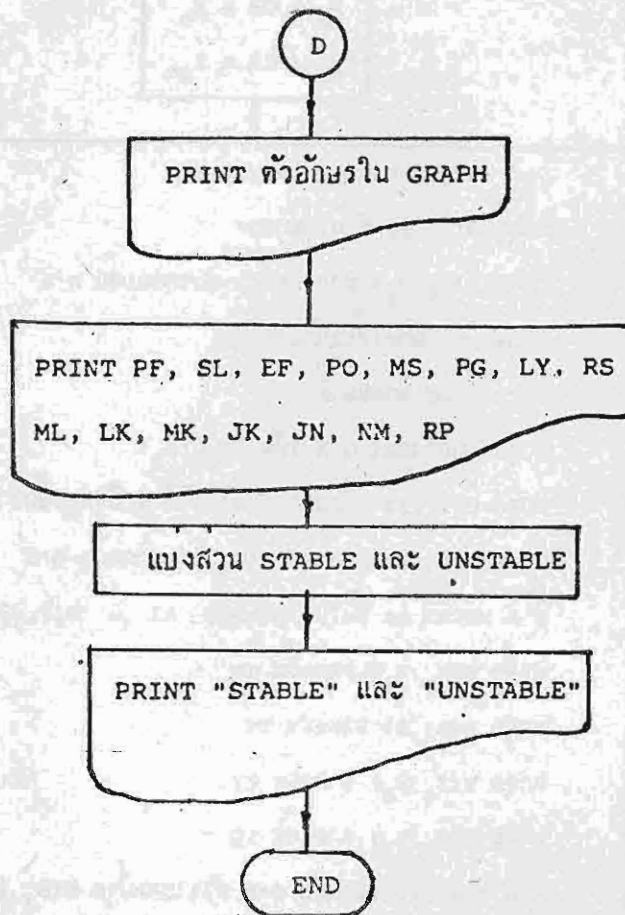
รูปที่ 5 Flow chart ส่วน B

6.3 Flow chart ส่วน C



รูปที่ 6 Flow chart ส่วน C

6.4 Flow chart ส่วน D



รูปที่ 7 Flow chart ส่วน D

7.0 ตัวอย่างการใช้ program

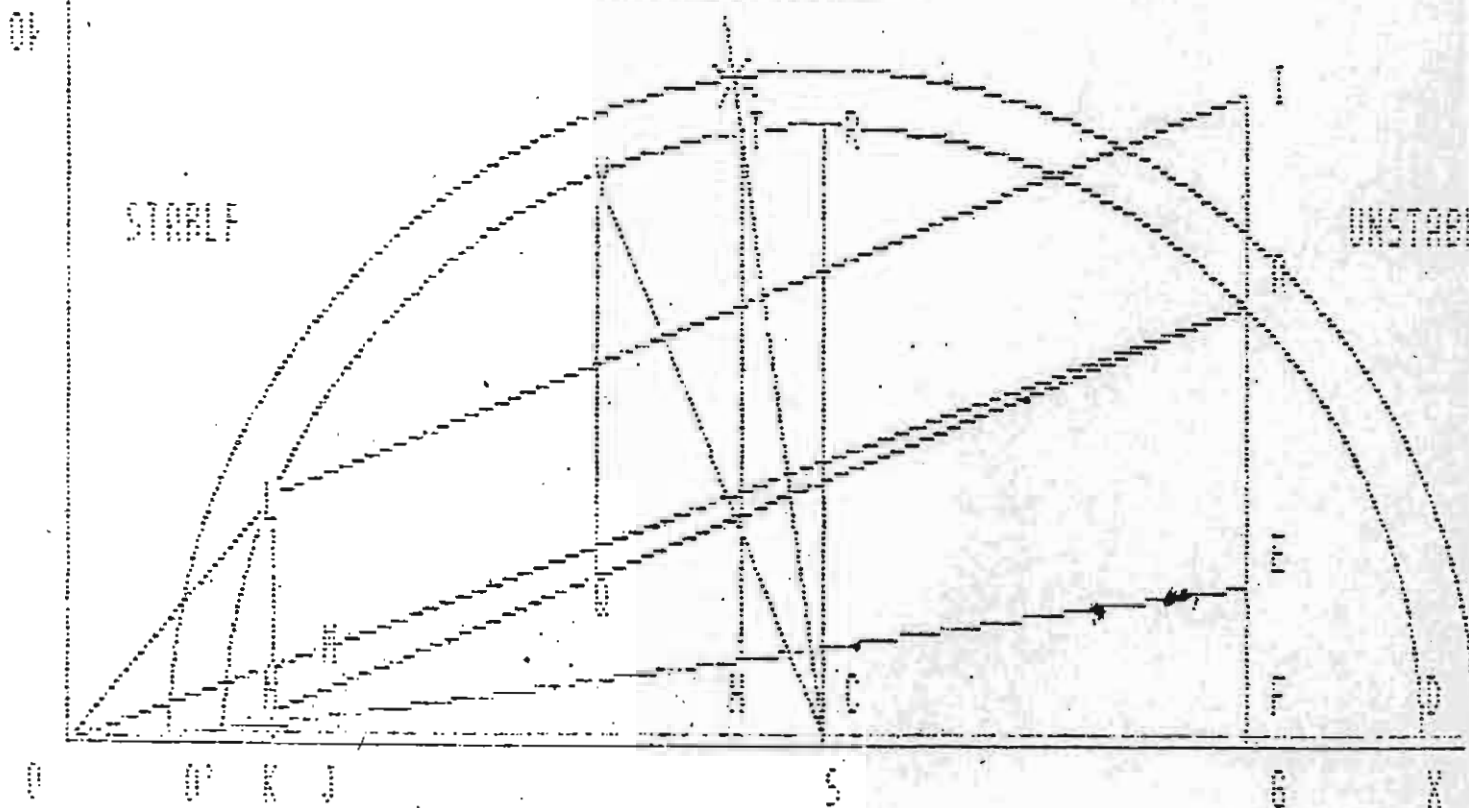
INDUCTION MOTOR

MOTOR OUTPUT IN H.P.? 7.5
 TYPE OF ROTOR 1. SQUIRREL-CAGE ROTOR 2. WOUND ROTOR
 TYPE OF ROTOR DO YOU WANT? 2
 2. WOUND ROTOR
 TRANSFORMATION RATIO? 2.62
 STATOR RESISTANCE PER PHASE? .67
 ROTOR RESISTANCE PER PHASE? .165
 NO LOAD TEST
 LINE VOLTAGE IN VOLT? 400
 MOTOR CURRENT IN AMP? 6
 NO-LOAD STATOR INPUT IN WATTS?
 COS(φ) OR POWER FACTOR IN RADIAN? .887
 SHORT-CIRCUIT TEST
 SHORT-CIRCUIT VOLTAGE IN VOLT? 160
 SHORT-CIRCUIT CURRENT IN AMP? 12
 POWER INPUT ON SHORT-CIRCUIT IN WATTS? 720
 COS(φ) OR POWER FACTOR IN RADIAN?
 CURRENT SCALE FROM 1 TO 5 CURRENT SCALE? 4.5
 DO YOU WANT PRINT TO THE PRINTER? Y OR N? Y

RESULTS

FULL-LOAD CURRENT IN AXP= 12.1201
 FULL-LOAD POWER FACTOR= .769429
 FULL-LOAD SLIP IN PERCENT= 5.56921
 FULL-LOAD TORQUE OR ROTOR INPUT IN WATTS= 5925.81
 MAX. TORQUE IN WATTS= 13733.3
 MAX. OUTPUT IN WATTS= 11630.9
 FIXED LOSS IN WATTS= 361.641
 EFFICIENCY IN PERCENT= 86.5996
 STATOR CU LOSS IN WATTS= 174.114
 ROTOR CU LOSS IN WATTS= 330.012
 ROTOR OUTPUT IN WATTS= 5595
 ROTOR INPUT IN WATTS= 6460.77
 TOTAL LOSS IN WATTS= 865.767
 ROTOR OUTPUT/ROTOR INPUT= .864322
 ME . INPUT IN WATTS= 16189.9

THE CIRCLE DIAGRAM



8. บทสรุป

จากตัวอย่างการใช้งานจะเห็นว่าผังวงกลมที่สร้างขึ้นมานี้ สามารถใช้คำนวณหา performance ของ Induction motor ได้เมื่อโจทย์มีลักษณะเดียวกัน หากต้องการแก้โจทย์ ให้พินิจดูออกไปนั้นจะต้องเปลี่ยนแปลงที่ตัวโปรแกรม สำหรับจุดประสงค์ของโครงการนี้ทำขึ้น เพื่อที่จะใช้ทดสอบ Induction motor ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งต้องการที่จะนำเอา Computer ไป Interface กับ Induction motor เมื่อทดสอบเสร็จก็สามารถที่จะสร้างผังวงกลมพร้อมคำนวณหา performance ได้เลย ซึ่งจะต้องพัฒนาโปรแกรมพร้อมสร้างระบบ Interface อีกต่อไป

9. เอกสารอ้างอิง

1. B.L. Theraja; A text-Book of Electrical Technology 17th Revised ed. : S. chand & Company Ltd. 1978.
2. A.F. Puchstein, T.C. Loyd A.G. conrad; Alternating Current Machines 3rd ed. Charles E. Tuttle Company Tokyo 1975
3. Alexander S. Longsdorf Theory of Alternating Current Machinery TMH ed. Tata Megraw-Hill Publishing company Ltd. New Delhi 1974.