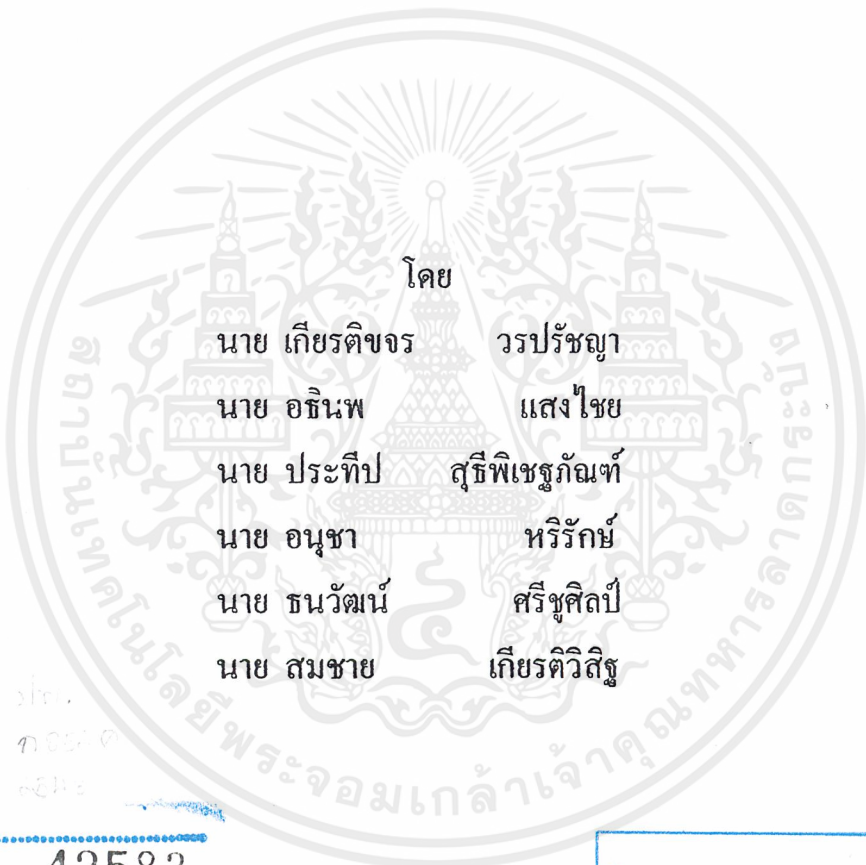




ปีการศึกษา 2543

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
INDUCTION GENERATOR



โดย

นาย เกียรติจักร	วรปรัชญา
นาย อธิพน	แสงไชย
นาย ประทีป	สุทธิเชษฐภักดิ์
นาย อนุชา	หริรักษ์
นาย ธนวัฒน์	ศรีชูศิลป์
นาย สมชาย	เกียรติวิสิฐ

วันที่
ทศ. ๑๑
๒๕๔๓

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 42583
วัน, เดือน, ปี - 4 ส.ย. 2545

b.....
i.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. พิชิต ถ้ายอง

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ผู้จัดทำ

1. นาย เกียรติขจร วรปรัชญา
2. นาย อธิพน แสงไชย
3. นาย ประทีป สุทธิพิเชฐภักดิ์
4. นาย อนุชา หริรักษ์
5. นาย ธนวัฒน์ ศรีชูศิลป์
6. นาย สมชาย เกียรติวิสิฐ

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. พิชิต ถ้ายอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

นาย เกียรติขจร วรปรัชญา
 นาย อธิพนธ์ แสงไชย
 นาย ประทีป สุทธิพิเชฐภักดิ์
 นาย อนุชา หริรักษ์
 นาย ธนวัฒน์ ศรีชูศิลป์
 นาย สมชาย เกียรติวิสิฐ
 ผศ. พิชิต ถ้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีจุดประสงค์ เพื่อทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่แสดงสภาวะการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยศึกษาเมื่อทำการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการจ่ายกำลังงานเมื่อมีการต่อเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลัง และอีกส่วนหนึ่งทำการศึกษาเมื่อมีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยการควบคุมจาก อินเวอร์เตอร์ที่มีขายในท้องตลาดที่นำมาทำการดัดแปลงเพื่อที่จะสามารถมีการคืนกำลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาผ่านอินเวอร์เตอร์ที่ดัดแปลงนั้นแล้วเก็บเข้าแบตเตอรี่ได้ ในการทดลองการคืนกำลังงานในส่วนนี้เราจะต้องพิจารณาหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่สมควรควบคุมให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานในจุดที่ให้กำลังงานออกมาเหมาะสมที่สุด แล้วนำมาออกแบบระบบควบคุม ซึ่ง ส่วนในระบบควบคุมที่นำมาใช้ควบคุมให้อินเวอร์เตอร์ทำงานปรับความถี่ที่เหมาะสมนั้น จะใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุม จะเป็นการศึกษาเรื่องของ ทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก เข้ามาช่วยในการตัดสินใจหาจุดทำงานที่เหมาะสม ซึ่งใช้ภาษาซี เป็นหลัก ในการออกแบบของฟัซซี่ลอจิกแล้วทำการส่งข้อมูลที่ได้ไปที่การ์ดอินเตอร์เฟสเพื่อควบคุมอินเวอร์เตอร์

INDUCTION GENERATOR

Kiatkajohn Warapadya

Atinop Seangchai

Prateep Suteepichetpun

Anucha Harirak

Tanawat Srichoosin

Somchai Kiatwisit

Asst.Prof. Pichit Lumyong Advisor

2000

ABSTRACT

The objective of this thesis is study about behavior of induction machine in mode induction generator, we study when induction generator is supply power to grid system and supply power through inverter, the inverter which we used exist in any commercial and then we improve if for regenerative power to battery, in part of experiment regenerative power through inverter we have to consider to optimum operating point of induction generator, that is induction generator can supply maximum power in every rotor speed and overall system is not harm ,when we had consider about control system, we use personal computer control inverter and use theory of fuzzy logic control to find optimum point and used c- language to write fuzzy logic

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	3
2.2 ทิศทางการไหลของกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	5
2.3 ประสิทธิภาพ	6
2.4 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	7
2.5 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	8
2.6 การประยุกต์ใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	9
บทที่ 3 วงจรสมมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ(Equivalent Circuit)	10
3.1 การทดสอบสภาวะไร้ภาระ (No-load test)	10
3.2 การทดสอบ โดยการยึด โรเตอร์(Locked-rotor tests)	11
3.3 สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าของวงจรสมมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	11
3.4 การทดสอบหาค่าของวงจรสมมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำของโครงการ	14
บทที่ 4 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	37
4.1 การทดลองนำเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำการควบคุมให้ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังงานเข้าสู่ระบบไฟฟ้า	37
4.2 การทดลองนำเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำการควบคุมให้ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังงานผ่านอินเวอร์เตอร์ที่ทำการตัดแปลงแล้วเก็บกำลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่	74
บทที่ 5 ระบบควบคุม	90
5.1 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control)	90
5.2 หน้าที่และการทำงานของอุปกรณ์	91
5.3 การควบคุมแบบ P (P - Control)	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
5.4 ส่วนเพิ่มเติมของการ์ดอินเทอร์เฟซ	105
บทที่ 6 ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก	109
6.1 ทฤษฎีเซตแบบเดิม	109
6.2 ทฤษฎีฟัซซี่	109
6.3 การปฏิบัติการบนฟัซซี่เซต (Fuzzy set operations)	112
6.4 ตัวแปรลึงค์อิสติก (Linguistic Variable)	113
6.5 ประพจน์แบบฟัซซี่ (Fuzzy Proposition)	114
6.6 กฎของฟัซซี่ (Fuzzy Rules)	115
6.7 ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ (Fuzzy Controller)	115
6.8 ตัวควบคุมฟัซซี่แบบฐานความรู้ (FKBC)	118
6.9 ชนิดของตัวควบคุมฟัซซี่แบบฐานความรู้	119
บทที่ 7 การออกแบบตัวควบคุมอินดักชันเงินเนอเรเตอร์แบบฟัซซี่	121
7.1 วงจรควบคุม	121
7.2 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมฟัซซี่ แบบ PI (PI – like FLC)	122
7.3 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	123
7.4 การออกแบบกฎการควบคุม	127
7.5 การทดสอบสมรรถนะ โดยการจำลองผลตอบสนองด้วยโปรแกรม MATLAB	131
7.6 การทดลองและผลการทดลองระบบควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก	136
บทที่ 8 การนำอินเวอร์เตอร์มาประยุกต์ใช้งานกับเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	151
8.1 การนำอินเวอร์เตอร์มาประยุกต์ใช้งานกับเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	151
8.2 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ใช้ใน โครงการงานนี้	152
บทที่ 9 สรุปผลและวิจารณ์	155
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปเส้นกราฟแสดงคุณลักษณะ แรงบิด – ความเร็วของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	3
รูปที่ 2.2 รูปแสดงทิศทางการไหลของกำลังงานจริง และ กำลังงานรีแอกทีฟ ในสภาวะการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	5
รูปที่ 2.3 แสดงการไหลของกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	6
รูปที่ 2.4 แสดงกราฟของประสิทธิภาพ,ตัวประกอบกำลัง และกำลังงาน เปรียบเทียบกัน ระหว่างสภาวะเป็นมอเตอร์และสภาวะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	8
รูปที่ 2.5 แสดงวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	8
รูปที่ 3.1 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ(No load Test)	15
รูปที่ 3.2 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ(No-load Test)	15
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความเร็วรอบของโรเตอร์ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของพิกัดแรงดัน ของมอเตอร์ 1 แรงม้า	16
รูปที่ 3.4 กราฟของแรงดันกับความถี่ในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ(No load Test) โดยใช้อินเวอร์เตอร์	18
รูปที่ 3.5 กราฟของกระแสกับความถี่ในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ(No load Test) โดยใช้อินเวอร์เตอร์	18
รูปที่ 3.6 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบ โดยการยึด โรเตอร์(Locked-rotor Test) ที่ความถี่ 50Hz , 25Hz และ 12.5Hz โดยใช้อินเวอร์เตอร์	22
รูปที่ 3.7 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบ โดยการยึดโรเตอร์(Locked-rotor Test) ที่ความถี่ 50Hz , 25Hz และ 12.5Hz โดยใช้อินเวอร์เตอร์	22
รูปที่ 3.8 แสดงกราฟของค่ากระแสกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V - I Method)	23
รูปที่ 3.9 แสดงกราฟของค่า $X_m(\Omega)$, $R_c(\Omega)$ ที่ความถี่ต่างๆที่ทำการทดสอบ	25
รูปที่ 3.10 แสดงกราฟของค่า $(X_1+X_2)(\Omega)$, $R_2(\Omega)$ ที่ความถี่ต่างๆที่ทำการทดสอบ	25
รูปที่ 3.11 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ(No load Test)	27
รูปที่ 3.12 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ(No-load Test)	27
รูปที่ 3.13 กราฟแสดงความเร็วรอบของโรเตอร์ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของพิกัดแรงดัน ของมอเตอร์ 3 แรงม้า	28

	หน้า
รูปที่ 3.14 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ(No load Test)	30
รูปที่ 3.15 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ(No-load Test)	30
รูปที่ 3.16 กราฟแสดงความเร็วรอบของ โรเตอร์ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของพิกัดแรงดัน ของมอเตอร์ 5 แรงม้า	31
รูปที่ 3.17 แสดงกราฟของค่ากระแสกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V - I Method) 3HP	33
รูปที่ 3.18 แสดงกราฟของค่ากระแสกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V - I Method) 5HP	35
รูปที่ 4.1 แสดงระบบการให้เครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายกำลังงานเข้าระบบไฟฟ้า	37
รูปที่ 4.2 แสดงแทนที่ใช้ปรับความเร็วในการทดสอบให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	38
รูปที่ 4.3 กราฟกระแสที่ได้จากเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 แรงม้า ที่ระดับความเร็วต่างๆ และที่ระดับแรงดันต่างๆ	47
รูปที่ 4.4 กราฟกำลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 แรงม้า ที่ระดับความเร็วต่างๆ และที่ระดับแรงดันต่างๆ	48
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงระดับแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสที่พิกัดของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 แรงม้า จะทำให้มีกำลังที่จ่ายให้แก่ระบบไฟฟ้าได้เท่าใด และมี ค่าสลลิปเท่าใด	49
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดจากการทดลอง และกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังงานที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดจากการ ทดลอง ของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 แรงม้า	51
รูปที่ 4.7 กราฟกระแสที่ได้จากเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 แรงม้า ที่ระดับความเร็วต่างๆ และที่ระดับแรงดันต่างๆ	57
รูปที่ 4.8 กราฟกำลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 แรงม้า ที่ระดับความเร็วต่างๆ และที่ระดับแรงดันต่างๆ	58
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงระดับแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสที่พิกัดของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 แรงม้า จะทำให้มีกำลังที่จ่ายให้แก่ระบบไฟฟ้าได้เท่าใด และมี ค่าสลลิปเท่าใด	59
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดจากการทดลอง และกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังงานที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดจากการ ทดลอง ของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 แรงม้า	61

	หน้า
รูปที่ 4.11 กราฟกระแสที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 5 แรงม้า ที่ระดับความเร็วต่างๆ และที่ระดับแรงดันต่างๆ	68
รูปที่ 4.12 กราฟกำลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 5 แรงม้า ที่ระดับความเร็วต่างๆ และที่ระดับแรงดันต่างๆ	69
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงระดับแรงดันต่างๆเมื่อกระแสที่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 5 แรงม้า จะทำให้มีกำลังที่จ่ายให้แก่ระบบไฟฟ้าได้เท่าใด และมี ค่าสลิปเท่าใด	70
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดจากการทดลอง และกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังงานที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดจากการทดลอง ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 5 แรงม้า	72
รูปที่ 4.15 แสดงระบบการให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายกำลังงานจากอินเวอร์เตอร์ ที่ตัดแปลงแล้วเก็บพลังงานเข้าแบตเตอรี่	74
รูปที่ 4.16 กราฟแสดง แรงดันต่อความถี่ที่ป้อนจากอินเวอร์เตอร์เข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยมีการปรับเพิ่มระดับแรงดันจากฟังก์ชันของอินเวอร์เตอร์	80
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงกำลังงานที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีการคืนกำลังงานที่ตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อมีการปรับความถี่จากอินเวอร์เตอร์ค่าต่างๆและมีการปรับการเพิ่มฟังก์ชันจากอินเวอร์เตอร์ให้มีระดับแรงดันมากขึ้น	81
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงแรงดันกับความถี่ที่ป้อนจากอินเวอร์เตอร์เข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	83
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงกำลังงานที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีการคืนกำลังงานที่ตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อมีการปรับความถี่จากอินเวอร์เตอร์ค่าต่างๆ	84
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าสลิปที่ต้องป้อนให้กับต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เพื่อจะคืนกำลังงานที่จุดทำงานที่พิกัดกระแสทุกครั้งของความถี่ที่ป้อนจากอินเวอร์เตอร์	85
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความถี่ต่ำสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถคืนกำลังงานได้	86
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความถี่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สามารถคืนกำลังงาน	87
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความถี่เกินพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สามารถคืนกำลังงาน	88
รูปที่ 5.1 แสดงระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	90
รูปที่ 5.2 แสดงการอินเตอร์เฟส	91
รูปที่ 5.3 แสดงการอินเตอร์เฟสระหว่างสัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิทัล	93
รูปที่ 5.4 แสดง Flow chart diagramproportional Control	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 5.5 แสดงการเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัพต์	101
รูปที่ 5.6 การเลือกแรงดันอ้างอิงให้ DAC	101
รูปที่ 5.7 แสดงรูปของ ไอซี ADC 0809 และ Jumper	105
รูปที่ 5.8 แสดง Flow Chart ของการควบคุมอินคักซ์เงินเนอเรเตอร์	106
รูปที่ 5.9 แสดงวงจรรีเฟอรัของ ADC	107
รูปที่ 5.10 แสดงวงจรรีเฟอรัของ DAC	107
รูปที่ 5.11 แสดงการเดินสายกราวด์แบบต่างๆ	108
รูปที่ 6.1 ฟังก์ชันเซตและฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันเซต	110
รูปที่ 6.2 S-function	111
รูปที่ 6.3 π -function	111
รูปที่ 6.4 T- function	111
รูปที่ 6.5 แสดงลักษณะตัวแปรลิ่งค์จัสติก	113
รูปที่ 6.6 โครงสร้างของฟังก์ชันคอนโทรลเลอร์	116
รูปที่ 6.7 การอนุมานแบบ Mamdani	117
รูปที่ 7.1 แสดงวงจรควบคุม	121
รูปที่ 7.2 โครงสร้างภายในตัวควบคุมฟังก์ชัน	122
รูปที่ 7.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม	123
รูปที่ 7.4 ระบบควบคุมพื้นฐาน	124
รูปที่ 7.5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	126
รูปที่ 7.6 แสดงความกว้างของจุดตัดทั้ง 2 ฟังก์ชัน	127
รูปที่ 7.7 ระบบควบคุมฟังก์ชันแบบรูปปิด	128
รูปที่ 7.8 ผลการตอบสนองของระบบที่ต้องการ	128
รูปที่ 7.9 ผลตอบสนองของกระแสที่ได้จาก Matlab	135
รูปที่ 7.10 ผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าที่ได้จาก Matlab	135
รูปที่ 7.11 รูปวงจรการทดลอง	137
รูปที่ 7.12 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_{cu} = 1.0$	138
รูปที่ 7.13 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_{cu} = 1.5$	139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 7.14 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_{CU} = 2.0$	140
รูปที่ 7.15 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_{CU} = 2.5$	141
รูปที่ 7.16 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_{CU} = 3.0$	142
รูปที่ 7.17 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_E, K_{CE} = 0.5$	144
รูปที่ 7.18 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_E, K_{CE} = 0.33$	145
รูปที่ 7.19 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_E, K_{CE} = 0.25$	146
รูปที่ 7.20 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_E, K_{CE} = 0.2$	147
รูปที่ 8.1 แสดงวงจรภายในและไดอะแกรมของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ทั่วไป	151
รูปที่ 8.2 แสดงการตัดแปลงอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทั่วไปให้สามารถคืนกำลังงานเข้าแบตเตอรี่	152



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงผลการทดสอบ ณ. สภาวะไว้ภาระที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของพิกัดแรงดัน	14
ตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดสอบ ณ. สภาวะไว้ภาระแบบอัตราส่วน V/f โดยใช้อินเวอร์เตอร์	17
ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบโดยวิธียึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 1 แรงม้า โดยใช้อินเวอร์เตอร์(V/f) ทดสอบที่ 50 Hz	19
ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบโดยวิธียึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 1 แรงม้า โดยใช้อินเวอร์เตอร์(V/f) ทดสอบที่ 25 Hz	20
ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบโดยวิธียึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 1 แรงม้า โดยใช้อินเวอร์เตอร์(V/f) ทดสอบที่ 12.5 Hz	21
ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบโดยวิธียึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 1 แรงม้าที่ความถี่ 50 , 25 , 12.5 Hz ณ.กระแสพิกัด	21
ตารางที่ 3.7 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานของสเตเตอร์โดยวิธี V-I method (1 Hp)	23
ตารางที่ 3.8 ผลการคำนวณหาค่าต่างๆของวงจรสมมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 แรงม้า	24
ตารางที่ 3.9 แสดงผลการทดสอบ ณ. สภาวะไว้ภาระที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของพิกัดแรงดัน (3Hp)	26
ตารางที่ 3.10 แสดงผลการทดสอบ ณ. สภาวะไว้ภาระที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของพิกัดแรงดัน (5Hp)	29
ตารางที่ 3.11 แสดงผลการทดสอบโดยวิธียึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 3 Hp และ 5 Hp ที่กระแสพิกัด	32
ตารางที่ 3.12 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานของสเตเตอร์โดยวิธี V-I method (3 Hp)	32
ตารางที่ 3.13 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานของสเตเตอร์โดยวิธี V-I method (5 Hp)	34
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 แรงม้า จ่ายกำลังงานเข้าสู่ระบบไฟฟ้า	40
ตารางที่ 4.2 การนำเอาค่ากระแสที่ได้และกำลังงานที่ได้จากการคำนวณ โดย MATLAB โดยคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลมอเตอร์ 1 แรงม้าแล้วนำมา เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง โดยทำการเปรียบเทียบพิกัดแรงดัน ที่ 220 Volt/Phase	50
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 แรงม้า จ่ายกำลังงานเข้าสู่ระบบไฟฟ้า	52

	หน้า
ตารางที่ 4.4 การนำเอาค่ากระแสที่ได้และกำลังงานที่ได้จากการคำนวณโดย MATLAB โดยคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลมอเตอร์ 3 แรงม้าแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง โดยทำการเปรียบเทียบพิกัดแรงดันที่ 220 Volt/Phase	60
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 5 แรงม้าจ่ายกำลังงานเข้าสู่ระบบไฟฟ้า	62
ตารางที่ 4.6 การนำเอาค่ากระแสที่ได้และกำลังงานที่ได้จากการคำนวณโดย MATLAB โดยคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลมอเตอร์ 5 แรงม้าแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง โดยทำการเปรียบเทียบพิกัดแรงดันที่ 220 Volt/Phase	71
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองเมื่อทำให้มอเตอร์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยควบคุมจากอินเวอร์เตอร์ที่ต่อเข้ากับเบตเตอร์คูการคืนกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยใช้ค่าระดับแรงดันจากโรงงานที่ตั้งไว้	77
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองเมื่อทำการปรับฟังก์ชันของอินเวอร์เตอร์เพื่อเพิ่มระดับแรงดัน	78
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองเมื่อทำให้มอเตอร์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยควบคุมจากอินเวอร์เตอร์ที่ต่อเข้ากับเบตเตอร์คูการคืนกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยไม่ได้ทำการปรับให้มีการเพิ่มระดับแรงดันที่ความถี่ต่ำ	82
ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองเมื่อนำเอาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำการเก็บพลังงานเข้ากับเบตเตอร์เมื่อคิดเวลาในการชาร์จ	89
ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติของการ์ดอินเตอร์เฟส	96
ตารางที่ 5.2 การเลือกต่อจัมเปอร์ JP ₆ เพื่อเลือกเบอร์อินเตอร์รัฟต์บนพีซี	102
ตารางที่ 5.3 การเลือกต่อจัมเปอร์ JP ₇ เพื่อกำหนดลักษณะเอาต์พุตของ 8253	103
ตารางที่ 7.1 กฎการควบคุมซึ่งประกอบด้วย เทอมเซต (N, ZE, P)	129
ตารางที่ 7.2 กฎการควบคุมซึ่งประกอบด้วย เทอมเซต [NB,NM,NS,ZE,PS,PM,PB]	129
ตารางที่ 7.3 ตารางกฎที่ใช้ในการออกแบบจริง	130
ตารางที่ 7.4 ผลการทดลองคืนกำลังงานผ่านอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ต่างๆ	136
ตารางที่ 7.5 ค่าของผลการทดลองเมื่อใช้การควบคุมแบบ Fuzzy Control Logic	138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นมอเตอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ไป เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีข้อได้เปรียบกว่ามอเตอร์ประเภทอื่นๆคือ มีโครงสร้างง่าย สะดวกในการใช้งาน การบำรุงรักษาทำได้ง่าย การซ่อมแซมทำได้ง่าย แข็งแรงทนทาน มีราคาถูกกว่ามอเตอร์ชนิดอื่นๆ แต่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ยังสามารถที่จะนำมาทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้อีกด้วย แต่ในระบบโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปยังไม่ค่อยถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย แต่มีการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในระบบการผลิตไฟฟ้ากันบ้างแล้ว เช่น ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานลม พลังงานน้ำไหล ฯลฯ เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกำลังมีการพัฒนากันอย่างมากในอนาคตเราจึงจำเป็นต้องทำการศึกษา ทฤษฎีพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเสียก่อนเพื่อสามารถนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง

โครงการนี้ได้การศึกษาถึงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นหลัก โดยในหัวข้อแรกจะทำการศึกษาการทำงานเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า แล้วมีการจ่ายกำลังงานกลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้าโดยในหัวข้อนี้จำเป็นต้องมีการทดสอบหาค่าวงจรสมมูลของการเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากการทดลองจริงและค่าที่ได้จากวงจรสมมูลที่เราได้ทำการทดสอบเพื่อนำมาคำนวณหาค่าต่างๆแล้วทำการเปรียบเทียบกัน โดยในหัวข้อต่อไปจะทำการศึกษาการทำงานเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีการควบคุมโดยอินเวอร์เตอร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดแล้วนำมาทำการตัดแปลงเพื่อให้สามารถเก็บกำลังงานที่ได้จากสภาวะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการจ่ายกำลังงานคืนเข้าสู่แบตเตอรี่ได้อย่างเหมาะสม โดยการศึกษาในเรื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการคืนกำลังงานผ่านอินเวอร์เตอร์นั้นมีส่วนที่ทำการทดลองจริงแล้วทำการวัดผลการทดลองแล้วทำการออกแบบ โดยใช้การควบคุมด้วยพีซีซึ่ล่อจิกให้ควบคุมการคืนกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำผ่านอินเวอร์เตอร์โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ให้ทำงานในจุดที่เหมาะสมด้วย

ขอบเขตของโครงการ

- ศึกษาในทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในการจ่ายกำลังงานคืนเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลัง โดยระบบไฟฟ้ากำลังนั้นทำการต่อเพื่อจ่ายกำลังรีแอกทีฟให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้น ซึ่งให้เราทำการทดลองหาการทำงานในจุดที่เหมาะสมของการคืนกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
- ศึกษาในทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในการจ่ายกำลังงานคืนผ่านอินเวอร์เตอร์ที่มีการดัดแปลงเพื่อสามารถให้คืนกำลังงานผ่านอินเวอร์เตอร์แล้วเก็บเข้าแบตเตอรี่นั้นได้อย่างเหมาะสมที่สุด ในส่วนของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดสอบได้ใช้อินเวอร์เตอร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปเพราะเราไม่ได้มุ่งเน้นในส่วนของการทำงานอินเวอร์เตอร์ ในการศึกษาในหัวข้อนี้ทำการทดลองวัดค่าจริงแล้วพิจารณาจากการทดลองว่าในจุดใดเป็นจุดที่เหมาะสม
- ส่วนในการศึกษาในการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำคืนกำลังงานผ่านอินเวอร์เตอร์นั้นได้ทำการศึกษาอีกเรื่องหนึ่งเกี่ยวกับ ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติในระบบหนึ่งที่เป็นเรื่องน่าสนใจคือการศึกษาในหัวข้อของทฤษฎีฟuzzyลอจิก เพื่อใช้ในการกำหนดการควบคุมที่เหมาะสมให้กับอินเวอร์เตอร์ในการปรับค่าความถี่ที่จ่ายให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแล้วทำให้การคืนกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเหมาะสมที่สุด ซึ่งทฤษฎีของฟuzzyนั้นใช้ภาษาซีเขียนขึ้น แล้วทำการส่งข้อมูลการควบคุมจากคอมพิวเตอร์โดยการ์ดอินเตอร์เฟสในการควบคุมอินเวอร์เตอร์นั้น

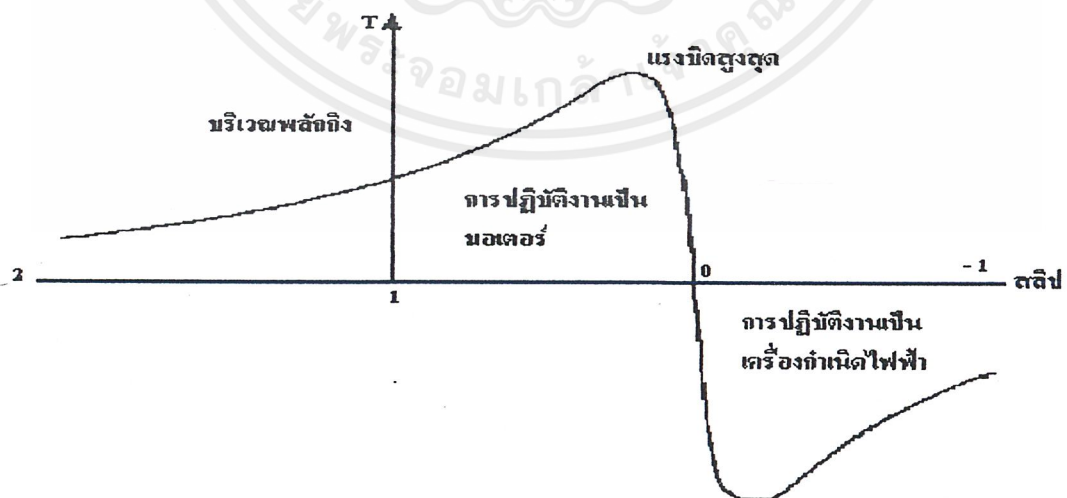
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการต่างๆ

2.1 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ แต่หัวข้อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีกล่าวถึงอยู่ในหนังสือที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับมีน้อยมาก เนื่องมาจากว่าการใช้งานในระบบโรงงานอุตสาหกรรมมีใช้กันน้อย และเนื่องจากวิกฤตการณ์พลังงานในช่วงทศวรรษ 1970 ทำให้วิศวกรและนักวิทยาศาสตร์ได้ตั้งคณะกรรมการขึ้นมา ผลของการวิจัยด้านพลังงาน ในปัจจุบันพบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้เพิ่มความนิยมมากขึ้น เช่น ในระบบการใช้พลังงานลม (Wind Energy Conversion System)

ทฤษฎีการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเริ่มทำงานนั้นจะมีการดึงกระแส 2 ส่วน จากแหล่งจ่ายไฟได้แก่ ส่วนแรกจะใช้ในการกระตุ้นเรียกว่า กระแสกระตุ้น (Exciting Current) ที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ และส่วนที่สองจะใช้ในการสร้างกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) กำลังงานเอาต์พุตทางกล และความสูญเสียภายใน ถ้าโหลดถูกตัดออกไป มอเตอร์ก็ยังคงดึงกระแสที่ใช้ส่วนสร้างสนามแม่เหล็กเท่าเดิม กระแสที่ใช้สร้างกำลังงานจริงจะมีค่าน้อยมาก ณ จุดนี้ ถ้าจะทำให้เกิดสถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ต้องได้รับกำลังงานทางกลเข้าที่เพลลาของโรเตอร์เครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำจนหมุนด้วยความเร็วมากกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน (Synchronous Speed) และเมื่อเกิดสถานะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะได้เส้นกราฟแสดงคุณลักษณะแรงบิดกับความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ แสดงดังรูปที่ 2.1



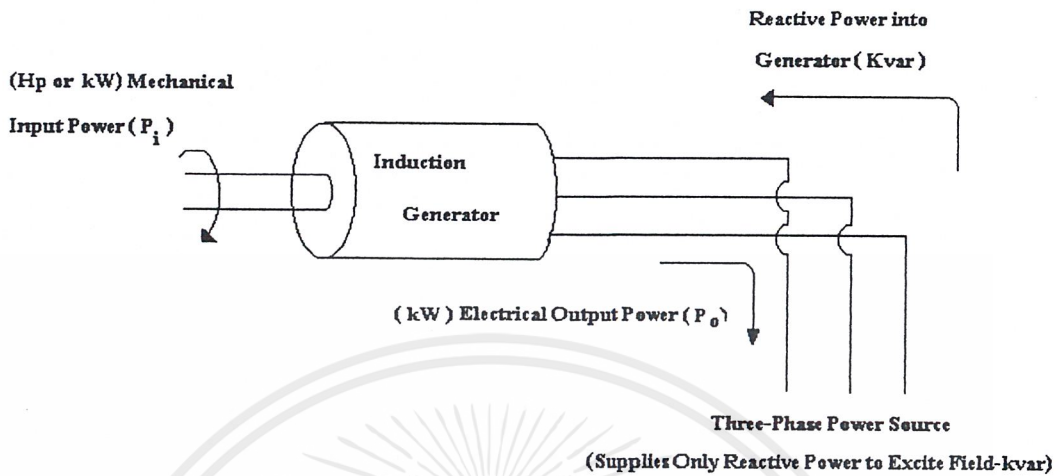
รูปที่ 2.1 รูปเส้นกราฟแสดงคุณลักษณะ แรงบิด - ความเร็วของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำงานในสภาวะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดคุณสมบัติต่างๆดังนี้

1. ค่าสลิป (Slip) จากสมการ $S = (N_s - N_r) / N_s$ จะมีค่าเป็นลบในสภาวะเมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สมการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถนำมาใช้กับสภาวะที่ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ทั้งหมด โดยให้พิจารณาเปลี่ยนค่าสลิปเป็นลบ เมื่อทำงานในสภาวะที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
2. ความเร็วของโรเตอร์จะหมุนเร็วกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน
3. การกลับทิศทางของกระแสในโรเตอร์เป็นเหตุให้มีการกลับทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (emf) ที่สร้างขึ้น โดยขดลวดสเตเตอร์ ซึ่งหมายความว่า พลังงานไฟฟ้าในขณะนี้จะไหลออกจากขดลวดสเตเตอร์ ทำให้ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
4. ความสูญเสียภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขณะนี้ ถูกจ่ายด้วยตัวต้านกำลังที่หมุนเพลลาของโรเตอร์
5. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำยังคงต้องดึงกระแสกระตุ้นอย่างต่อเนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพราะแหล่งจ่ายไฟนี้จะเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กหมุน ถ้าไม่มีการกระตุ้นจากภายนอกแล้วการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็จะไม่สามารถทำงานได้
6. ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนจะขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนให้กับขดลวดสเตเตอร์

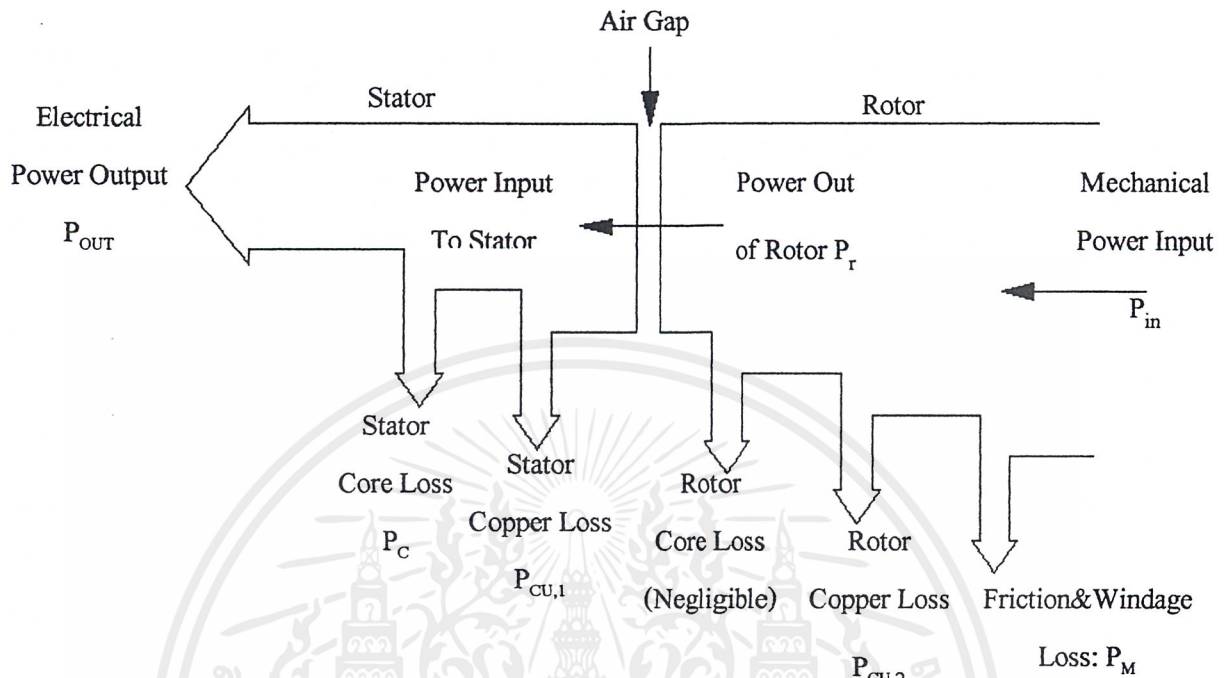
ไดอะแกรมแสดงทิศทางการไหลของกำลังงานแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งในการจะทำให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้นจะต้องต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเข้ากับแหล่งจ่ายกำลังงานรีแอกทีฟ ถ้าแหล่งจ่ายนี้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะดึงกำลังงานรีแอกทีฟจากระบบไฟฟ้าและจ่ายกำลังงานจริงเข้าสู่ระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.2 รูปแสดงทิศทางการไหลของกำลังงานจริง และกำลังงานรีแอกทีฟ
ในสถานะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

2.2 ทิศทางการไหลของกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ในการไหลของกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 แต่ในรูปนี้จะใช้ไม่ได้กับค่าสลิปที่มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกับความเร็วสนามแม่เหล็ก) เนื่องจากในสถานะนี้การทำงานที่เป็นมอเตอร์เริ่มจะหยุดลง และการทำงานที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเริ่มคืบขึ้น จะมีกำลังงานที่จ่ายทั้งสองด้านของไดอะแกรม ค่าความสูญเสียภายในจะถูกจ่ายโดยกำลังงานอินพุททางกลบางส่วน และส่วนที่เหลือจะถูกจ่ายโดยกำลังงานอินพุททางไฟฟ้าจุดที่แสดงให้ทราบว่าได้เปลี่ยนสถานะการทำงานจากมอเตอร์ไปเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคู่ได้จากกราฟการไหลของกำลังงานที่ชั่วขณะเตอร์ ถ้าเครื่องวัดวัตต์มิเตอร์แสดงค่าเป็นศูนย์ ณ จุดนั้นจะเป็นจุดสิ้นสุดการทำงานเป็นมอเตอร์และเริ่มทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.3 แสดงการไหลของกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

2.3 ประสิทธิภาพ (Efficiency)

ประสิทธิภาพสามารถหาได้จากวิธีการเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอื่นๆ ค่ากำลังงานอินพุทจะได้อาจมาจากค่ารวมของ ความสูญเสียภายในทั้งหมดกับค่ากำลังงานเอาต์พุท

ค่าความสูญเสียจากแรงลมและความฝืด, ค่าความสูญเสียจากขดลวดได้มาจากการทดสอบมอเตอร์ จากสภาวะไร้ภาระ (No load) ซึ่งจะมีค่าเหมือนกันกับของมอเตอร์

ความสูญเสียของขดลวดที่สเตเตอร์ ($P_{cu,1}$) ได้มาจากการคำนวณของกระแสและค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ หาได้โดย

$$P_{Cu,1} = 3 I_1^2 R_1$$

$$R_1 = \text{ความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์}$$

ความสูญเสียจากขดลวดของโรเตอร์ ($P_{cu,2}$) ได้จากการคำนวณ

$$P_{CU,2} = S(P_R)$$

P_R = กำลังงานที่ออกจากโรเตอร์ (Power out of rotor)

$$P_R = P_O + P_C + P_{CU,1}$$

เมื่อ

$$P_O = 3xV_p \times I_p \cos \theta$$

P_C = ความสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็ก (Stator core loss)

$\cos \theta$ = ตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$$P_i = P_O + P_C + P_{CU,1} + P_{CU,2} + P_M$$

P_M = ความสูญเสียเนื่องจากความฝืดและแรงลม

(Friction and winding loss)

$$\% \text{ efficiency} = (P_O / P_i) \times 100$$

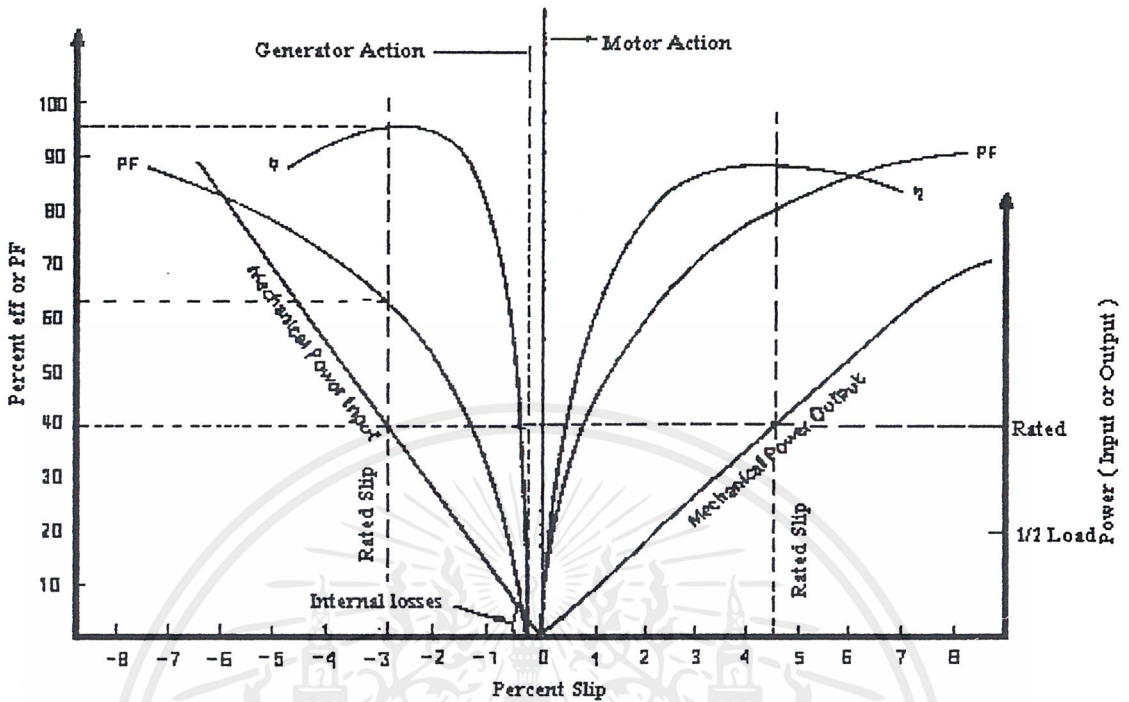
$$P_O = P_i - \text{losses}$$

$$\% \text{ efficiency} = (P_i - \text{losses} / P_i) \times 100$$

2.4 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Typical Characteristics)

ลักษณะทั่วไปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเหมือนกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ แต่จะมีส่วนแตกต่างกันน้อยมาก จากรูปที่ 2.4 เป็นกราฟแสดงค่าตัวประกอบกำลัง, ประสิทธิภาพ และกำลังงานทางกลที่สัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์สลิป ในรูปนี้จะมีค่าสลิปเป็นบวกและลบเพื่อเปรียบเทียบการเป็นมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งทำให้เห็นการเปรียบเทียบกันระหว่างสภาวะการทำงานเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

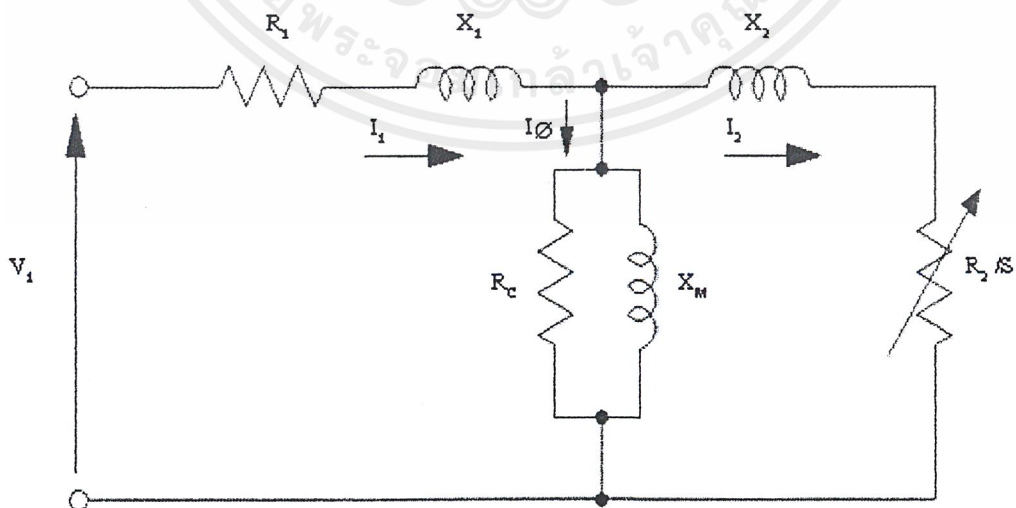
คุณลักษณะต่างๆ ที่ปรากฏในกราฟค่อนข้างจะสมมาตร เส้นประจะแสดงจุดเปลี่ยนสภาวะจากมอเตอร์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำถ้ามีการเพิ่มความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำอีก จะเป็นการเริ่มการผลิตกำลังไฟฟ้าออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายกลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าในขณะนี้ จะทำหน้าที่จ่ายกระแสกระตุ้น เมื่อกำลังงานที่กระแสพิสัย ค่าสลิปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าน้อยกว่าสภาวะมอเตอร์ ซึ่งค่าสลิปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าประมาณ -3 ถึง -5 %



รูปที่ 2.4 แสดงกราฟของ ประสิทธิภาพ,ตัวประกอบกำลัง และกำลังงานเปรียบเทียบกันระหว่าง สภาวะเป็นมอเตอร์และเป็นเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

2.5 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (General Equivalent Circuit)

วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จะเหมือนกับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะแตกต่างกัน เพียงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าสลลิปเป็นลบ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่าต่างๆจากวงจรสมมูลจะหมายถึง

- R_1 = ค่าความต้านทานด้านสเตเตอร์ (Stator resistance ; Ω)
 R = ค่าความต้านทานด้านโรเตอร์ (Rotor resistance ; Ω)
 X_1 = ค่ารีแอกแตนซ์รั่วไหลทางด้านสเตเตอร์ (Stator leakage reactance ; Ω)
 X_2 = ค่ารีแอกแตนซ์รั่วไหลทางด้านโรเตอร์ (Rotor leakage reactance ; Ω)
 X_M = ค่ารีแอกแตนซ์ในส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็ก (Magnetizing reactance ; Ω)
 R_c = ค่าความต้านทานที่สูญเสียในแกนเหล็ก (Ω)

2.6 การประยุกต์ใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ในอดีตนั้นมีการใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีอยู่จำกัด เช่น ในรถไฟบางชนิดมีการใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นแหล่งกำเนิดกำลังงานกลเมื่อรถไฟวิ่งลงเขา จะทำให้ความเร็วเพลาโรเตอร์เพิ่มมากขึ้น (สลิปจะมีค่าเป็นลบ) เครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ นอกจากจะส่งคืนกำลังงานเข้าสู่รถไฟแล้วยังเป็นการทำงานแบบไดนามิกเบรคได้อีกด้วย ในปัจจุบันได้มีการสนใจเกี่ยวกับแหล่งพลังงานอื่นๆเพิ่มมากขึ้น เช่นการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้พลังงานลมมาขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จะพบว่าระบบการผลิตกำลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมเป็นระบบที่ไม่ยุ่งยากและมีต้นทุนในการทำต่ำ ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตไฟฟ้าในท้องถิ่นต่อไปในอนาคต

บทที่ 3

วงจรมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ(Equivalent Circuit)

การหาจรมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในโครงการนี้จะอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE Std 112-1996 (IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators) โดยทำการ ทดสอบสภาวะไร้ภาระ (No-load test) และ การทดสอบยึด โรเตอร์(Locked-rotor test) ซึ่งการทดสอบจะใช้ วิธีทดสอบหาจรมูลวิธี F หรือ F1 (Test Method F or F1) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในหลายวิธีของ มาตรฐานการทดสอบของ IEEE ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบต่างๆดังนี้

3.1 การทดสอบสภาวะไร้ภาระ (No-load test)

การทดสอบจะทำโดยให้เครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำหมุนโดยไร้ภาระที่พิกัดแรงดันและที่พิกัดความถี่และทำการอ่านค่ากระแสที่วัดได้จากทุกเฟส เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยแล้วจะได้ค่ากระแสที่สภาวะไร้ภาระ(No-load current) ส่วนค่าสูญเสียในสภาวะไร้ภาระนั้นจะ ได้จากการอ่านค่ากำลังงานที่เข้าทางค้ำานสเตเตอร์ (Power input)ทั้งหมด แต่เมื่อลบออกด้วยค่าสูญเสียเนื่องจากขดลวดทองแดง(Stator I²R loss) ออกจากกำลังงานที่เข้าทางค้ำานสเตเตอร์(Power Input) ก็จะได้ค่าของผลรวมของค่าสูญเสียเนื่องจากความฝืด แรงลม และแกนเหล็ก (Friction , Windage and Core losses)

3.1.1 การหาค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงลมและความฝืด (Friction and Windage losses)

ทดสอบโดยการปรับค่าแรงดันจาก 10% ของพิกัดไปจนถึง 100% ของพิกัดแรงดันและวัดค่ากระแสกับกำลังงานที่เข้าทางสเตเตอร์ในสภาวะไร้ภาระที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของพิกัดแรงดัน จากนั้นนำค่าที่ได้หาค่าเฉลี่ยแล้วนำไปวาดเป็นกราฟของกระแสและกำลังงาน ณ สภาวะไร้ภาระเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์ต่างๆของพิกัดแรงดันที่แปรเปลี่ยนไป แล้วทำการวาดเส้นกราฟของกำลังงานที่เข้าทางสเตเตอร์ ในสภาวะไร้ภาระต่อไปจนกราฟตัดกับแกน 0 ของเปอร์เซ็นต์พิกัดแรงดัน ณ.จุดที่กราฟตัดกับแกน 0 ของแรงดันนี้ คือค่าสูญเสียเนื่องจากแรงลมและความฝืด (Friction and Windage losses)

3.1.2 การหาค่าความสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็ก (Core loss)

ค่าความสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็ก ณ.สภาวะไ่ว์ภาระที่พิกัดแรงดันหาได้จากการนำค่ากำลังงานที่เข้าทางสเตเตอร์ในสภาวะไ่ว์ภาระลบด้วย ค่าความสูญเสียเนื่องจากทองแดง(Stator I²R loss) และค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงลมและความฝืด (Friction and Windage losses) ที่หามาได้จากหัวข้อที่แล้วก็จะ ได้ค่าความสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็ก(Core loss) ออกมา

3.2 การทดสอบโดยการยึดโรเตอร์(Locked-rotor tests)

ทดสอบโดยการยึดโรเตอร์ที่พิกัดความถี่ , 50%ของพิกัดความถี่ และ 25%ของพิกัดความถี่ โดยที่ทุกความถี่จะปรับแรงดัน ไปจนทำให้ได้ค่ากระแสที่พิกัดโดยที่โรเตอร์ที่ใช้เป็นแบบโรเตอร์กรงกระรอก(Squirrel-Cage Rotor)เพราะฉะนั้นในการหาค่าอิมพีแดนซ์(Impedance)ของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ โรเตอร์กรงกระรอกจึงไม่มีผลของการวางตำแหน่งของ โรเตอร์ให้สัมพันธ์กับสเตเตอร์เหมือนกับแบบขดลวดโรเตอร์

จากนั้นทำการบันทึกค่า แรงดัน, กระแส, มุมต่างเฟส(ϕ)และกำลังงานที่เข้าทางสเตเตอร์ในขณะที่ทำการทดสอบ โดยยึดโรเตอร์และทำการปรับค่าแรงดัน จนวัดค่ากระแสได้ที่พิกัดของเครื่องจักรไฟฟ้า เหนี่ยวนำที่นำมาทดสอบ จากนั้นนำค่าที่บันทึกได้ไปทำการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะนำไปหาค่า Rotor resistance (R_r)และ Total leakage reactance(X_1+X_2)จากสมการต่างๆของ IEEE Std112-1996(วิธี F-F1) จากนั้นจะได้รูปกราฟของค่า R_r , (X_1+X_2), X_m และ R_c เทียบกับแกนของความถี่ เพื่อใช้ในการหาค่า ณ.จุดทำงานที่ความถี่ที่ต้องการ

3.3 สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าของวงจรสมมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เมื่อทำการทดสอบและได้ค่าต่างๆแล้วก็ทำการกำหนดค่าอัตราส่วน X_1/X_2 ขึ้นมาเพื่อนำไปใช้ในการ คำนวณต่อไป

โดยที่อัตราส่วนของ X_1/X_2 จะแบ่งตามชนิดของมอเตอร์ได้ดังนี้

$$(X_1/X_2) = 1.0 \quad : \text{class A, class D, wound-rotor motors.}$$

$$(X_1/X_2) = 0.67 \quad : \text{class B motors.}$$

$$(X_1/X_2) = 0.43 \quad : \text{class C motors.}$$

โดยที่มีสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$VAR = \sqrt{[(mVI)^2 - W^2]}$$

$$X_M = \frac{mV_o^2}{VAR_o - mI_{10}^2 X_1} * \left[\frac{1}{1 + (X_1/X_M)} \right]^2 \dots\dots\dots(1)$$

$$X_{IL} = \frac{VAR_L}{mI_{IL}^2 \{1 + (X_1/X_2) + (X_1/X_M)\}} * \{(X_1/X_2) + (X_1/X_M)\} \dots\dots\dots(2)$$

$$X_1 = (f/f_L) * X_{IL} \dots\dots\dots(3)$$

จากสมการที่ 1, 2 และ 3 มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

- 1) แก้สมการที่ (1) โดยที่กำหนดค่า X_M และ X_1 ขึ้นมาแล้วหาค่าอัตราส่วน (X_1/X_M) เพื่อนำไปคำนวณหาค่า X_M ค่าใหม่
- 2) แก้สมการที่ (2) เพื่อหาค่า X_{IL} โดยที่ใช้ค่าอัตราส่วน (X_1/X_M) ที่กำหนดมาจากสมการที่ (1)
- 3) แก้สมการที่ (3) เพื่อหาค่า X_1
- 4) แก้สมการที่ (1) ใหม่เพื่อหาค่า X_M ค่าใหม่โดยใช้ X_1 จากสมการที่(3) , X_M จากสมการที่(1) และอัตราส่วน X_1/X_M จากสมการที่ (1)และ(3)
- 5) ทำตามขั้นตอนที่ 1-4 ใหม่จนกระทั่งได้ค่า X_1 และ X_M ที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (ค่าความเคลื่อนประมาณ 0.1%)

$$b_M = 1/X_M \dots\dots\dots(4)$$

$$X_2 = X_1 / (X_1/X_2) \dots\dots\dots(5)$$

$$W_h = W_o - W_f - mI_{10}^2 R_1' \dots\dots\dots(6)$$

$$g_c = \frac{W_h * [1 + (X_1/X_M)]^2}{mV_o} \dots\dots\dots(7)$$

$$R_c = 1/g_c \dots\dots\dots(8)$$

$$R_2'' = \left[\frac{W_L - R_1''}{mI_{IL}^2} \right] * \left[\frac{1 + X_2}{X_M} \right]^2 - \left[\frac{X_2}{X_1} \right]^2 * [X_{IL}^2 g_c] \dots\dots\dots(9)$$

เมื่อ	V	= แรงดันต่อเฟส (V)
	f	= ความถี่ (Hz)
	I_1	= กระแสทางด้านสเตเตอร์ (A)
	I_2	= กระแสทางด้านโรเตอร์ (A)
	m	= จำนวนเฟส
	R_1	= ค่าความต้านทานของสเตเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ ณ.อุณหภูมิเฉพาะ Class ของฉนวนมีหน่วยเป็น โอห์ม(Ω)
	R_1'	= ค่าความต้านทานของสเตเตอร์ที่ได้จากการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (Ω)
	R_1''	= ค่าความต้านทานของสเตเตอร์ที่ได้จากการทดสอบยึดโรเตอร์ (Ω)
	R_2	= ค่าความต้านทานของโรเตอร์ที่ย้ายมาทางด้านสเตเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ ณ.อุณหภูมิเฉพาะ Class ของฉนวนมีหน่วยเป็น โอห์ม(Ω)
	R_2''	= ค่าความต้านทานของโรเตอร์ที่ย้ายมาทางด้าน สเตเตอร์ที่ได้จากการทดสอบยึดโรเตอร์ (Ω) ,
	X_1	= ค่ารีแอกแตนซ์รั่วไหลทางด้านสเตเตอร์ (Ω)
	X_2	= ค่ารีแอกแตนซ์รั่วไหลทางด้านโรเตอร์ (Ω)
	X_M	= ค่ารีแอกแตนซ์ในส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็ก (Ω)
	R_C	= ค่าความต้านทานที่สูญเสียในแกนเหล็ก (Ω)
	g_C	= ค่าความนำที่สูญเสียในแกนเหล็ก (Ω^{-1})
	VAR	= กำลังงานเสมือน :Reactive Power (vars)
	W	= กำลังงานที่เข้าทางด้านสเตเตอร์ (Power Input :W)
	W_h	= กำลังงานที่สูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss :W)
	W_f	= กำลังงานที่สูญเสียจากแรงลมและความฝืด (Friction and Windage loss :W)
	L	= ค่าที่ได้จากการทดสอบ โดยวิธียึดโรเตอร์ (Locked-rotor test)
	O	= ค่าที่ได้จากการทดสอบในสภาวะ ไร้ภาระ (No-load test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

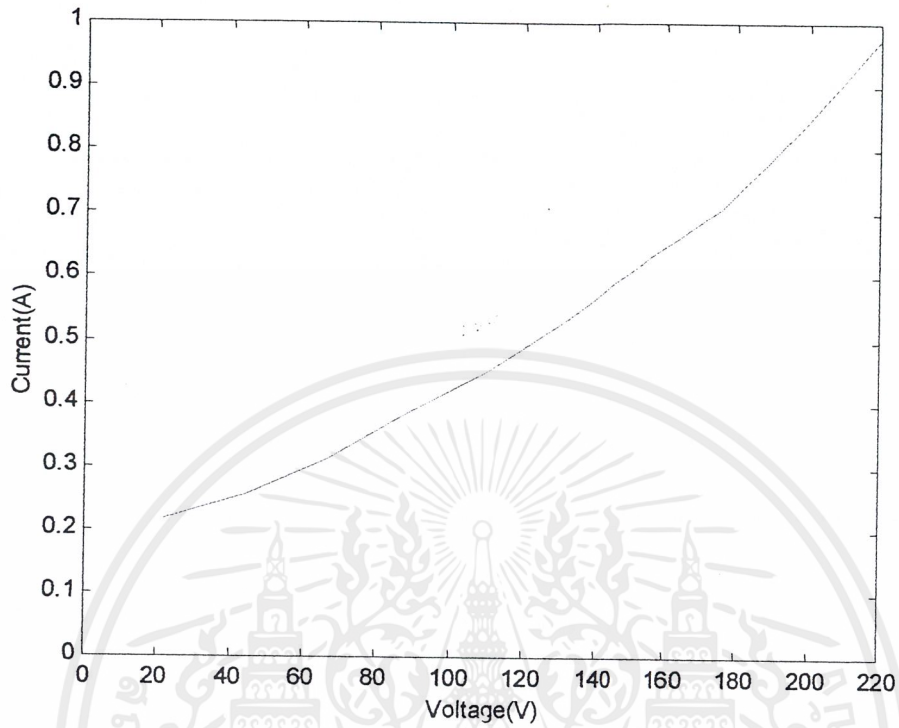
3.4 การทดสอบหาค่าของวงจรสมมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำของโครงการ

ผลการทดสอบสถานะไร้ภาระ (No-load test)

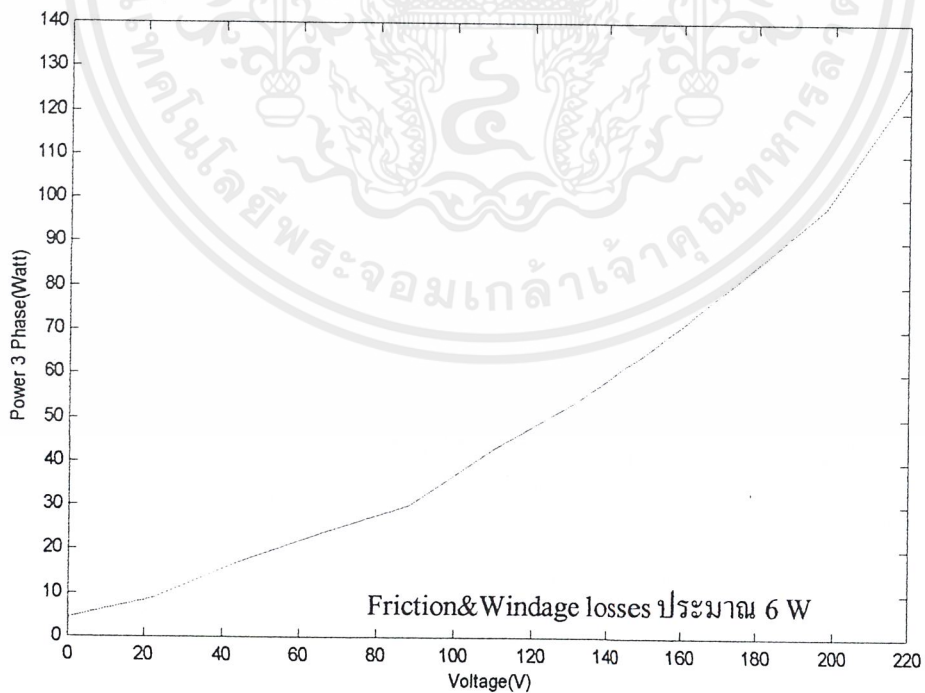
Induction Machine	1 Hp	4 Pole	50Hz		60Hz	
		Volt (V)	220	380	220	380
		Amp (A)	3.4	2	3.4	2
		rpm	1400		1400	

V_{IN} / Phase	I_{AVE}	ϕ	N_r	W_o (3 Phase)
22	0.216	-47	1460	9
44	0.256	-60	1492	17
66	0.31	-68	1496	24
88	0.383	-70	1497	30
110	0.453	-72	1497.5	43
132	0.534	-74	1498	54
154	0.626	-76	1498.2	67
176	0.71	-77	1498.5	82
198	0.836	-78	1499	98
220	0.976	-81	1499.9	126

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการทดสอบ ณ. สถานะ ไร้ภาระที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของพิกัดแรงดัน

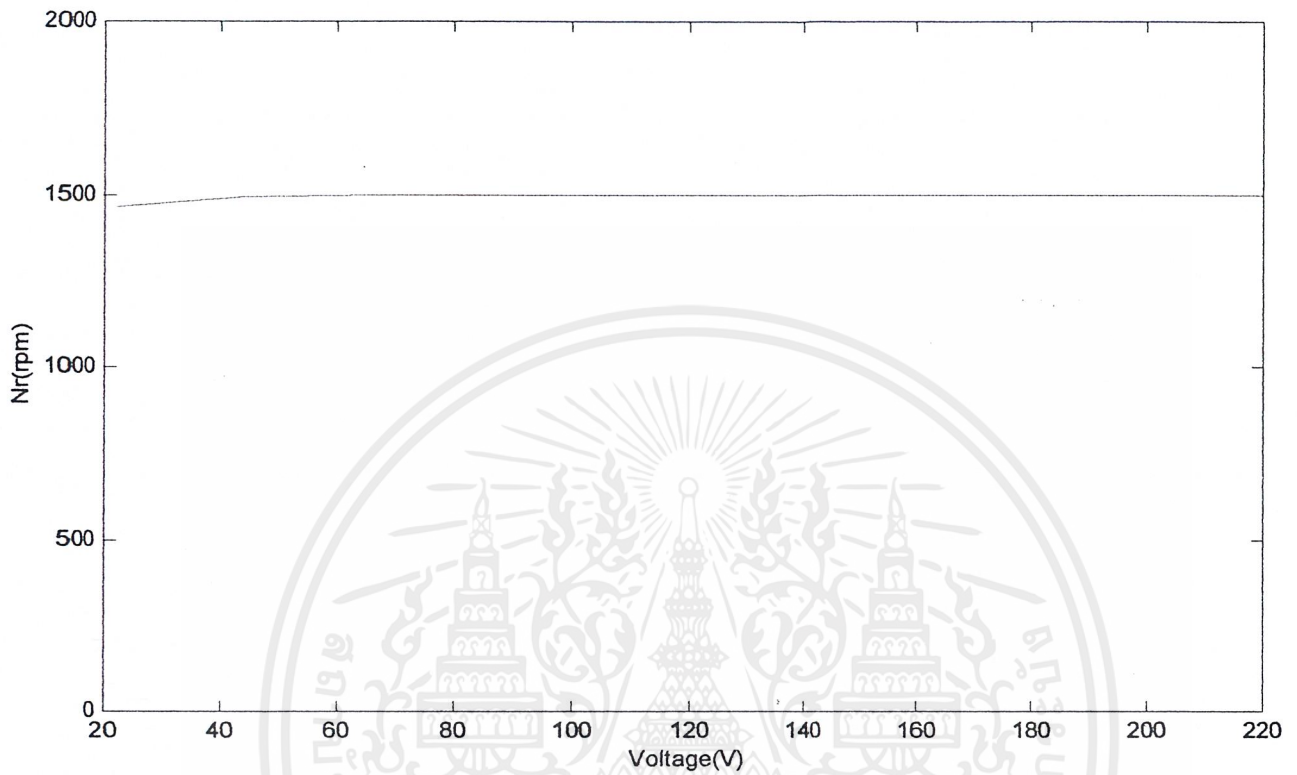


รูปที่ 3.1 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (No load Test)



รูปที่ 3.2 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (No-load Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



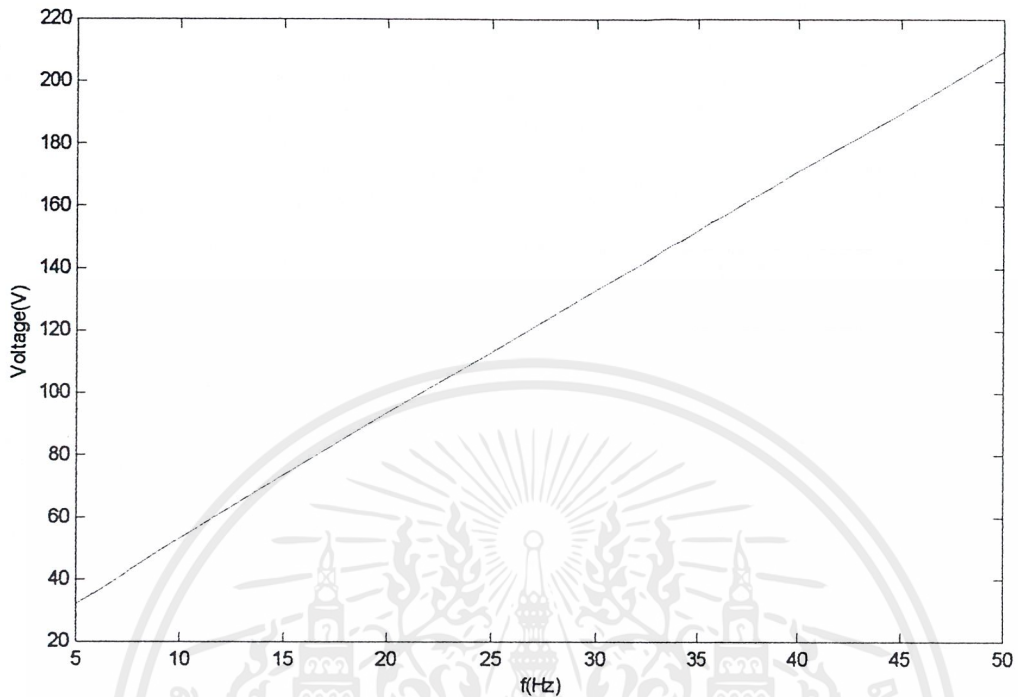
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความเร็วรอบของโรเตอร์ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของพิกัดแรงดันของมอเตอร์ 1 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

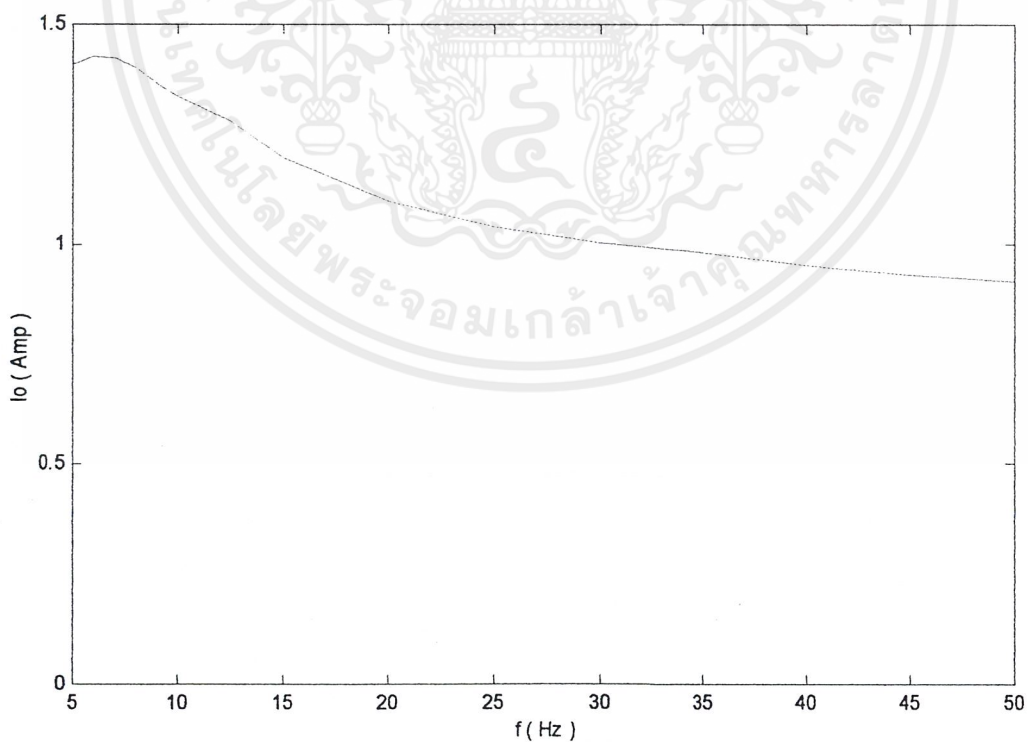
ค่าจากการวัด ณ.สภาวะไร้ภาระของมอเตอร์แรงม้าแบบอัตราส่วน V/f โดยใช้อินเวอร์เตอร์
ปรับความถี่จาก 50-5 Hz (V/f คงที่)

V _o	f	Phase U		Phase V		Phase W		I _{ave}	P _{3∅}
		I _u	∅ _u	I _v	∅ _v	I _w	∅ _w		
220	50	0.93	-80	0.94	-81	0.88	-79	0.916	108
190	45	0.94	-79	0.96	-81	0.89	-78	0.93	100
171	40	0.96	-79	0.98	-79	0.92	-78	0.953	94
152	35	1.01	-76	1.0	-78	0.93	-77	0.98	106
133	30	1.04	-75	1.02	-77	0.95	-76	1.003	101
113.4	25	1.07	-75	1.06	-74	0.99	-74	1.04	104
93.7	20	1.12	-72	1.12	-71	1.05	-72	1.096	103
73.7	15	1.24	-60	1.22	-66	1.13	-68	1.19	97
63.5	12.5	1.29	-64	1.27	-60	1.28	-63	1.28	110
53.2	10	1.37	-57	1.35	-57	1.29	-58	1.336	104
49.1	9	1.4	-54	1.38	-53	1.31	-56	1.363	107
44.7	8	1.43	-51	1.36	-51	1.41	-52	1.4	106
40.5	7	1.45	-48	1.36	-51	1.46	-47	1.423	105
36.3	6	1.48	-42	1.36	-46	1.46	-42	1.426	116
32	5	1.48	-35	1.36	-40	1.42	-32	1.41	111

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดสอบ ณ. สภาวะ ไร้ภาระแบบอัตราส่วน V/f โดยใช้อินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.4 กราฟของแรงดันกับความถี่ในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (No load Test) โดยใช้อินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.5 กราฟของกระแสกับความถี่ในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (No load Test) โดยใช้อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการทดสอบโดยวิธียึดโรเตอร์ (locked-rotor test)

Induction Machine	1 Hp	4 Pole	50Hz		60Hz	
		Volt (V)	220	380	220	380
		Amp (A)	3.4	2	3.4	2
		rpm	1400		1400	

V_p	Phase U		Phase V		Phase W		I_{ave}	$P_{3\phi}$
	I_u	ϕ_u	I_v	ϕ_v	I_w	ϕ_w		
10.3	0.2	-61	0.21	-80	0.21	-63	0.206	3
15.5	0.37	-58	0.39	-60	0.42	-61	0.393	9
21.7	0.67	-56	0.67	-60	0.67	-56	0.67	22
26.7	0.93	-52	0.89	-53	0.93	-51	0.916	47
32.4	1.18	-48	1.14	-50	1.21	-50	1.176	73
38.6	1.45	-46	1.45	-47	1.44	-48	1.446	115
42.2	1.65	-46	1.55	-47	1.58	-47	1.593	138
44.9	1.72	-46	1.71	-45	1.73	-46	1.72	160
48.1	1.89	-45	1.78	-43	1.9	-45	1.856	192
50.1	1.92	-44	2	-43	1.96	-45	1.96	213

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบ โดยวิธียึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 1 แรงม้า โดยใช้อินเวอร์เตอร์ (V/f)
ทดสอบที่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_p	Phase U		Phase V		Phase W		I_{ave}	$P_{3\phi}$
	I_u	ϕ_u	I_v	ϕ_v	I_w	ϕ_w		
6.3	0.22	-49	0.24	-48	0.25	-41	0.236	3
10	0.43	-41	0.44	-39	0.45	-39	0.44	9
14.3	0.67	-34	0.66	-34	0.68	-33	0.67	24
18.7	0.93	-30	0.92	-30	0.92	-31	0.923	45
23.1	1.18	-28	1.17	-27	1.17	-29	1.173	72
27.7	1.41	-27	1.42	-26	1.41	-27	1.413	105
32.1	1.67	-26	1.67	-25	1.65	-26	1.663	145
36.7	1.9	-25	1.85	-25	1.87	-25	1.873	189
38.8	2	-25	1.9	-25	1.97	-25	1.956	208

ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบโดยวิธีวัดโรเตอร์ของมอเตอร์ 1 แรงม้า โดยใช้อินเวอร์เตอร์ (V/f)
ทดสอบที่ 25 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

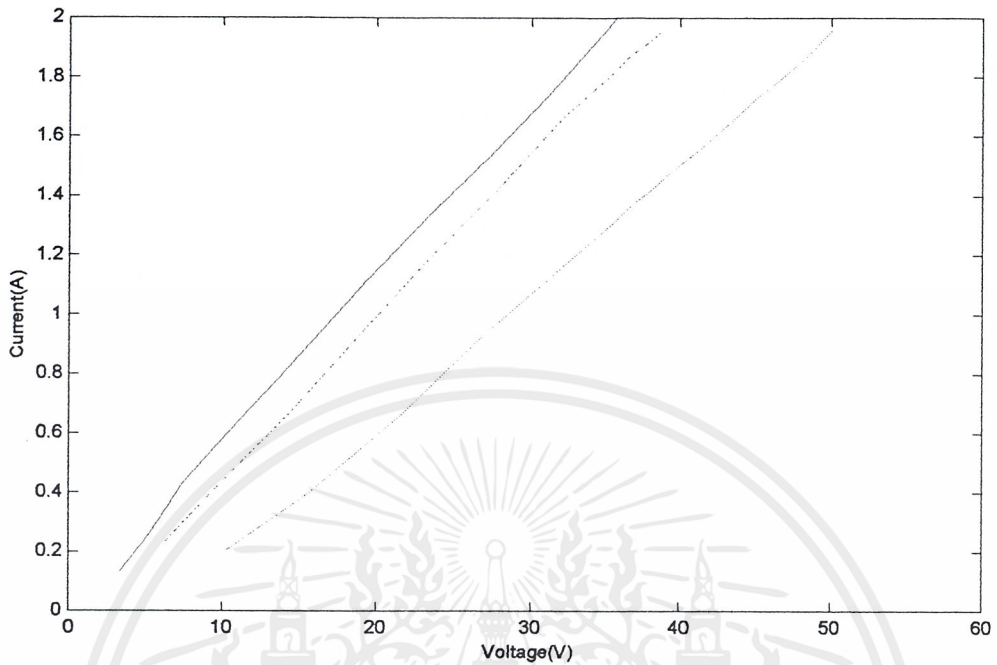
V_p	Phase U		Phase V		Phase W		I_{ave}	$P_{3\phi}$
	I_U	\angle_U	I_V	\angle_V	I_W	\angle_W		
3.3	0.13	-34	0.13	-24	0.13	-39	0.13	0
5	0.25	-20	0.24	-26	0.25	-25	0.246	3
7.5	0.44	-16	0.43	-18	0.43	-19	0.433	9
11.2	0.66	-13	0.65	-15	0.65	-15	0.653	21
13.3	0.78	-12	0.76	-10	0.76	-14	0.766	30
15.3	0.89	-11	0.88	-11	0.88	-12	0.883	39
19.3	1.11	-11	1.11	-9	1.1	-11	1.11	64
23.5	1.35	-9	1.33	-8	1.33	-10	1.336	94
27.5	1.59	-8	1.54	-8	1.5	-9	1.543	128
31	1.76	-8	1.72	-8	1.72	-8	1.733	160
33	1.85	-8	1.84	-7	1.84	-8	1.843	181
35.7	2	-8	2	-6	2	-8	2	213

ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบโดยวิธียึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 1 แรงม้าโดยใช้อินเวอร์เตอร์ (V/f)
ทดสอบที่ 12.5Hz

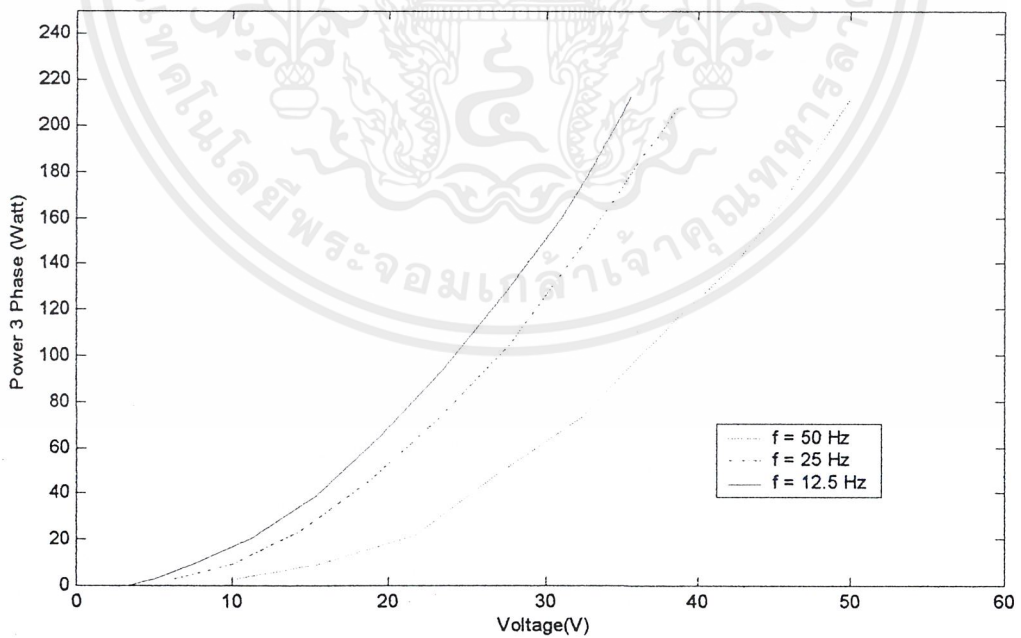
F	V_p	Phase U		Phase V		Phase W		I_{ave}	$P_{3\phi}$
		I_U	\angle_U	I_V	\angle_V	I_W	\angle_W		
50	50.1	1.92	-44	2	-43	1.96	-45	1.96	213
25	38.3	2	-25	1.9	-25	1.97	-25	1.956	208
12.5	35.7	2	-8	2	-6	2	-8	2	213

ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบโดยวิธียึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 1 แรงม้าที่ความถี่ 50, 25, 12.5 Hz ณ. กระแสพิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบ โดยการยึดโรเตอร์(Locked-rotor Test)ที่ความถี่ 50Hz , 25Hz และ 12.5Hz โดยใช้อินเวอร์เตอร์



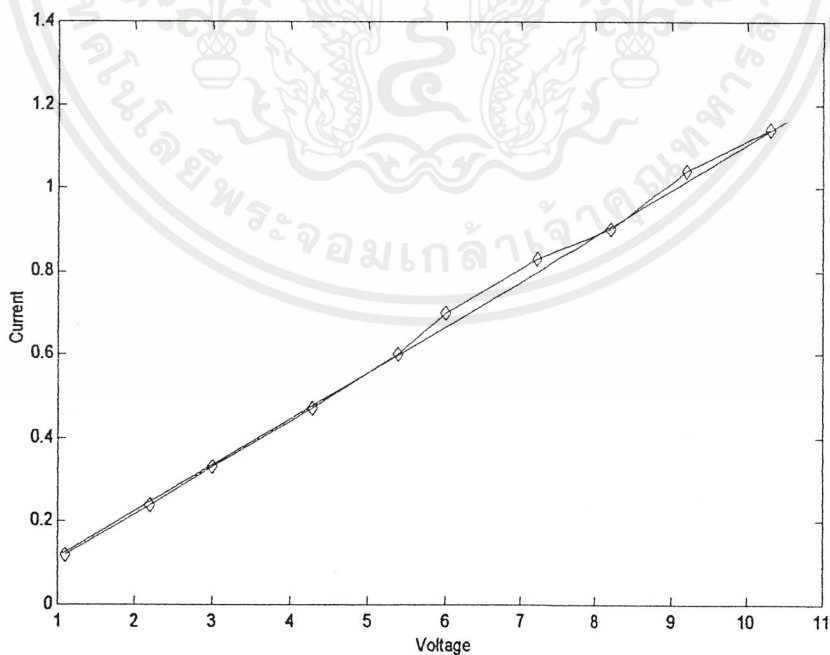
รูปที่ 3.7 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบ โดยการยึดโรเตอร์(Locked-rotor Test)ที่ความถี่ 50Hz , 25Hz และ 12.5Hz โดยใช้อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V- I Method Induction Machine 1 แรงม้า

ครั้งที่	V	I	R (Ω)
1	1.1	0.12	9.1667
2	2.2	0.24	9.1667
3	3	0.33	9.1
4	4.3	0.47	9.148
5	5.4	0.6	9
6	6	0.7	8.5714
7	7.2	0.83	8.6746
8	8.2	0.92	8.913
9	9.2	1.04	8.8461
10	10.3	1.14	9.035

ตารางที่ 3.7 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานของสเตเตอร์ โดยวิธี V-I method



รูปที่ 3.8 แสดงกราฟของค่ากระแสกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V - I Method)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ (R_1) จากการทดสอบโดยวิธี V-I Method

เมื่อทำการทดสอบหาค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์จากวิธี V-I Method และได้ค่าต่างๆ เรียบร้อยแล้วนำค่ากระแสกับแรงดันมาเขียนเป็นรูปกราฟดังรูปที่ 4.8 ซึ่งจะเห็นว่าค่าจากการทดสอบ ครั้งที่ 6, 7 และ 9 จะคลาดเคลื่อนออกไปจากแนวเส้นตรงจึงทำให้ไม่ต้องนำมาคิดด้วย ซึ่งค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ (R_1) จะหาได้จากการนำค่าความต้านทานที่คำนวณได้ในแต่ละครั้งมาหาค่าเฉลี่ยซึ่งจะทำให้ได้ค่า R_1 ดังนี้

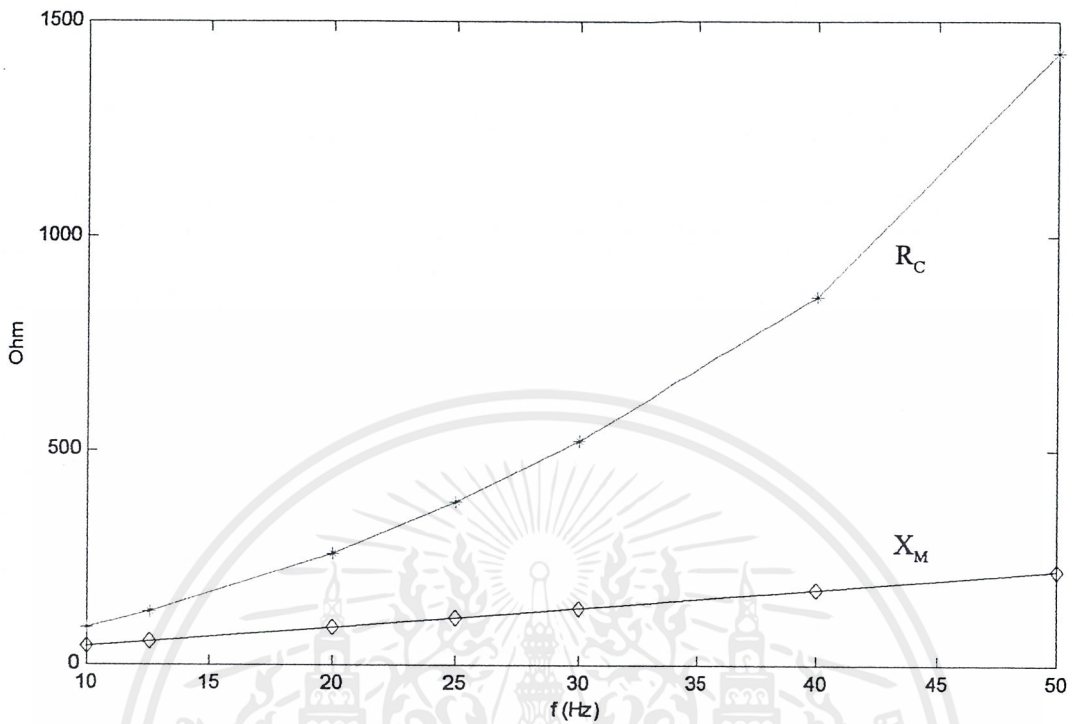
$$R_1 = [9.1667 + 9.1667 + 9.1 + 9.148 + 9 + 8.913 + 9.035] / 7$$

$$R_1 = 9.076 \quad \Omega$$

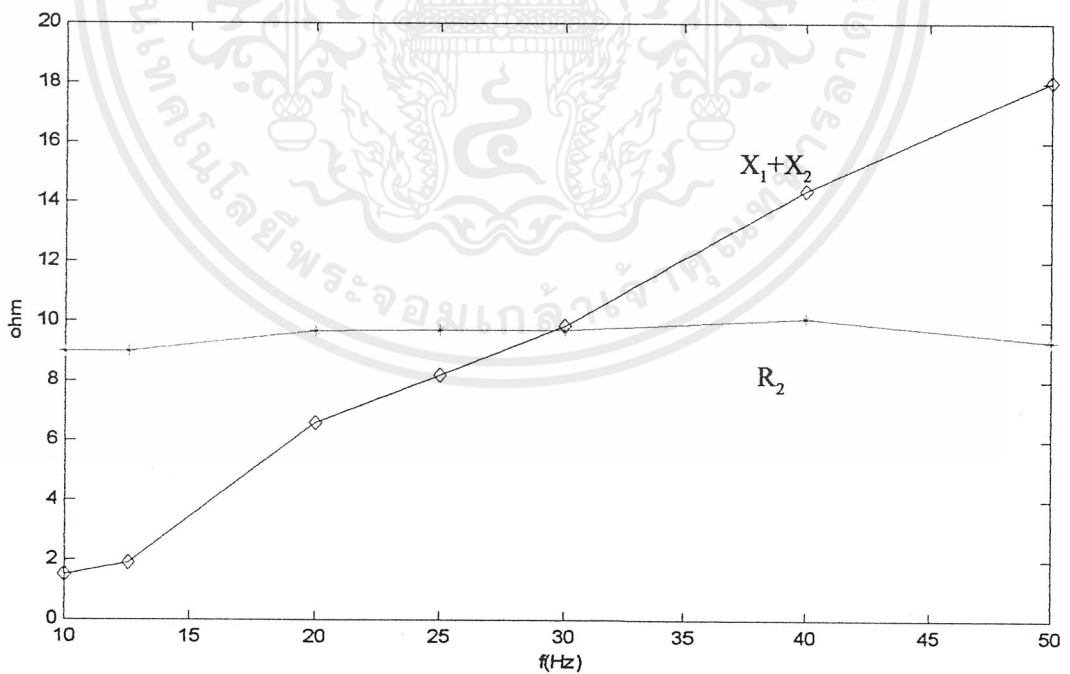
ผลการคำนวณหาค่าต่างๆของวงจรสมมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction machine) 1 แรงม้าตามมาตรฐาน IEEE Std 112-1996

f(Hz)	50	40	30	25	20	12.5	10
$R_1 (\Omega)$	9.076	9.076	9.076	9.076	9.076	9.076	9.076
$R_2 (\Omega)$	9.3382	10.0977	9.6996	9.6888	9.6702	8.970	8.959
$X_1, X_2 (\Omega)$	9.0143	7.2048	4.9286	4.1051	3.2860	0.9515	0.7610
$X_m (\Omega)$	221.2255	175.9409	132.4132	110.393	87.8743	54.8884	45.0683
$R_c (\Omega)$	1425.134	860.6635	524.398	381.253	260.1909	124.256	87.293

ตารางที่ 3.8 ผลการคำนวณหาค่าต่างๆของวงจรสมมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 แรงม้า



รูปที่ 3.9 แสดงกราฟของค่า X_m (Ω), R_c (Ω) ที่ความถี่ต่างๆ ที่ทำการทดสอบ



รูปที่ 3.10 แสดงกราฟของค่า (X_1+X_2) (Ω), R_2 (Ω) ที่ความถี่ต่างๆ ที่ทำการทดสอบ

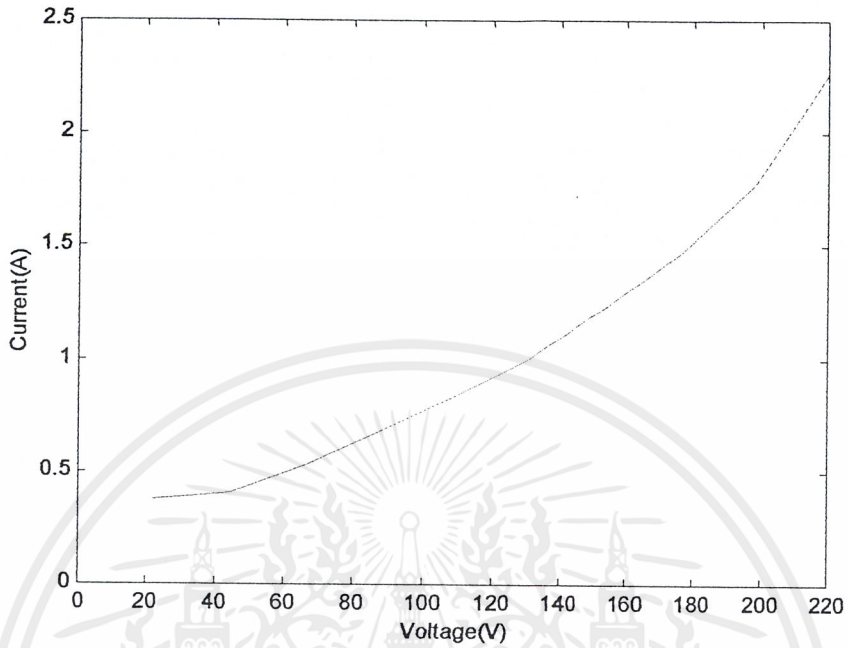
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบสถานะไร้ภาระ (No-load test) ของ Induction Machine 3 Hp

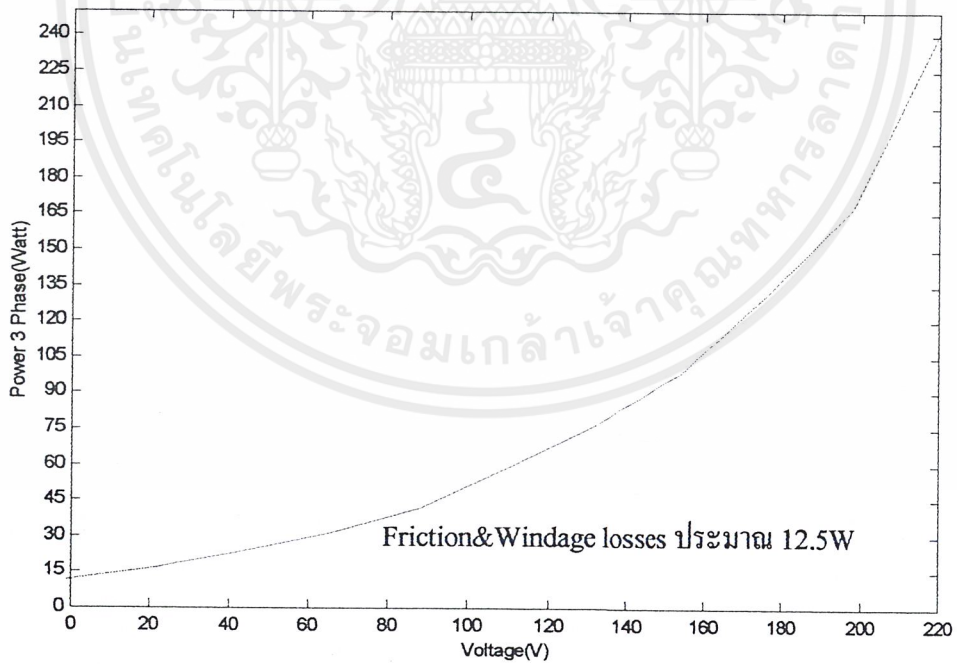
Induction Machine	3 Hp	4 Pole	50Hz	60Hz
			220	380
			8.7	5
			1420	1710

V_{IN}/Phase	I_{AVE}	ϕ	N_r	$W_o(3\text{ Phase})$
22	0.373	-44.667	1464.4	17
44	0.403	-64	1492.9	24
66	0.526	-72	1497	32
88	0.68	-76.34	1497.4	42
110	0.843	-77.667	1498	59
132	1.013	-80	1498	77
154	1.23	-78.667	1498.2	99
176	1.463	-80.334	1498.9	132
198	1.776	-81	1499.4	168
220	2.263	-81.33	1500	242

ตารางที่ 3.9 แสดงผลการทดสอบ ณ. สถานะ ไร้ภาระที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของพิกัดแรงดัน

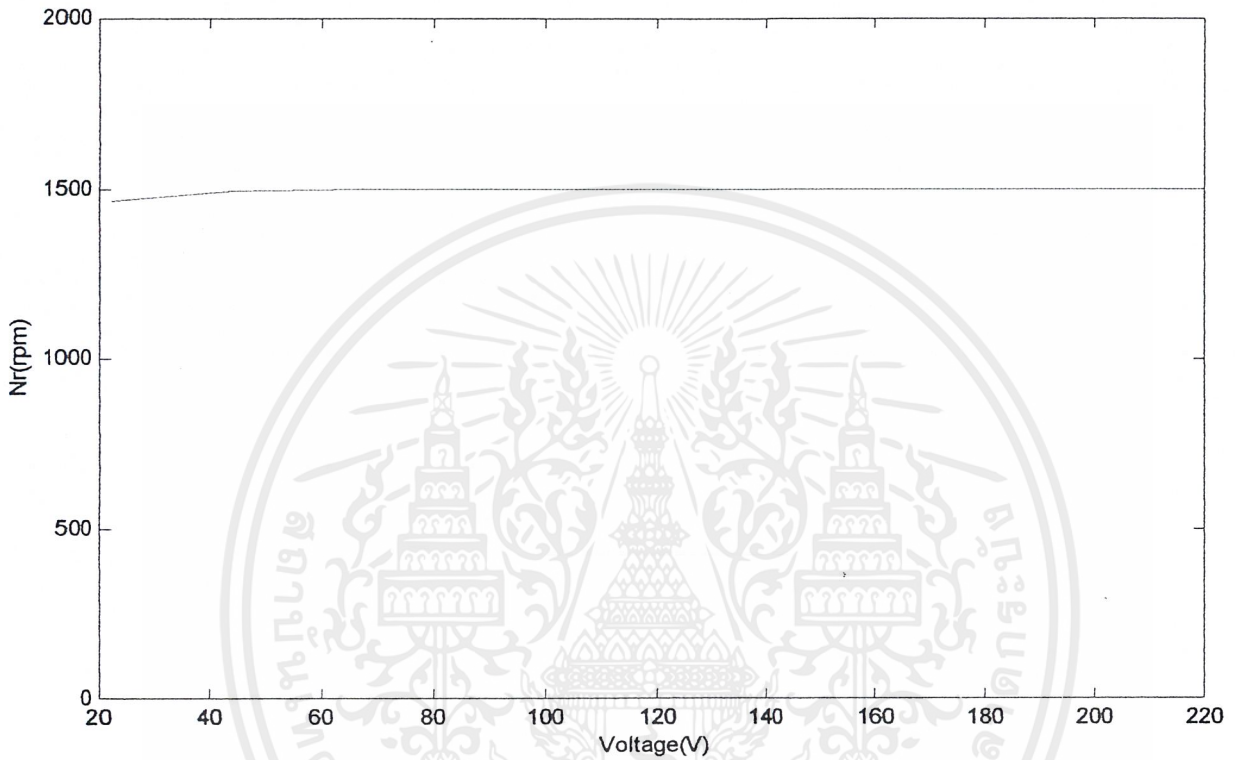


รูปที่ 3.11 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้อภาระ (No load Test)



รูปที่ 3.12 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้อภาระ (No load Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 กราฟแสดงความเร็วรอบของโรเตอร์ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของพิกัดแรงดันของมอเตอร์ 3 แรงม้า

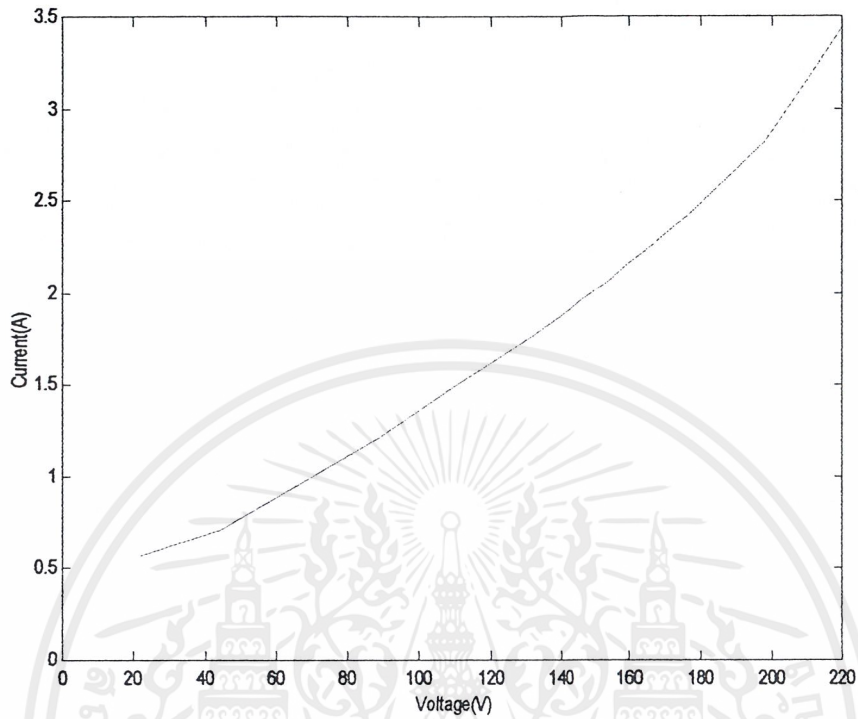
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบสถานะไร้ภาระ (No-load test) ของ Induction Machine 5 แรงม้า

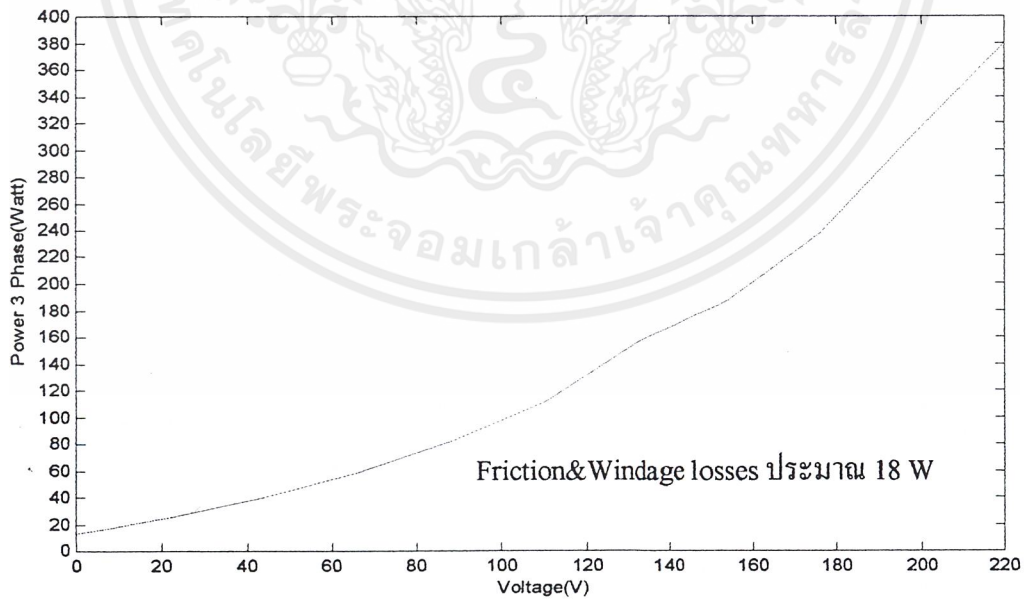
Induction Machine	5 Hp	4 Pole	50Hz		60Hz		
			Volt (V)	220	380	220	380
			Amp (A)	13.7	7.9	13.7	7.9
			rpm	1420		1710	

V_{IN}/Phase	I_{AVE}	ϕ	N_r	W_o (3 Phase)
22	0.57	-47	1475	25
44	0.706	-65.334	1492.2	-40
66	0.96	-71.667	1496	59
88	1.203	-74.667	1496.7	82
110	1.49	-77	1498.2	111
132	1.77	-77.334	1498.4	155
154	2.067	-78.667	1499	186
176	2.416	-79.334	1499.2	237
198	2.82	-79.334	1499.6	310
220	3.443	-80.334	1500	380

ตารางที่ 3.10 แสดงผลการทดสอบ ณ. สถานะ ไร้ภาระที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของพิกัดแรงดัน

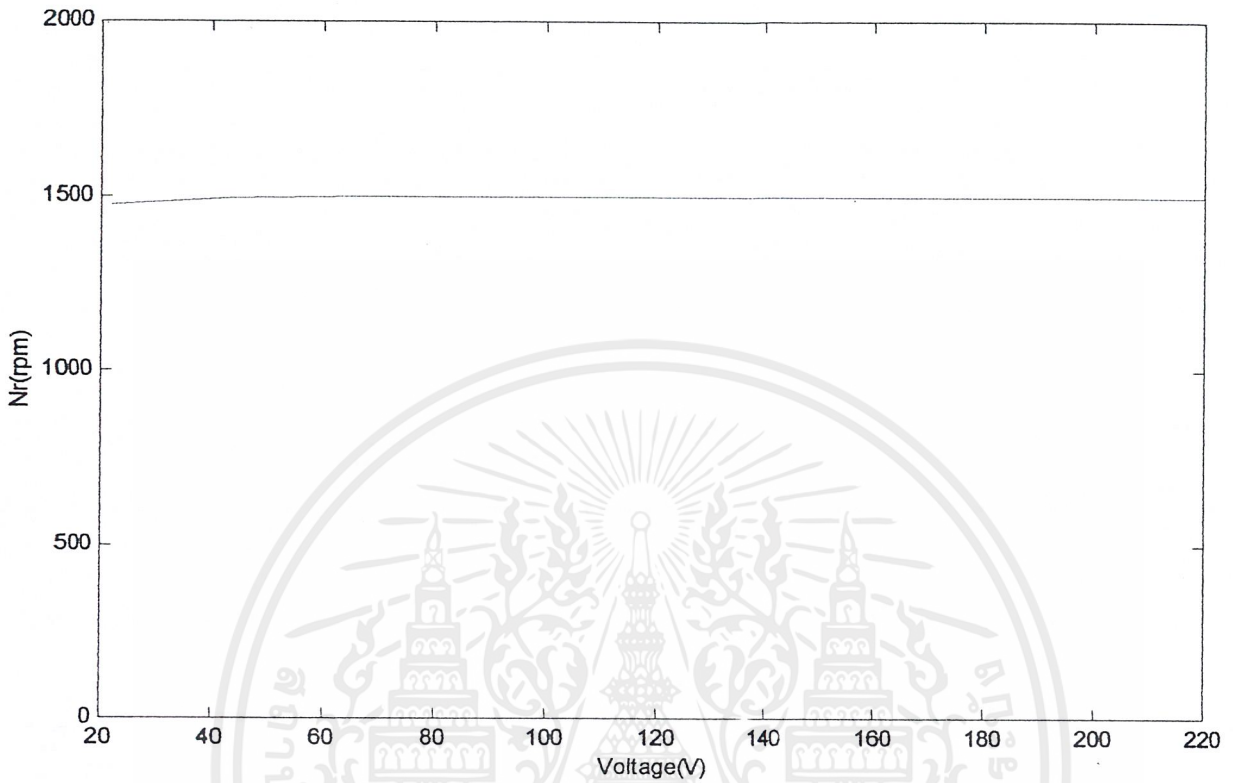


รูปที่ 3.14 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะ ไร้อภาระ (No load Test)



รูปที่ 3.15 กราฟของกำลังงานและแรงดันในการทดสอบที่สภาวะ ไร้อภาระ (No load Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 กราฟแสดงความเร็วรอบของโรเตอร์ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของพิกัดแรงดันของมอเตอร์ 5 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบยึดโรเตอร์(Locked - Rotor Test)ของมอเตอร์ 3 และ 5 แรงม้าที่กระแสพิกัด

Motor	Vp	Phase U		Phase V		Phase W		I _{ave}	P _{3∅}
		I _U	∠ _U	I _V	∠ _V	I _w	∠ _w		
3 Hp	51	5.12	-49	4.99	-49	4.9	-51	5	481
5 Hp	42	7.91	-50	7.86	-47	7.92	-47	7.896	650

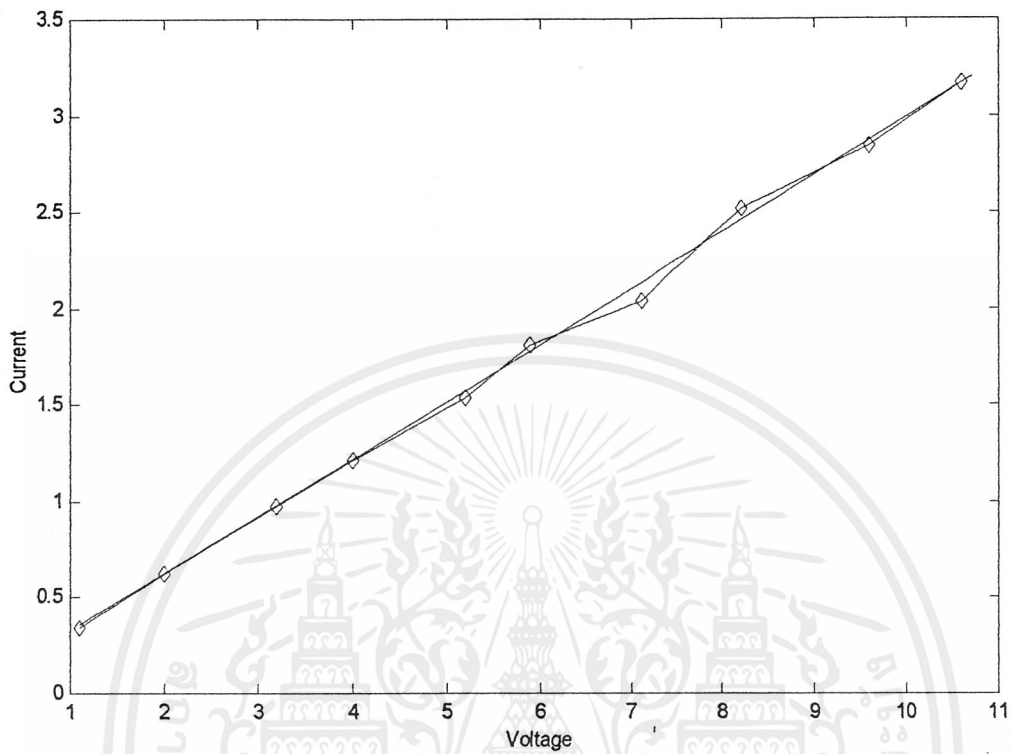
ตารางที่3.11 แสดงผลการทดสอบ โดยวิธียึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 3 Hp และ 5 Hp ที่กระแสพิกัด

V- I Method Induction Machine 3 แรงม้า

ครั้งที่	V	I	R (Ω)
1	1.1	0.34	3.2352
2	2	0.62	3.226
3	3.2	0.97	3.3
4	4	1.21	3.305
5	5.2	1.54	3.377
6	5.9	1.81	3.26
7	7.1	2.04	3.4803
8	8.2	2.52	3.2539
9	9.6	2.84	3.4
10	10.6	3.17	3.3438

ตารางที่3.12 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานของสเตเตอร์โดยวิธี V-I Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงกราฟของค่ากระแสกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V - I Method)

ค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ (R_1) จากการทดสอบ โดยวิธี V-I Method

$$R_1 = [3.2352 + 3.226 + 3.3 + 3.305 + 3.377 + 3.26 + 3.4 + 3.3438] / 8$$

$$R_1 = 3.305 \quad \Omega$$

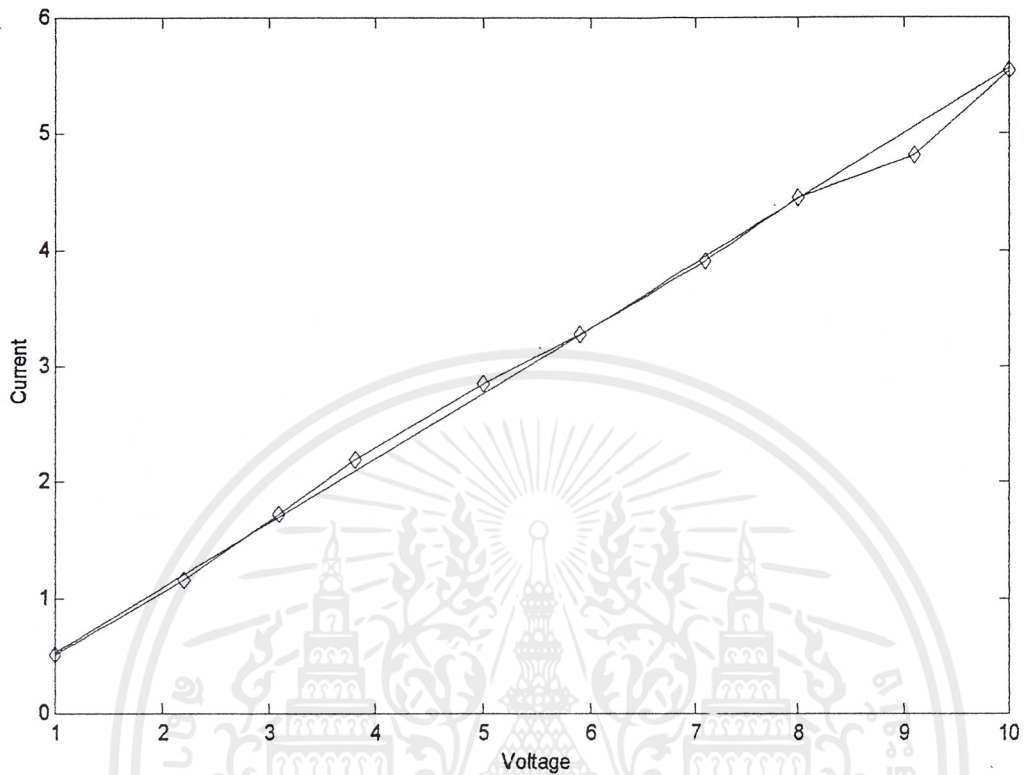
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V- I Method Induction Machine 5 แรงม้า

ครั้งที่	V	I	R (Ω)
1	1	0.51	1.9607
2	2.2	1.15	1.9130
3	3.1	1.73	1.791
4	3.8	2.2	1.7272
5	5	2.85	1.7543
6	5.9	3.28	1.798
7	7.1	3.91	1.8158
8	8	4.45	1.797
9	9.1	4.82	1.8879
10	10	5.55	1.8018

ตารางที่ 3.13 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานของสเตเตอร์โดยวิธี V-I Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แสดงกราฟของค่ากระแสกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V - I Method)

ค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ (R_1) จากการทดสอบโดยวิธี V-I Method

$$R_1 = [1.9607 + 1.913 + 1.791 + 1.798 + 1.8158 + 1.797 + 1.8018] / 7$$

$$R_1 = 1.838 \quad \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการคำนวณหาค่าต่างๆของวงจรมมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ(Induction machine) 3 แรงม้า และ 5 แรงม้าตามมาตรฐาน IEEE Std 112-1996

3 Hp :	$R_1 = 3.305 \quad \Omega$	5 Hp :	$R_1 = 1.838 \quad \Omega$
	$R_2 = 3.3581 \quad \Omega$		$R_2 = 1.7364 \quad \Omega$
	$R_C = 747.1002 \quad \Omega$		$R_C = 459.1052 \quad \Omega$
	$X_1 = 4.0488 \quad \Omega$		$X_1 = 2.0457 \quad \Omega$
	$X_2 = 4.0488 \quad \Omega$		$X_2 = 2.0457 \quad \Omega$
	$X_M = 94.5881 \quad \Omega$		$X_M = 62.8275 \quad \Omega$

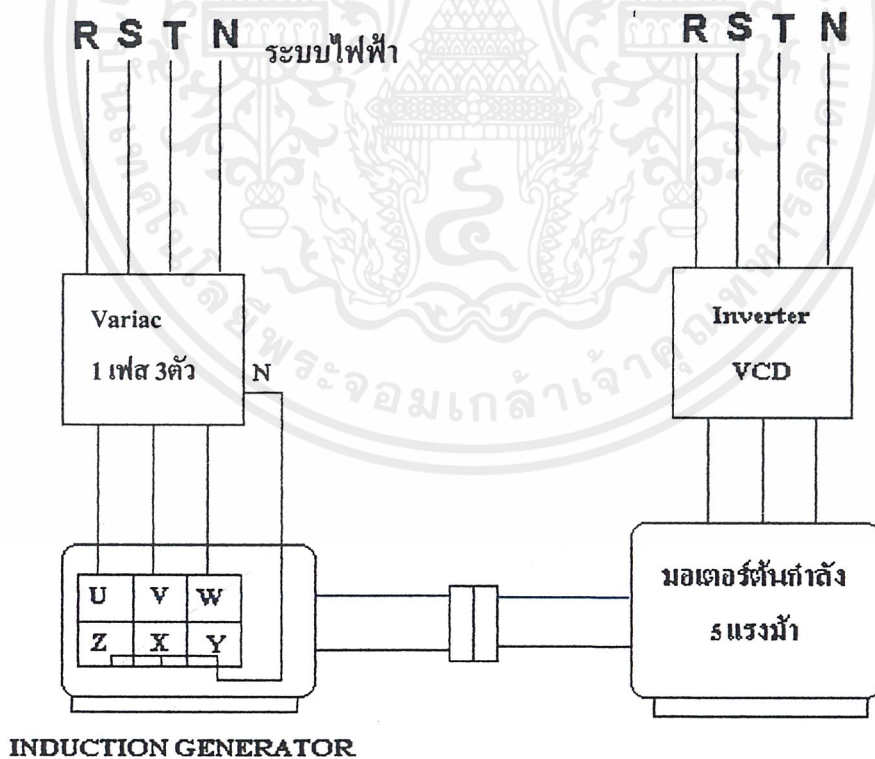
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

การทดลองในบทนี้จะกล่าวถึง การศึกษาเกี่ยวกับการทดลองของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้ทำงานในสถานะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยในการทดลองนั้นได้แบ่งเป็นหัวข้อการทดลองเป็น การทดลองเมื่อต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยมีการต่อคั้นกำลังงานเข้าสู่ระบบไฟฟ้า และ การทดลองเมื่อต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยมีการควบคุมปรับลดความถี่จากอินเวอร์เตอร์ให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำซึ่งจะทำให้มีการคั้นกำลังงานผ่านอินเวอร์เตอร์และนำกำลังงานเก็บเอาไว้ในแบตเตอรี่ แล้วทำการหาข้อสรุปต่างๆที่ได้จากการทดลองเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในรูปแบบต่างๆ

4.1 การทดลองนำเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำการควบคุมให้ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังงานเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

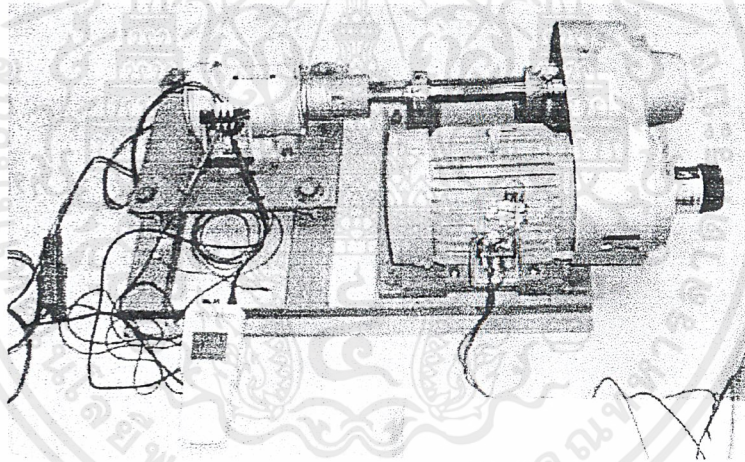


รูปที่ 4.1 แสดงระบบการให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายกำลังงานเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. แท่นต้นกำลังและตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ต่อถึงกัน
2. INVERTER (VCD 3 Ø) 1 ตัว
3. FLUKE 39 METER 1 ตัว
4. Tacho Meter 1 ตัว
5. Variac 1 Ø 15 A 3 ตัว
6. Digital VOM 1 ตัว
7. สายไฟ 40 เส้น



รูปที่ 4.2 แสดงแท่นที่ใช้ปรับความเร็วในการทดสอบให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ขั้นตอนการทดลอง

1. ตรวจสอบทิศทางการหมุนของมอเตอร์ต้นกำลังกับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่เป็นเครื่องกำเนิดเหนี่ยวนำให้มีทิศทางเดียวกันเสียก่อน เป็นเรื่องที่ต้องทำทุกครั้งเมื่อเริ่มต้นในการต่อทำการทดลอง
2. ป้อนแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ที่ต้องการให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ให้มีค่าแรงดันที่ป้อนเข้าที่ขั้ว U V W มีค่าต่างๆ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของพิกัดแรงดันต่อเฟส ได้แก่ ป้อนแรงดัน 44 , 66 , 88 , 110 , 132 , 154 , 176, 198, 220, 242 Volt/Phase โดยเราทำการต่อมอเตอร์เป็นแบบ สตาร์ แล้วทำการเริ่มหมุนมอเตอร์ที่พิกัดแรงดันที่ป้อนในการทดลอง
3. เดินเครื่องต้นกำลังแล้ว เพิ่มความเร็วของต้นกำลังจากความเร็วจาก 1500 – 3000 rpm โดยปรับที่ Inverter ที่เปลี่ยนความถี่ให้ต้นกำลัง ขณะนี้ตัวมอเตอร์ที่ต่อกับระดับแรงดันที่ป้อนไว้จะมีค่าความเร็วโรเตอร์มากกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนทำให้แสดงสถานะเป็นเครื่องกำเนิดเหนี่ยวนำ ซึ่งจะทำให้ค่า slip มีค่าเป็นลบไปเรื่อยๆจนสามารถหาค่าที่พลังงานสูงสุดได้ ทำการวัดค่ากำลังงานและกระแสที่ออกมาจากการทำงานในสถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในช่วงความเร็ว 1500 – 2600 rpm
4. ป้อนแรงดันเพิ่มจากระดับแรงดันเดิมที่ทำการทดลองแล้ว ทำซ้ำข้อสาม โดยต้องดูพิกัดกระแสไม่ให้เกินพิกัดของมอเตอร์มากนักและในขณะที่ทำการวัดต้องทำการวัดอย่างรวดเร็วเพราะมอเตอร์จะเกิดความร้อนและจะเป็นอันตรายต่อมอเตอร์เองได้
5. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ว่าตัวแปรใดมีผลต่อการจ่ายพลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำบ้าง เพื่อนำมาหาข้อสรุป
6. นำค่าพารามิเตอร์จาก Equivalent circuit มาทำการคำนวณค่าจากโปรแกรม MATLAB เพื่อหาค่ากำลังงานและกระแสที่ได้โดยการวิเคราะห์จาก Equivalent circuit นั้นๆแล้วนำผลการคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงจากการทดลองว่ามีผลแตกต่างกันอย่างไร
7. plot graph (I_{in} กับ N_r), (P_{in} กับ N_r) จากการวัดจริงออกมาแสดงผลให้เห็นชัดเจน
8. plot graph (I_{in} กับ N_r), (P_{in} กับ N_r) จากการคำนวณและทดลองจริงนำมาเปรียบเทียบกัน โดยในการเปรียบเทียบกันนั้นเราจะนำเอาค่าที่วัดได้ระดับแรงดันที่พิกัดและค่าที่คำนวณได้จากพิกัดแรงดันมาแสดงการเปรียบเทียบกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 1 แรงม้า ทดสอบ ที่ 30 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 66 Volt/Phase ที่(กระแสพิกัด 2 แอมป์ ต่อแบบสตาร์ท)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	I_{ave} /Phase (A)	มุม θ	P_{ave} /Phase (Watt)
0	1500	0.32	-74	6
-0.009	1514.6	0.32	-90	0
-0.067	1600	0.64	-129	-26
-0.133	1700	1.17	-136	-54
-0.2	1800	1.69	-134	-77
-0.24	1868	2	-131	-86
-0.267	1900	2.2	-129	-90
-0.333	2000	2.65	-124	-96
-0.4	2100	2.98	-119	-93
-0.466	2200	3.28	-115	-90
-0.533	2300	3.72	-108	-76
-0.6	2400	3.89	-103	-54
-0.666	2500	4.01	-100	-43
-0.733	2600	4.09	-97	-33
-0.8	2700	4.15	-94	-20

เมื่อทำการทดลองเพิ่มความเร็วของคั่นกำลังให้เป็น 2800 rpm จะเห็นได้ว่า ค่ากระแสที่วัดได้จะเกินกระแสพิกัดของมอเตอร์ไปมาก ถ้าทำการทดลองต่อไปอาจทำให้เป็นอันตรายของมอเตอร์ในการทดลองได้เราจึงไม่ควรเพิ่มระดับความเร็วคั่นกำลังในทดลองขึ้นอีก

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 1 แรงม้า ทดสอบ ที่ 40 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 88 Volt/Phase ที่ (กระแสพิค 2 แอมป์ ต่อแบบสตาร์) ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	I_{ave} /Phase (A)	มุม θ	P_{ave} /Phase (Watt)
0	1500	0.38	-72	10
-0.009	1514.7	0.37	-90	0
-0.067	1600	0.83	-133	-50
-0.133	1700	1.53	-140	-102
-0.1776	1766.4	2	-138	-150
-0.2	1800	2.29	-139	-150
-0.267	1900	3	-132	-178
-0.333	2000	3.56	-127	-190
-0.4	2100	4.06	-122	190
-0.466	2200	4.49	-118	-180
-0.533	2300	4.76	-114	-170
-0.6	2400	5.02	-110	-150
-0.666	2500	5.29	-105	-110
-0.733	2600	5.42	-101	-90
-0.8	2700	5.59	-98	-64

เมื่อทำการทดลองเพิ่มความเร็วของต้นกำลังให้เป็น 2800 rpm จะเห็นได้ว่า ค่ากระแสที่วัดได้จะเกิน กระแสพิคของมอเตอร์ไปมาก ถ้าทำการทดลองต่อไปอาจทำให้เป็นอันตรายของมอเตอร์ในการทดลอง ได้เราจึงไม่ควรเพิ่มระดับความเร็วต้นกำลังในทดลองขึ้นอีก

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 1 แรงม้า ทดสอบ ที่ 50 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 110 Volt/Phase ที่ (กระแสพิค 2 แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุม θ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0	1500	0.46	-77	10
-0.009	1514	0.46	-91	0
-0.067	1600	1.08	-134	-82
-0.133	1700	1.97	-139	-164
-0.1413	1712.4	2	-141	-173
-0.2	1800	2.89	-137	-232
-0.267	1900	3.76	-133	-280
-0.333	2000	4.5	-129	-310
-0.4	2100	5.21	-124	-320
-0.466	2200	5.74	-120	-310
-0.533	2300	6.2	-115	-290
-0.6	2400	6.48	-111	-250
-0.666	2500	6.75	-108	-220

เมื่อทำการทดลองเพิ่มความเร็วต้นกำลังให้เป็น 2600 rpm จะเห็นได้ว่า ค่ากระแสที่วัดได้จะเกินพิคคของกระแสมอเตอร์มาก ถ้าทำการทดลองต่อไปอาจทำให้เป็นอันตรายต่อมอเตอร์ในการทดลองได้

เนื่องจากที่ระดับแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ที่เป็น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สูงขึ้นตั้งแต่ระดับ 132,154,176,198,220,242 Volt/Phase จะทำให้เมื่อเราเพิ่มความเร็วเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ถึงกระแสพิคคของมอเตอร์ เราจะเพิ่มความเร็วไปอีกให้กระแสเกินพิคค ไปเล็กน้อย เพื่อให้มอเตอร์ไม่เป็นอันตรายเพราะฉะนั้นตั้งแต่ระดับแรงดัน 132 Volt/Phase จึงไม่ต้องทดลองให้กระแสเกินพิคค ไปมากนัก

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 1 แรงม้า ทดสอบ ที่ 60 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 132 Volt/Phase ที่(กระแสพิคค์ 2 แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0	1500	0.54	-79	16
-0.009	1516.3	0.54	-90	0
-0.0333	1550	0.72	-117	-43
-0.067	1600	1.02	-134	-112
-0.1	1650	1.7	-139	-176
-0.112	1668	2	-141	-210
-0.133	1700	2.29	-141	-240
-0.1666	1750	2.9	-141	-300

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 1 แรงม้า ทดสอบ ที่ 70 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 154 Volt/Phase ที่(กระแสพิคค์ 2 แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0	1500	0.68	-81	16
-0.0082	1512.3	0.68	-90	0
-0.0333	1550	0.84	-120	-70
-0.067	1600	1.41	-135	-151
-0.098	1648	2	-140	-240
-0.133	1700	2.65	-141	-320
-0.157	1736	3.06	-141	-370

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 1 แรงม้า ทดสอบ ที่ 80 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 176 Volt/Phase ที่(กระแสพิกัด 2 แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	I_{ave} /Phase (A)	มุม θ	P_{ave} /Phase (Watt)
0	1500	0.75	-83	16
-0.0086	1513	0.75	-90	0
-0.0333	1550	1.04	-118	-88
-0.067	1600	1.6	-134	-200
-0.0867	1630	2	-138	-260
-0.133	1700	2.98	-141	-410

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 1 แรงม้า ทดสอบ ที่ 90 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 198 Volt/Phase ที่(กระแสพิกัด 2 แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	I_{ave} /Phase (A)	มุม θ	P_{ave} /Phase (Watt)
0	1500	0.92	-83	22
-0.0093	1514	0.92	-90	0
-0.0333	1550	1.24	-116	-109
-0.067	1600	1.96	-132	-260
-0.1	1650	2.7	-137	-400
-0.1153	1673	3.02	-138	-450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 1 แรงม้า ทดสอบ ที่ 100 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 220 Volt/Phase ที่(กระแสฟลัก 2 แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

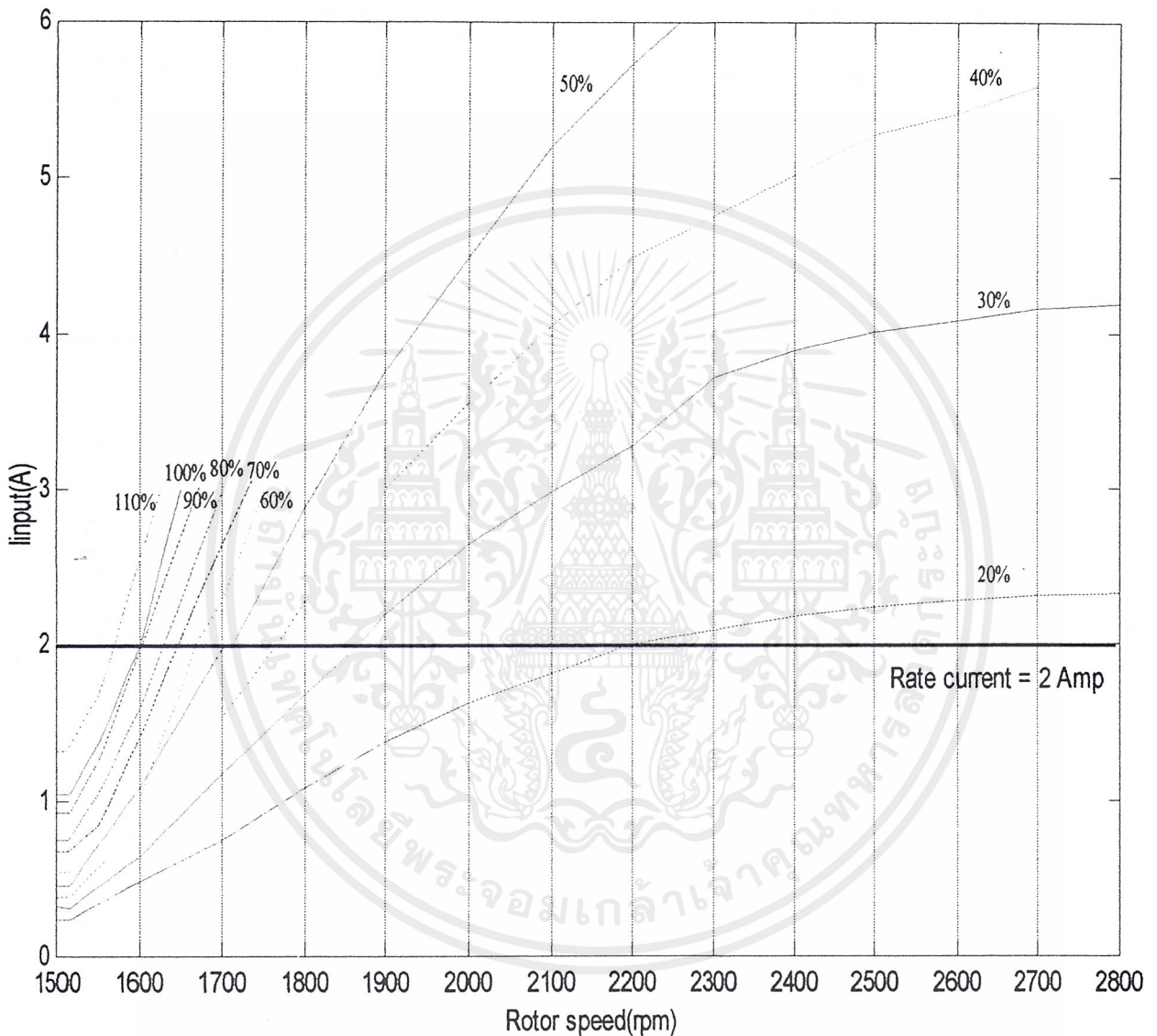
Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุม θ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0	1500	1.04	-85	23
-0.0093	1514	1.04	-90	0
-0.0333	1550	1.36	-115	-130
-0.06133	1592	1.99	-129	-270
-0.1	1650	3	-135	-460

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 1 แรงม้า ทดสอบ ที่ 110 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 242 Volt/Phase ที่(กระแสฟลัก 2 แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุม θ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0	1500	1.31	-85	27
-0.0073	1511	1.31	-90	0
-0.0333	1550	1.67	-111	-150
-0.0473	1571.6	2.02	-120	-250
-0.083	1625	3	-129	-450

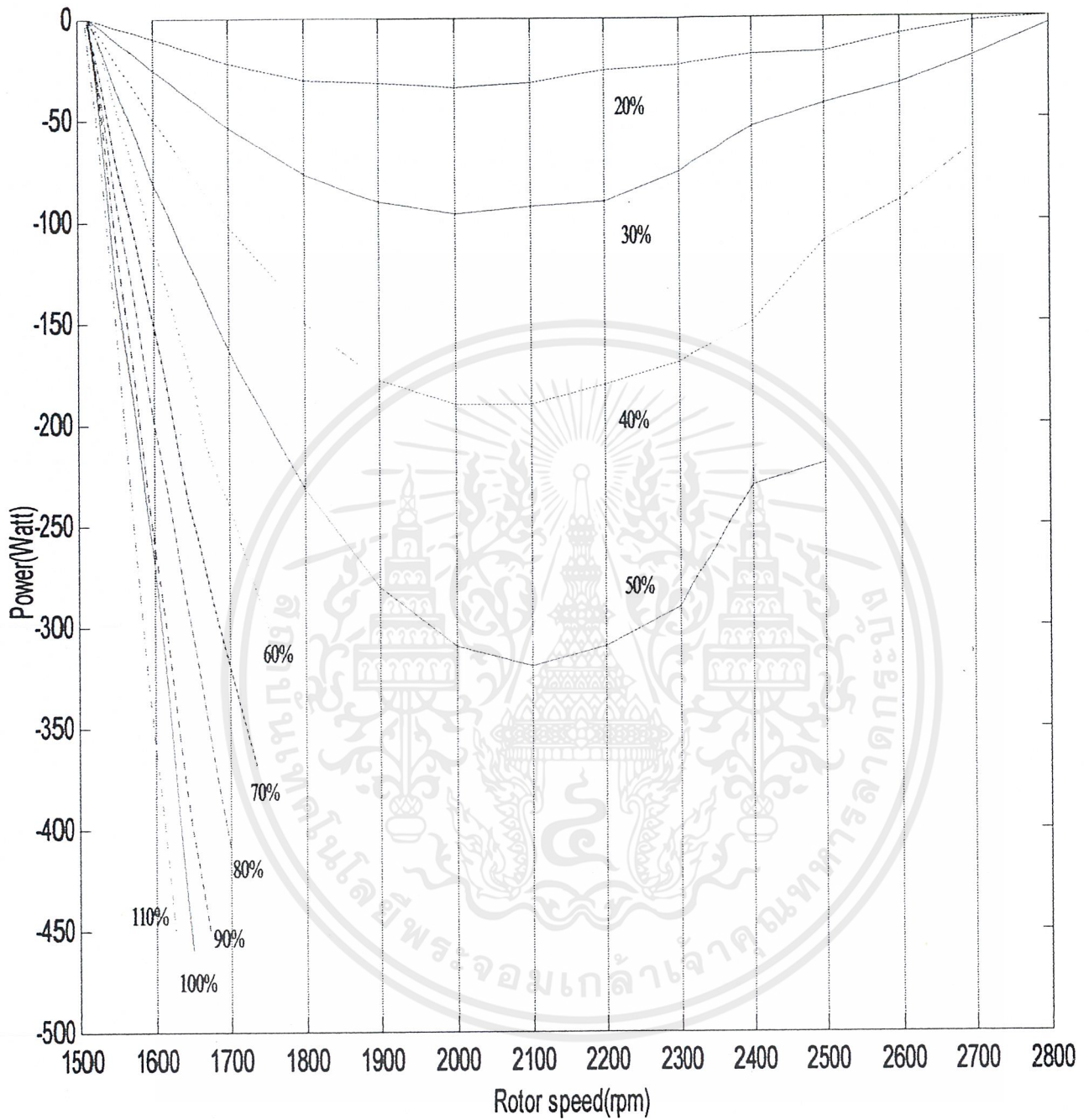
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเอาค่าที่ได้จากการทดลองนำมา Plot graph (I_{in} กับ N_r), (P_{in} กับ N_r)



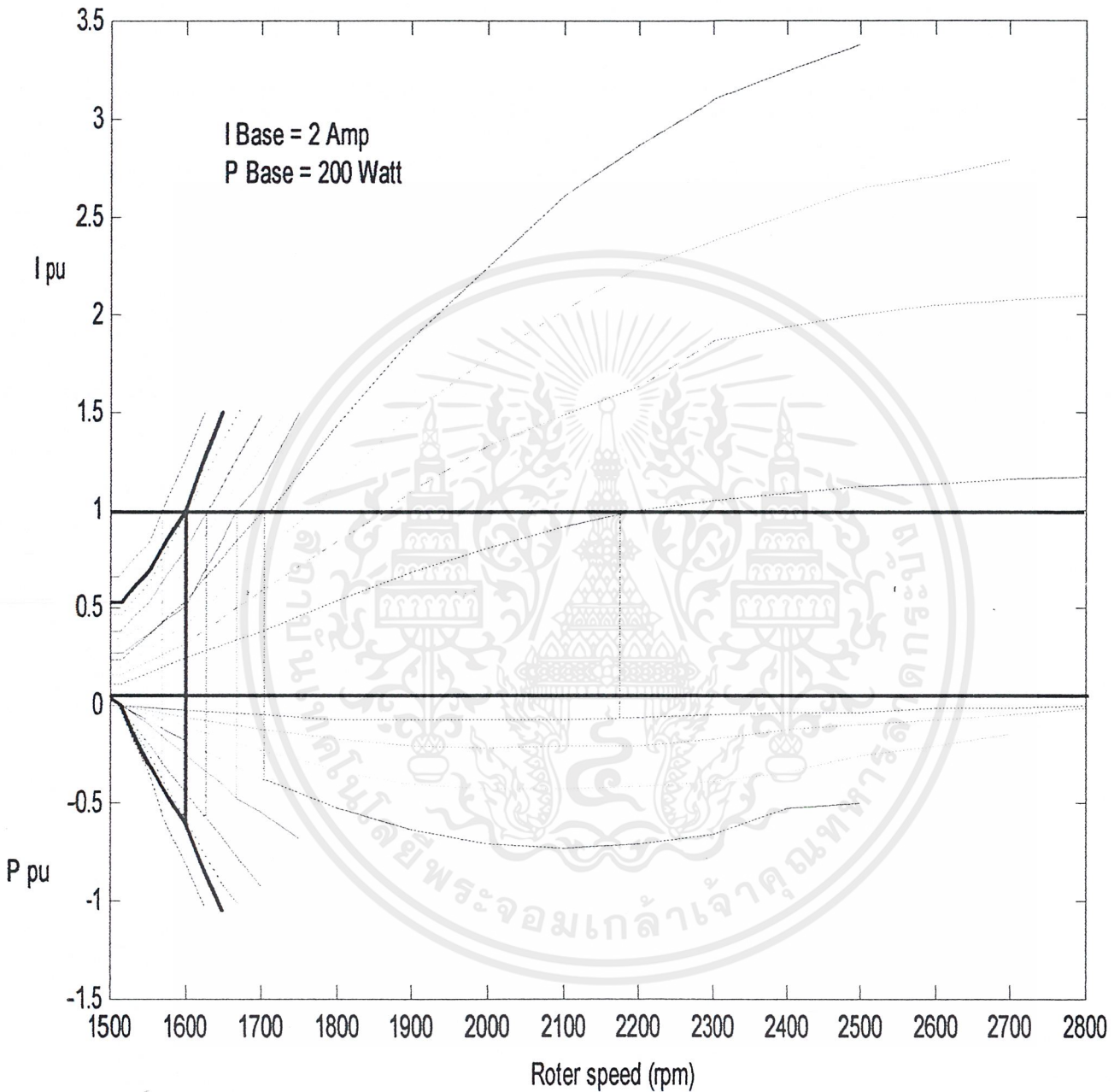
รูปที่ 4.3 กราฟกระแสที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 แรงม้า ที่ระดับความเร็วต่างๆและที่ระดับแรงดันต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟกำลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 แรงม้า ที่ระดับความเร็วต่างๆและที่ระดับแรงดันต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงระดับแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสที่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 แอมป์ จะทำให้มีกำลังที่จ่ายให้แก่ระบบไฟฟ้าได้เท่าใด และมี ค่าสลิปเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาการคำนวณจาก Equivalent circuit ของมอเตอร์ 1 แรงม้าเพื่อคำนวณค่ากระแสและกำลังงานที่ได้เมื่อมีการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำคือเราพิจารณาให้คำนวณสลิตเป็นลบ แล้วนำเอาค่าที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองจริงที่ได้จากการทดลอง

ค่าพารามิเตอร์ จาก Equivalent circuit ของมอเตอร์ 1 แรงม้า จะมีค่าต่างๆดังนี้

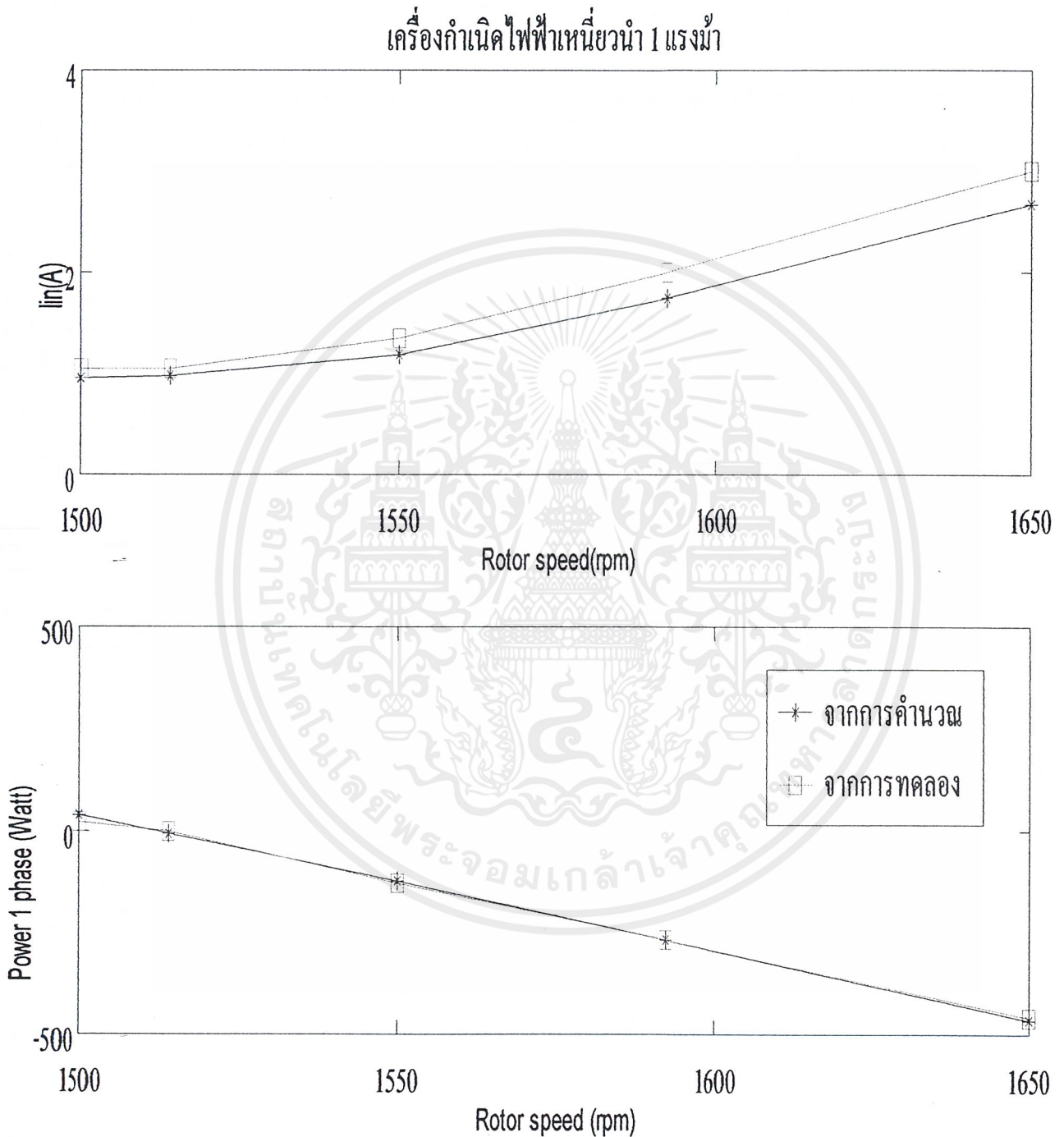
$$R_1 = 9.076 \Omega ; R_2 = 9.3382 \Omega ; X_1 = 9.0143 \Omega ; X_2 = 9.01143 \Omega ; R_C = 1425.134 \Omega ;$$

$$X_m = 221.2255 \Omega$$

ระดับแรงดัน 220 Volt/Phase				
Rotor Speed	ค่าจากการคำนวณ		ค่าจากการทดลอง	
	$I_{ave}/Phase$ (A)	Power /Phase (Watt)	$I_{ave}/Phase$ (A)	Power /Phase (Watt)
1500	0.96106	-4.963	1.04	23
1514	0.96106	-4.963	1.04	0
1550	1.17	-121	1.36	-130
1592	1.683	-259.3	1.99	-270
1650	2.574	-450	3	-460

ตารางที่ 4.2 การนำเอาค่ากระแสที่ได้และกำลังงานที่ได้จากการคำนวณโดย MATLAB โดยคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของ Equivalent circuit มอเตอร์ 1 แรงม้า แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงโดยทำการเปรียบเทียบพิกัดแรงดัน ที่ 220 Volt/Phase

นำเอาค่ากระแสและกำลังงานที่ได้จากการคำนวณจาก Equivalent circuit ที่นำมาเปรียบเทียบกับค่ากระแสและกำลังงานที่ได้จากการทดลองจริง จากในตารางมาทำการแสดงเป็นกราฟเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดจากการทดลอง และกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังงานที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การทดลองนำมอเตอร์ 3 แรงม้า ให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายกำลังงานสู่ระบบไฟฟ้า

พิกัดมอเตอร์	3 HP	4 POLE	TYPE SF-JR	
		50 Hz	60 Hz	
VOLT	220	380	220	380
AMP	8.7	5.0	8.3	4.8
RPM	1420		1710	

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 แรงม้า จ่ายกำลังงานเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 3 แรงม้า ทดสอบ ที่ 20 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 44 Volt/Phase ที่ (กระแสพิกัด 5 แอมป์ ต่อแบบสตาร์) ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุม θ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
-0.004	1506	0.4	-90	0
-0.116	1674	2.02	-134	-62
-0.1413	1712	2.49	-132	-73
-0.184	1776	3.07	-127	-83
-0.2213	1832	3.51	-123	-83
-0.27	1905	3.99	-117	-75
-0.352	2028	4.5	-110	-65
-0.523	2285	5	-98	-28
-0.66267	2494	5.2	-93	-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 3 แรงม้า ทดสอบ ที่ 30 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 66 Volt/Phase ที่(กระแสพิกัด 5 แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
-0.0033	1505	0.52	-91	-1
-0.068	1602	2	-141	-103
-0.096	1644	2.59	-141	-132
-0.11733	1676	3.05	-139	-152
-0.13067	1696	3.48	-138	-171
-0.152	1728	4	-135	-188
-0.17667	1765	4.5	-133	-200
-0.2	1800	5.01	-130	-210
-0.228	1842	5.53	-127	-220

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 3 แรงม้า ทดสอบ ที่ 40 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 80 Volt/Phase ที่(กระแสพิกัด 5 แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
-0.004	1506	0.7	-91	0
-0.054	1581	2	-140	-143
-0.082	1623	3	-142	-210
-0.096	1644	3.5	-141	-240
-0.10867	1663	4.01	-141	-280
-0.1433	1715	5	-139	-330
-0.164	1746	5.6	-136	-360

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 3 แรงม้า ทดสอบ ที่ 50 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 110 Volt/Phase ที่ (กระแสฟลัก 5แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
-0.004	1506	0.85	-91	0
-0.038	1557	2.05	-137	-167
-0.0613	1592	3.04	-142	-260
-0.1067	1660	5.02	-142	-430
-0.12	1680	5.7	-141	-480

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 3 แรงม้า ทดสอบ ที่ 60 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 132 Volt/Phase ที่ (กระแสฟลัก 5แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
-0.004	1506	1	-93	-7
-0.03	1545	2	-134	-182
-0.0513	1577	3.08	-142	-320
-0.0687	1603	4.01	-143	-420
-0.088	1632	5.03	-144	-540
-0.108	1662	6.1	-144	-640

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 3 แรงม้า ทดสอบ ที่ 70 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 154 Volt/Phase ที่(กระแสพิกัด 5แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
-0.0033	1505	1.21	-91	-3
-0.22667	1534	2.08	-129	-200
-0.042667	1564	3.27	-140	-390
-0.05667	1585	4.05	-142	-490
-0.0733	1610	5.09	-143	-620
-0.084	1626	5.73	-143	-770

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 3 แรงม้า ทดสอบ ที่ 80 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 176 Volt/Phase ที่(กระแสพิกัด 5แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
-0.00333	1505	1.48	-91	-9
-0.03533	1553	3.05	-134	-370
-0.048	1572	4.05	-139	-540
-0.062	1593	5.08	-141	-700
-0.072	1608	5.70	-141	-750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 3 แรงม้า ทดสอบ ที่ 90 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 198 Volt/Phase ที่(กระแสพิคัก 5แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	I_{ave} /Phase (A)	มุมØ	P_{ave} /Phase (Watt)
-0.00133	1502	1.86	-90	0
-0.02733	1541	3.09	-125	-360
-0.04266	1564	4.23	-134	-590
-0.054	1581	5.06	-135	-710
-0.062	1593	5.70	-138	-850

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 3 แรงม้า ทดสอบ ที่ 100 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 220 Volt/Phase ที่(กระแสพิคัก 5แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

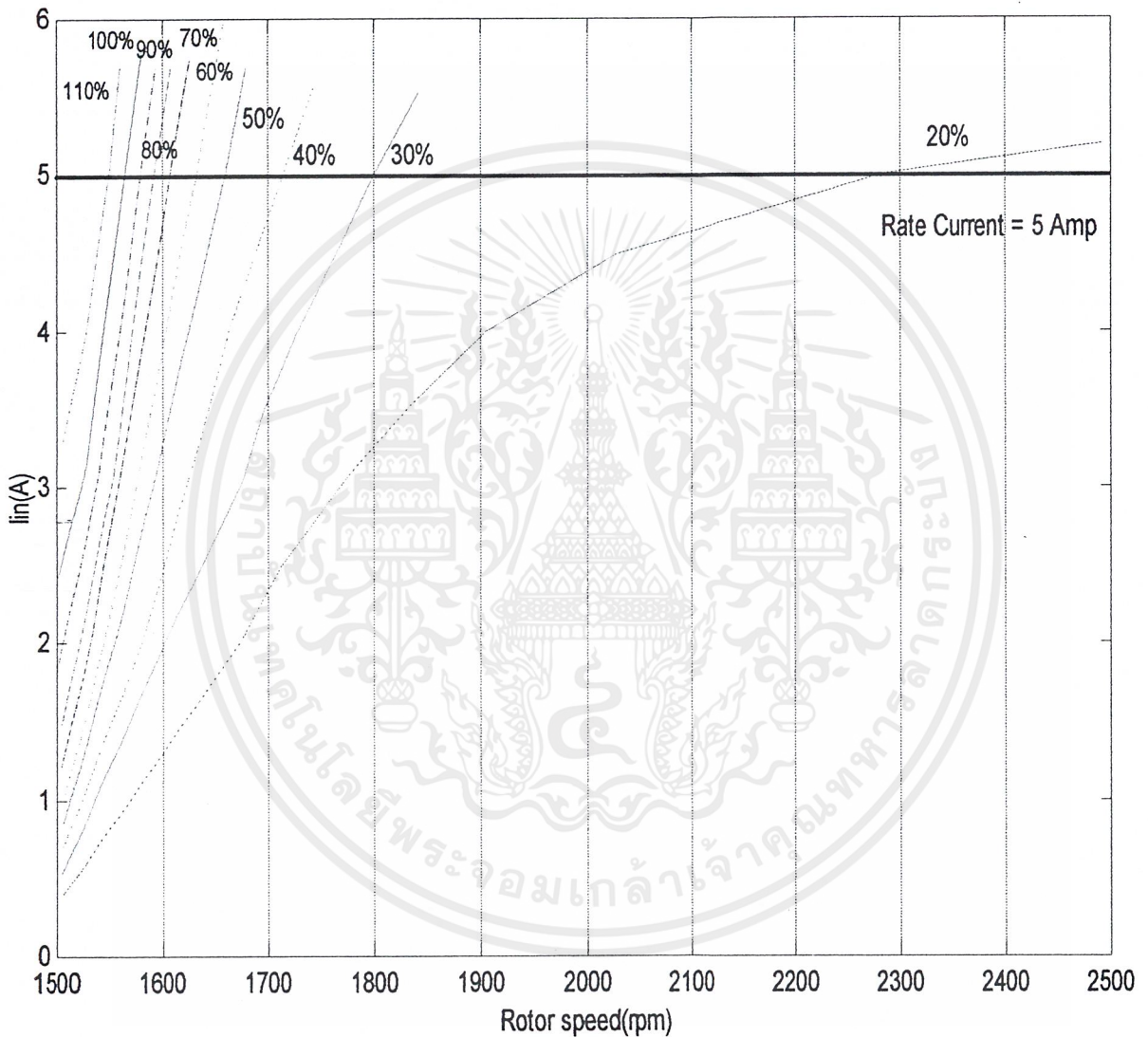
Slip	Rotor speed (rpm)	I_{ave} /Phase (A)	มุมØ	P_{ave} /Phase (Watt)
-0.00133	1502	2.43	-90	0
-0.018	1527	3.15	-114	-270
-0.030667	1546	4.01	-123	-490
-0.0433	1565	5.03	-130	-720
-0.0533	1580	5.80	-131	-840

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 3 แรงม้า ทดสอบ ที่ 110 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 242 Volt/Phase ที่(กระแสพิคัก 5แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	I_{ave} /Phase (A)	มุมØ	P_{ave} /Phase (Watt)
-0.004	1506	3.3	-90	0
-0.0333	1550	5	-117	-540
-0.04	1560	5.07	-117	-650

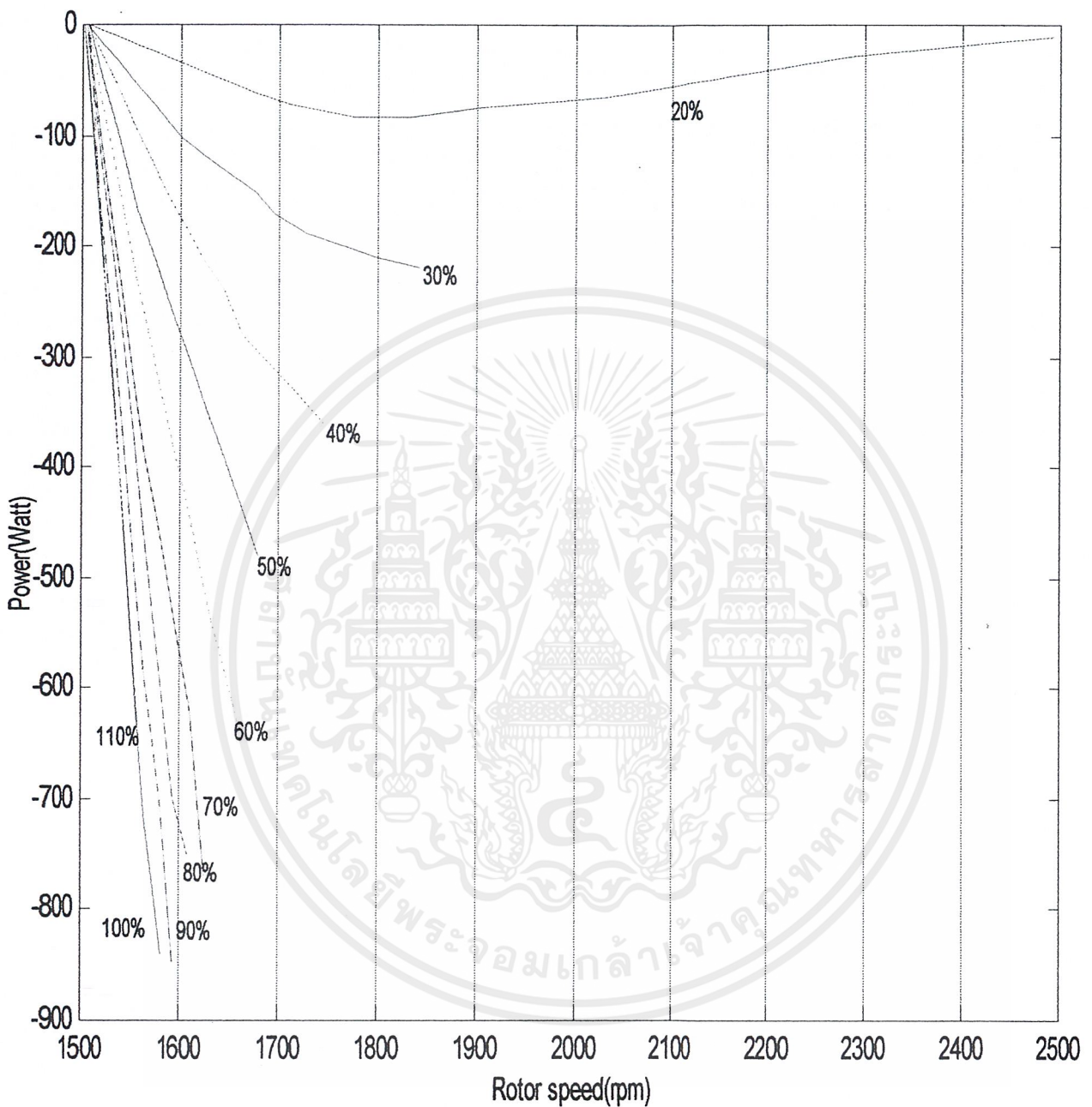
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเอาค่าที่ได้จากการทดลองนำมา Plot graph (I_{in} กับ N_r), (P_{in} กับ N_r)



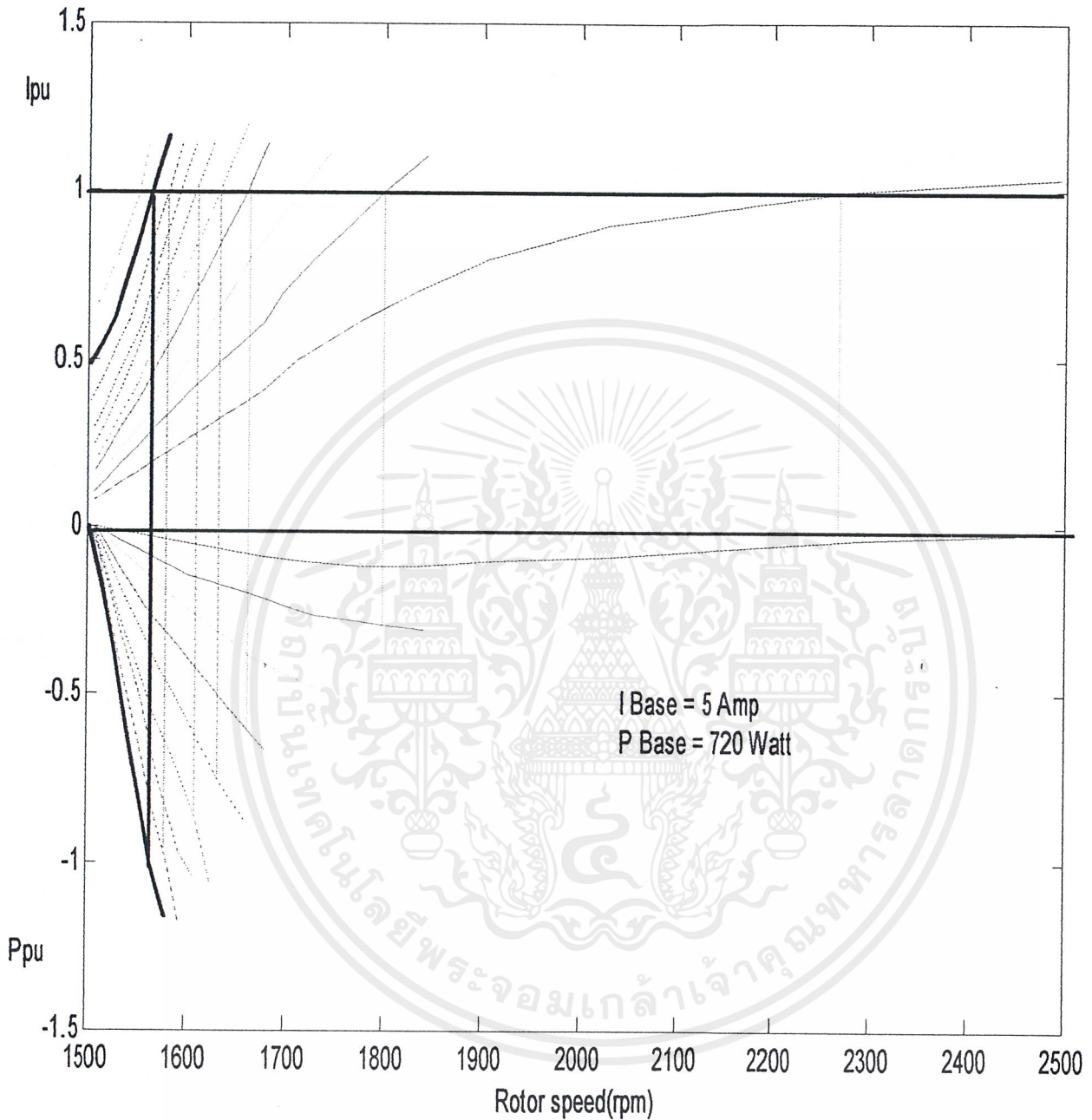
รูปที่ 4.7 กราฟกระแสที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 แรงม้า ที่ระดับความเร็วต่างๆและที่ระดับแรงดันต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟกำลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 แรงม้าที่ระดับความเร็วต่างๆและระดับแรงคั้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงที่ระดับแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสที่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 แรงม้า จะทำให้มีกำลังที่จ่ายให้แก่ระบบไฟฟ้าได้เท่าใด และมี ค่าสลลิปเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาการคำนวณจาก Equivalent circuit ของมอเตอร์ 3 เฟส เพื่อคำนวณค่ากระแสและกำลังงานที่ได้เมื่อมีการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำคือเราพิจารณาให้คำนวณสลิปเป็นลบ แล้วนำเอาค่าที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองจริงที่ได้จากการทดลอง

ค่าพารามิเตอร์ จาก Equivalent circuit ของมอเตอร์ 3 เฟส จะมีค่าต่างๆดังนี้

$$R_1 = 3.305 \Omega ; R_2 = 3.3581 \Omega ; X_1 = 4.0488 \Omega ; X_2 = 4.0488 \Omega ; R_C = 747.1 \Omega ;$$

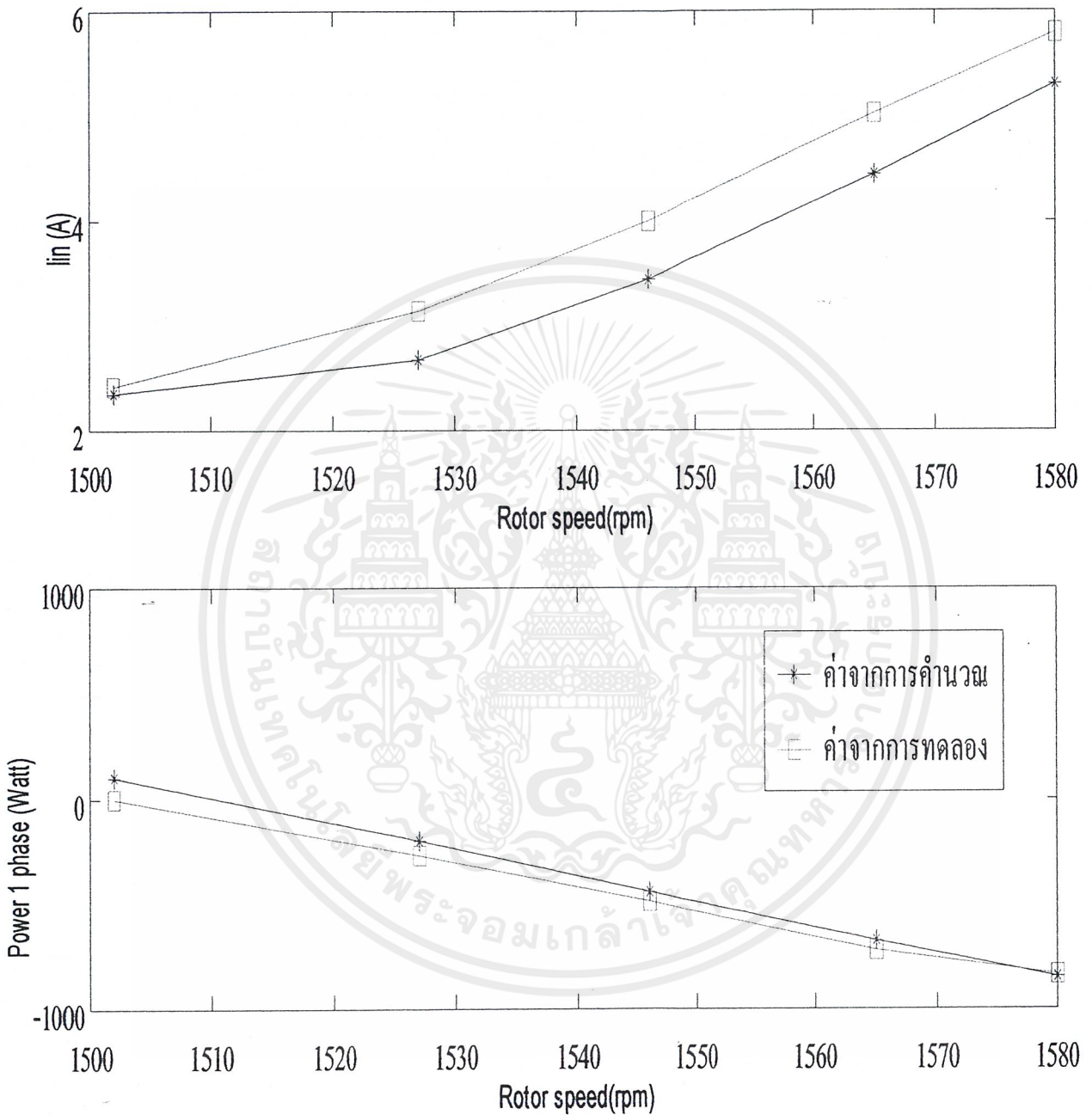
$$X_m = 94.5881 \Omega$$

ระดับแรงดัน 220 Volt/Phase				
Rotor Speed	ค่าจากการคำนวณ		ค่าจากการทดลอง	
	$I_{in}/Phase$ (A)	Power /Phase (Watt)	$I_{in}/Phase$ (A)	Power /Phase (Watt)
1502	2.3446	98.505	2.43	0
1527	2.6673	-207.96	3.15	-270
1546	3.4355	-442.35	4.01	-490
1565	4.4307	-672.69	5.03	-720
1580	5.2952	-848.32	5.80	-840

ตารางที่ 4.4 การนำเอาค่ากระแสที่ได้และกำลังงานที่ได้จากการคำนวณ โดย MATLAB โดยคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ ของ Equivalent circuit มอเตอร์ 3 เฟส แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง โดยทำการเปรียบเทียบพิกัดแรงดัน ที่ 220 Volt/Phase

นำเอาค่ากระแสและกำลังงานที่ได้จากการคำนวณจาก Equivalent circuit ที่นำมาเปรียบเทียบกับค่ากระแสและกำลังงานที่ได้จากการทดลองจริง จากในตารางมาทำการแสดงเป็นกราฟเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 แรงม้า



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดจากการทดลอง และกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังงานที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การทดลองนำมอเตอร์ 5 แรงม้า ให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายกำลังงานสู่ระบบไฟฟ้า

พิกัดมอเตอร์	5 HP	4 POLE	TYPE SF-JR	
		50 Hz	60 Hz	
VOLT	220	380	220	380
AMP	13.7	7.9	13.7	7.9
RPM	1420		1710	

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 5 แรงม้า จ่ายกำลังงานเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 5 แรงม้า ทดสอบ ที่ 20 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 44 Volt/Phase ที่ (กระแสพิกัด 7.9แอมป์ ต่อแบบสตาร์) ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวัดค่าได้ดังนี้				
Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุม θ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0.0033333	1495	0.74	-72	12
-0.0033333	1505	0.74	-90	0
-0.047333	1571	2	-138	-66
-0.10133	1652	4	-139	-138
-0.16533	1748	6	-131	-173
-0.26333	1895	8	-118	-160
-0.53933	2309	10	-97	-54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 5 แรงม้า ทดสอบ ที่ 30 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 66 Volt/Phase ที่(กระแสพิกัด 7.9แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0.006	1491	0.99	-65	27.6
-0.0026667	1504	0.94	-91	-3
-0.03	1545	2	-136	-98
-0.068667	1603	4	-143	-210
-0.10733	1661	6	-141	-310
-0.15427	1731.4	8	-136	-380
-0.20867	1813	10	-129	-400
-0.28733	1931	12	-121	-380
-0.33667	2005	13.7	-114	-350

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 5 แรงม้า ทดสอบ ที่ 40 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 88 Volt/Phase ที่(กระแสพิกัด 7.9แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0.0093333	1486	1.35	-65	55
-0.00066667	1501	1.3	-91	-2
-0.026667	1540	2.57	-130	-160
-0.065333	1598	5.35	-143	-380
-0.096667	1645	7.45	-143	-520
-0.14267	1714	10.28	-139	-680
-0.19333	1790	13.6	-137	-850

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 5 แรงม้า ทดสอบ ที่ 50 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 110 Volt/Phase ที่(กระแสฟัดด์ 7.9แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0.0073333	1489	1.72	-65	83
-0.0013333	1502	1.66	-90	0
-0.019333	1529	2.52	-127	-168
-0.051333	1577	5.1	-143	-450
-0.08	1620	7.65	-146	-690
-0.11333	1670	10.12	-143	-880
-0.14867	1723	13.7	-140	-1150

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 5 แรงม้า ทดสอบ ที่ 60 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 132 Volt/Phase ที่(กระแสฟัดด์ 7.9แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0.0053333	1492	1.87	-72	76
-0.0013333	1502	1.84	-90	0
-0.013333	1520	2.5	-120	-170
-0.042667	1564	5	-142	-530
-0.066667	1600	7.52	-145	-800
-0.093333	1640	10	-146	-1070
-0.14667	1720	13.7	-142	-1350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 5 แรงม้า ทดสอบ ที่ 70 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 154 Volt/Phase ที่ (กระแสพิกัด 7.9แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0.0086667	1487	2.22	-72	106
-0.00067	1501	2.12	-91	0
-0.008	1512	2.51	-112	-140
-0.036	1554	5	-140	-580
-0.059333	1589	7.58	-144	-940
-0.082667	1624	10	-146	-1270
-0.13	1695	12	-147	-1470
-0.14333	1715	13.6	-144	-1670

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 5 แรงม้า ทดสอบ ที่ 80 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 176 Volt/Phase ที่ (กระแสพิกัด 7.9แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0.0066667	1490	2.72	-70	160
-0.0013333	1502	2.64	-93	-20
-0.028667	1543	5.16	-135	-640
-0.047333	1571	7.5	-142	-1030
-0.066667	1600	10.15	-144	-1450
-0.09	1635	13.65	-144	-1920

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 5 แรงม้า ทดสอบ ที่ 90 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 198 Volt/Phase ที่(กระแสพิกัด 7.9แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0.0053333	1492	3	-75	150
-0.00066667	1501	2.95	-90	0
-0.023333	1535	5.15	-130	-660
-0.041333	1562	7.5	-139	-1120
-0.058667	1588	10.02	-142	-1550
-0.084	1626	13.71	-143	-2100

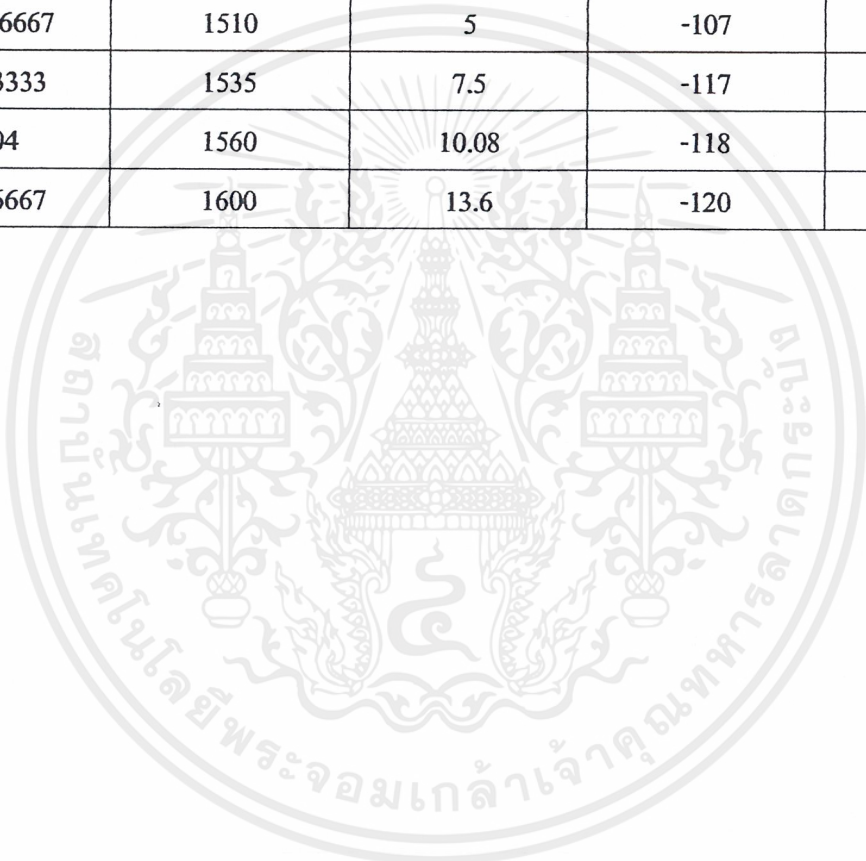
ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 5 แรงม้า ทดสอบ ที่ 100 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 220Volt/Phase ที่(กระแสพิกัด 7.9แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0.0046667	1493	3.75	-79	160
0	1500	3.76	-90	0
-0.012667	1519	5	-117	-520
-0.03	1545	7.5	-132	-1110
-0.070667	1606	10.08	-137	-1620
-0.08	1620	13.6	-139	-2260

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

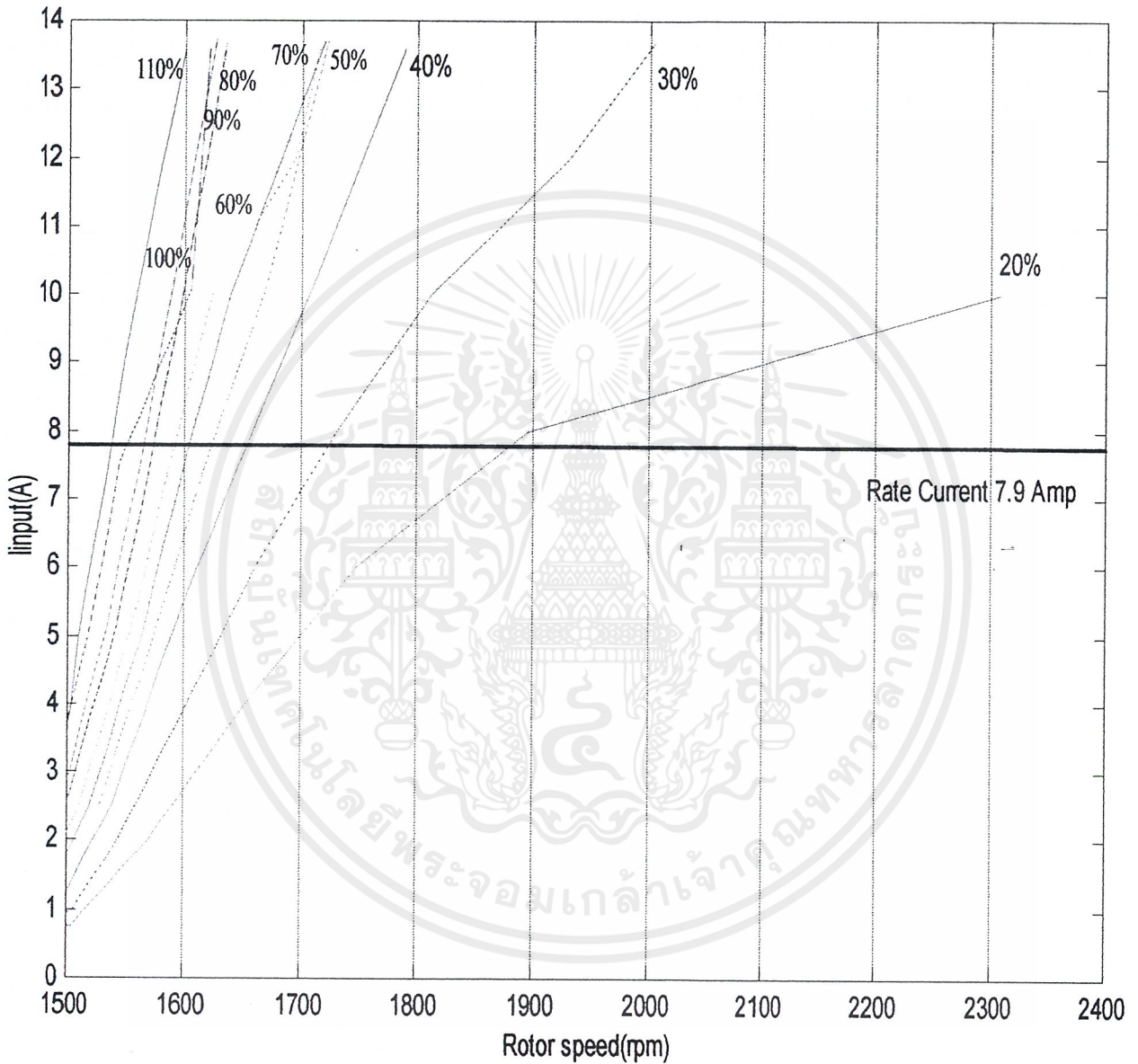
ค่าที่ได้จากการทดลอง โดยแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ 5 แรงม้า ทดสอบ ที่ 110 % ของแรงดันต่อเฟส คือ ค่าที่ 242 Volt/Phase ที่ (กระแสพิกัด 7.9แอมป์ ต่อแบบสตาร์)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวัดค่าได้ดังนี้

Slip	Rotor speed (rpm)	$I_{ave}/Phase$ (A)	มุมØ	$P_{ave}/Phase$ (Watt)
0.0033333	1495	3.8	-80	160
-0.00066667	1501	3.76	-90	0
-0.0066667	1510	5	-107	-350
-0.023333	1535	7.5	-117	-810
-0.04	1560	10.08	-118	-1140
-0.066667	1600	13.6	-120	-1650



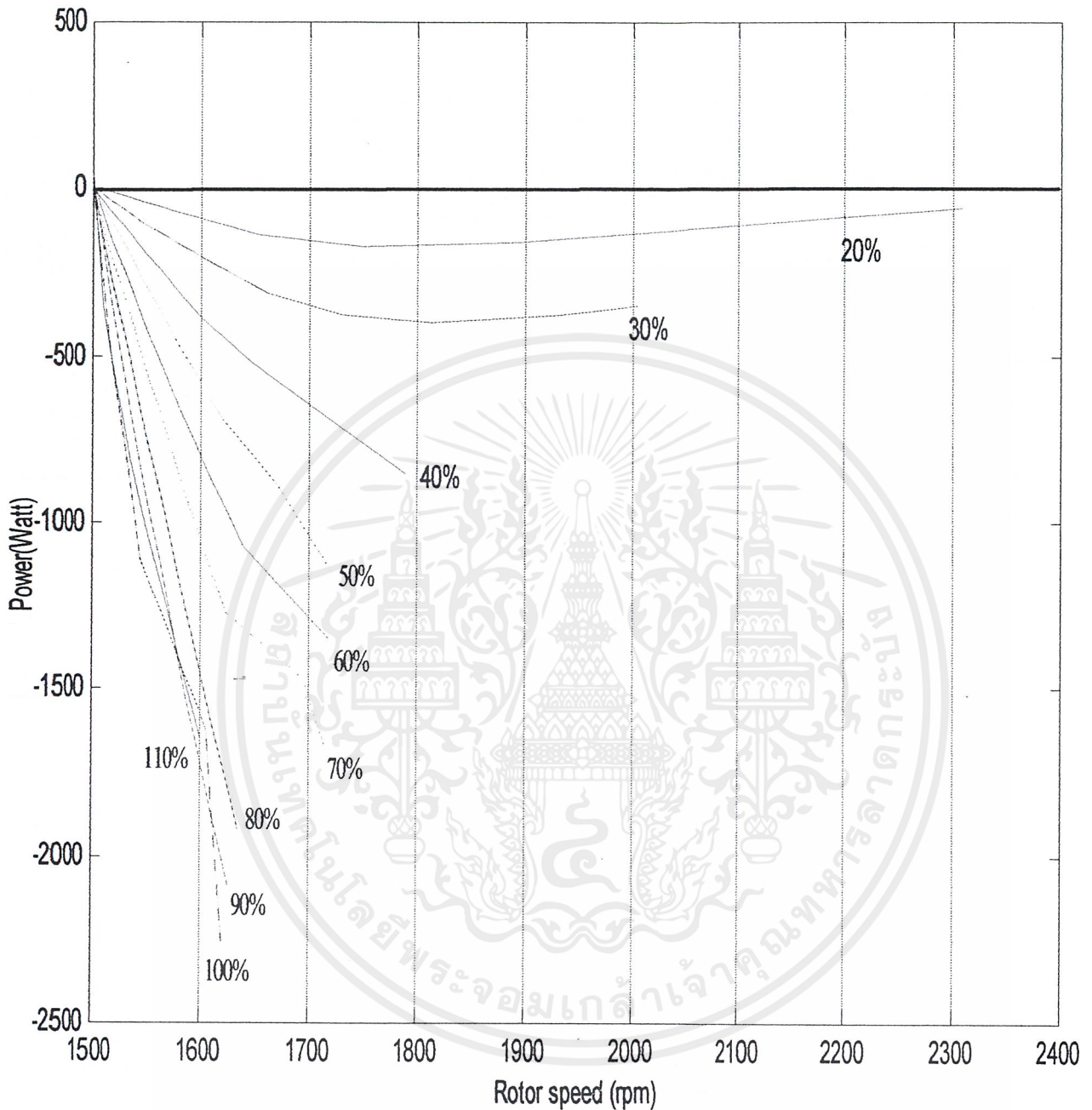
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเอาค่าที่ได้จากการทดลองนำมา Plot graph (I_{in} กับ N_r), (P_{in} กับ N_r)



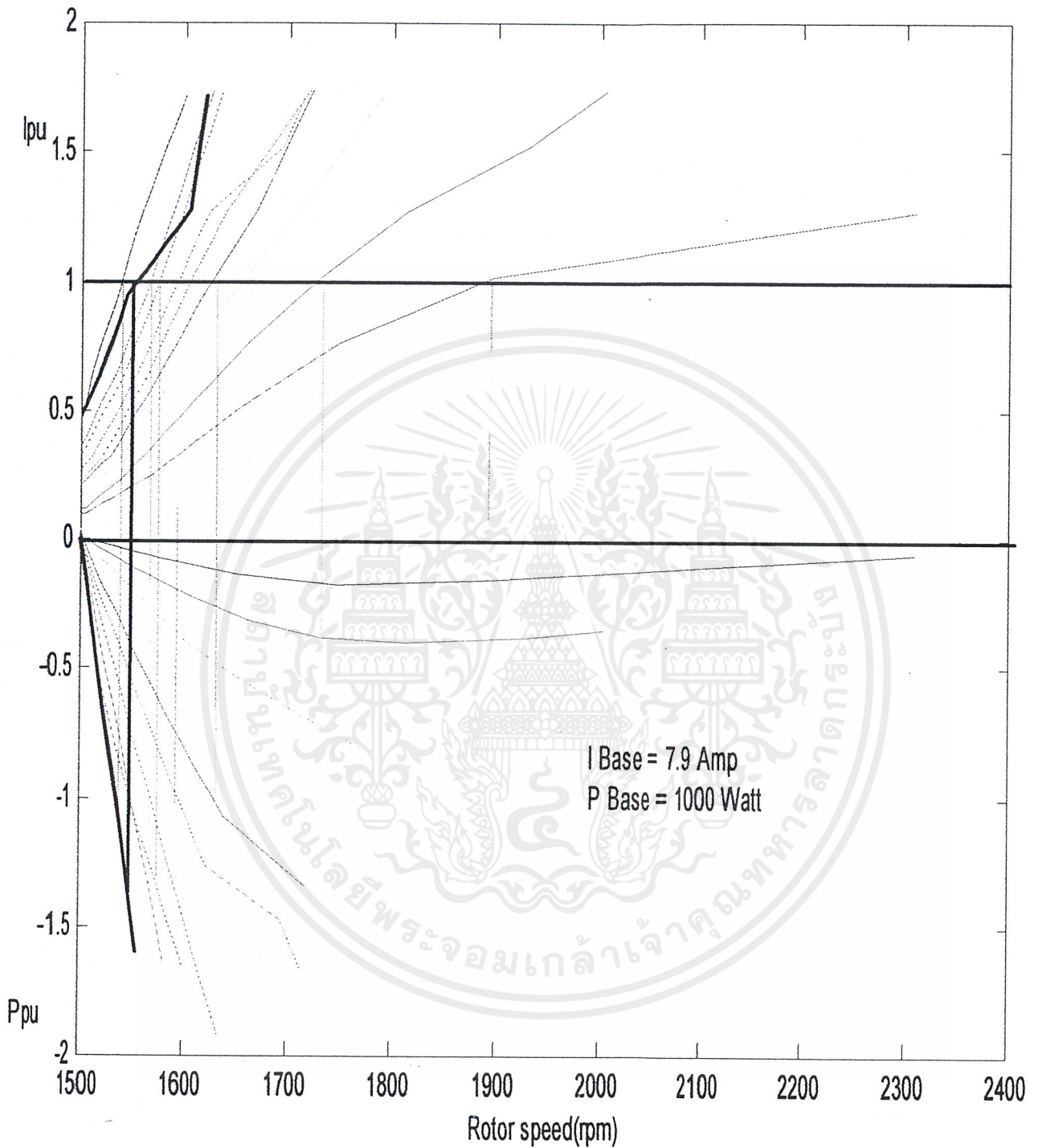
รูปที่ 4.11 กราฟกระแสที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 5 แรงม้า ที่ระดับความเร็วต่างๆและที่ระดับแรงดันต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟกำลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 5 แรงม้า ที่ระดับความเร็วต่างๆ และที่ระดับแรงดันต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงที่ระดับแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสที่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 5 แรงม้าจะทำให้มีกำลังที่จ่ายให้แก่ระบบไฟฟ้าได้เท่าใด และมี ค่าสลิปเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาการคำนวณจาก Equivalent circuit ของมอเตอร์ 5 แรงม้าเพื่อคำนวณค่ากระแสและกำลังงานที่ได้เมื่อมีการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำคือเราพิจารณาให้คำนวณสลิปเป็นลบแล้วนำเอาค่าที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองจริงที่ได้จากการทดลอง

ค่าพารามิเตอร์ จาก Equivalent circuit ของมอเตอร์ 5 แรงม้า จะมีค่าต่างๆดังนี้

$$R_1 = 1.838 \Omega ; R_2 = 1.7364 \Omega ; X_1 = 2.0457 \Omega ; X_2 = 2.0457 \Omega ; R_C = 459.1052 \Omega ;$$

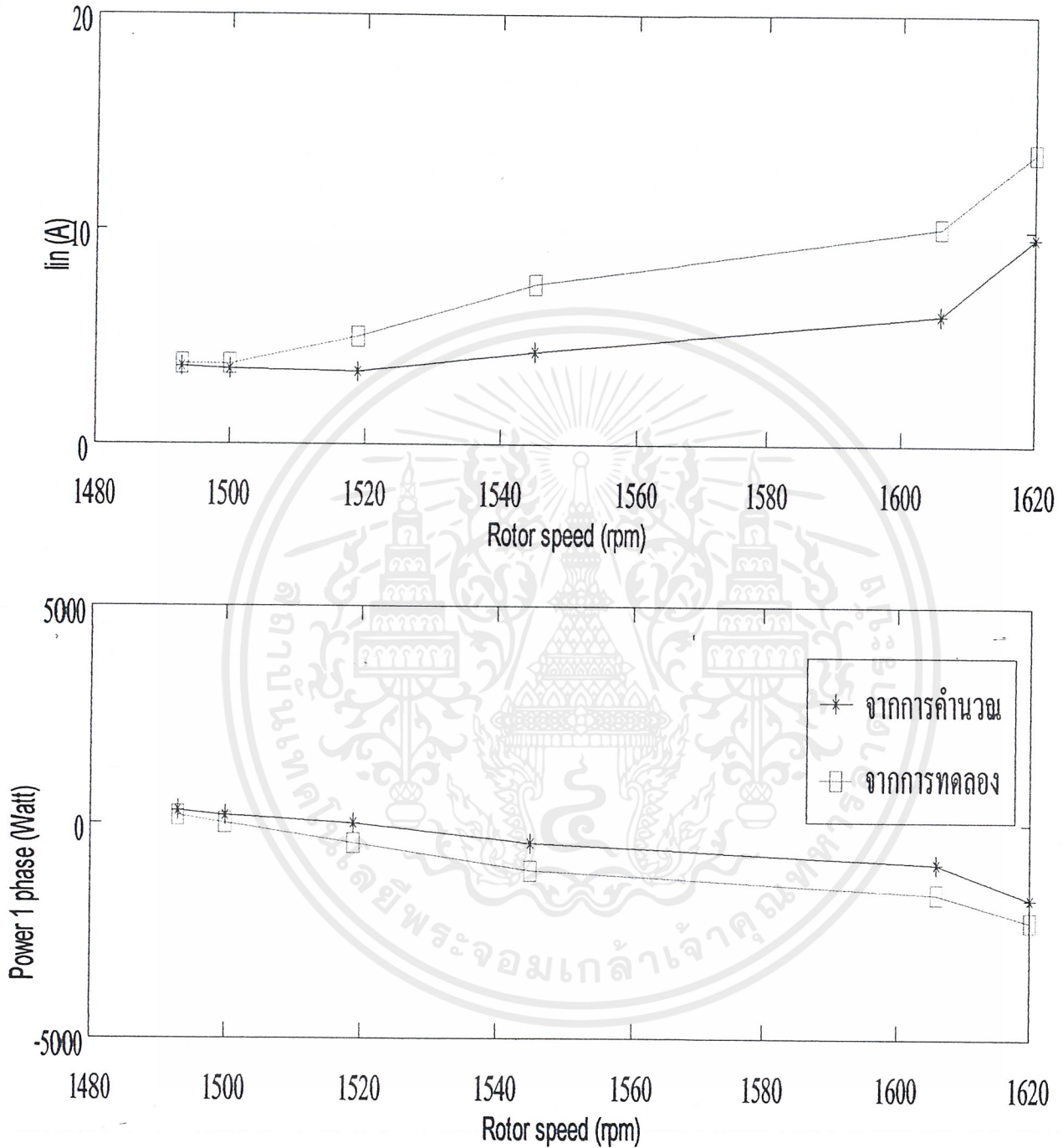
$$X_m = 62.8275 \Omega$$

ระดับแรงดัน 220 Volt/Phase				
Rotor Speed	ค่าจากการคำนวณ		ค่าจากการทดลอง	
	$I_{ave}/Phase$ (A)	Power /Phase (Watt)	$I_{ave}/Phase$ (A)	Power /Phase (Watt)
1493	3.5704	280.2	3.75	160
1500	3.4425	168.5	3.76	0
1519	3.4065	-0.78918	5	-520
1545	4.2736	-480.48	7.5	-1110
1606	6.05	-970.28	10.08	-1620
1620	9.623	-1760.7	13.6	-2260

ตารางที่ 4.6 การนำเอาค่ากระแสที่ได้และกำลังงานที่ได้จากการคำนวณ โดย MATLAB โดยคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ ของ Equivalent circuit มอเตอร์ 5 แรงม้า แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง โดยทำการเปรียบเทียบพิกัดแรงดัน ที่ 220 Volt/Phase

นำเอาค่ากระแสและกำลังงานที่ได้จากการคำนวณจาก Equivalent circuit ที่นำมาเปรียบเทียบกับค่ากระแสและกำลังงานที่ได้จากการทดลองจริง จากในตารางมาทำการแสดงเป็นกราฟเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 5 แรงม้า



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดจากการทดลอง และกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังงานที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

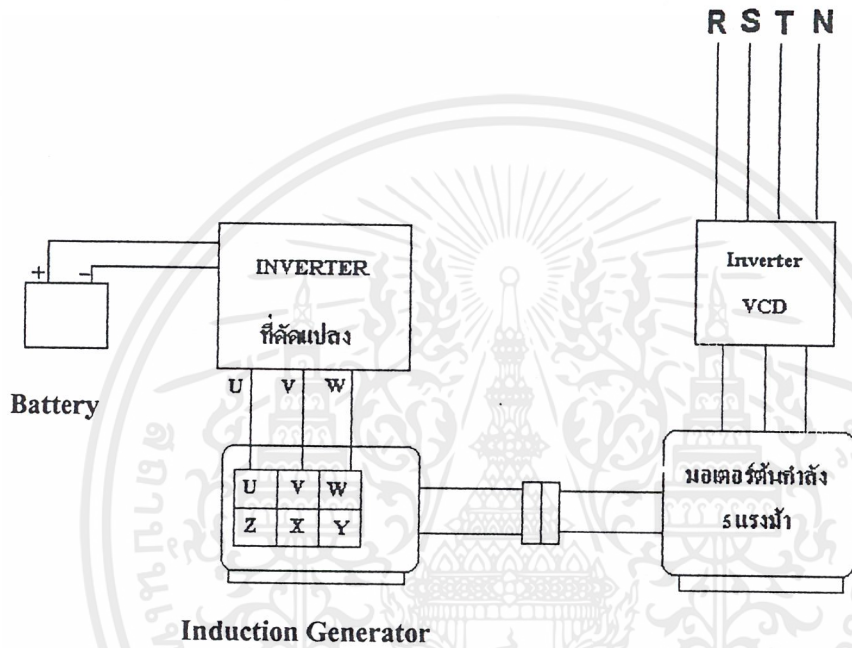
สรุปการทดลองเมื่อนำมอเตอร์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายพลังงานเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

เมื่อเรามีการป้อนแรงดันจากระบบไฟฟ้าเข้าที่ขั้วของ มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นทำให้เกิดความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นภายใน แล้วเมื่อเราต้องการให้มอเตอร์เหนี่ยวนำนี้แสดงสภาวะการทำงานให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้นเราจำเป็นต้องให้เพลาของมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วโรเตอร์ที่มากกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจากระบบไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์นั่นเอง ซึ่งส่วนนี้เป็นทฤษฎีเบื้องต้นที่ได้กล่าวไปแล้ว แต่ในการทดลองที่ผ่านมา นี้ เราพอจะสรุปได้ว่าถ้าเรานำเอาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายพลังงานกลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้าที่มีการป้อนที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะจ่ายพลังงานออกมามากหรือน้อยเราสามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

ผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อเราเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้จนถึงแรงดันที่พิกัด แล้วให้มีการเพิ่มความเร็วต้นกำลังที่ขั้วให้เร็วขึ้น แล้วตรวจสอบว่าให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจนถึงกระแสพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แต่อันที่จริงแล้วเราสามารถเพิ่มความเร็วต้นกำลังที่ขั้วให้เร็วขึ้นได้อีก และทำให้จ่ายพลังงานออกมาได้อีกจนถึง จุดที่เรียกว่า Push over torque เมื่อเลยจุดนี้จะทำให้พลังงานตกลง แต่ถ้าเราทำงานในจุดที่จ่ายพลังงานออกมาสูงสุด ก็จะทำให้กระแสเกินพิกัดมากแล้วจะทำให้เกิดอันตรายเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเราจึงเห็นว่าจุดสมควรว่าจุดทำงานที่น่าจะเหมาะสมและไม่อันตรายต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเองคือให้ทำงานอยู่ที่กระแสพิกัดนั่นเอง

เพราะฉะนั้น เมื่อเราปรับแรงดันไฟฟ้าเข้าที่ขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในค่าต่างๆกัน ก็จำเป็นต้องให้ค่าความเร็วต้นกำลังที่ขั้วให้เร็วขึ้นจนถึงจุดที่ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำที่กระแสพิกัดในค่าต่างๆกันด้วย และจากผลการทดลองที่ได้จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มแรงดันเข้าที่ขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้จนถึงแรงดันพิกัดของระบบนั้น เราสามารถเพิ่มความเร็วต้นกำลังให้เร็วเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานที่กระแสพิกัดจะเห็นได้ว่าในจุดที่แรงดันพิกัดกระแสพิกัดนี้เป็นจุดที่ได้พลังงานออกมาเหมาะสมที่สุด แต่ไม่ใช่จุดที่ได้พลังงานมากที่สุด เนื่องจากเราสามารถเพิ่มความเร็วต้นกำลังให้เร็วขึ้นได้ แต่ก็ทำให้กระแสเกินพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกไปมาก เราจึงเห็นสมควรว่าน่าจะให้ทำงานในจุดนี้เนื่องจากเป็นจุดที่เหมาะสมมากในการทำงาน

4.2 การทดลองนำเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำการควบคุมให้ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังงานผ่านอินเวอร์เตอร์ที่ทำการตัดแปลงแล้วเก็บกำลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่



รูปที่ 4.15 แสดงระบบการให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายกำลังงานจากอินเวอร์เตอร์ที่ตัดแปลงแล้วเก็บพลังงานเข้าแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. แท่นต้นกำลังและตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ต่อถึงกัน
2. INVERTER (VCD 3 Ø) 1 ตัว
3. FLUKE 39 METER 1 ตัว
4. Tacho Meter 1 ตัว
5. INVERTER (3 Ø) MIKI PULLEY นำมาตัดแปลง 1 ตัว
6. DIODE 2 ตัว
7. DC AMPMETER 5A 1 ตัว
8. DC AMPMETER 2A 1 ตัว
9. TEKTRONIX DIGITIZING OSCILLOSCOPE 1 ตัว
10. Lead- Acid Battery 12 V 7.2Ah 24 ลูก
11. สายไฟ 40 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. ตรวจสอบทิศทางการหมุนของมอเตอร์ต้นกำลังกับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่เป็นเครื่องกำเนิดเหนี่ยวนำให้มีทิศทางเดียวกันเสียก่อน
2. เดินมอเตอร์ที่ต้องการทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากอินเวอร์เตอร์ที่ต่อจากแบตเตอรี่ที่ความถี่ 20 Hz การที่เริ่มเดินเครื่องด้วยความถี่ 20 Hz เพื่อช่วยลดกระแสขณะเริ่มเดินมอเตอร์ไม่ให้สูงเกินไปในขณะเริ่มหมุน
3. ทำการเดินเครื่องต้นกำลัง โดยปรับให้มีความเร็วประมาณเท่ากับความเร็วสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 20 Hz ของมอเตอร์ที่ต้องการทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (ความเร็วโรเตอร์ประมาณ 600 rpm) เสียก่อน
4. ทำการเพิ่มความถี่จากอินเวอร์เตอร์ที่ต่ออยู่กับแบตเตอรี่ ให้มีความถี่สูงขึ้นจนถึงความถี่ 50 Hz แล้วทำการเพิ่มความเร็วดต้นกำลังตามมาด้วยอยู่ตลอดเวลา ให้ความเร็วโรเตอร์ประมาณเท่ากับความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน ที่ความถี่ 50 Hz
5. ทำการเพิ่มความเร็วดต้นกำลังให้มากขึ้นทำให้ความเร็วโรเตอร์มากกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนจากความถี่นั้น แล้วทำการวัดที่กระแสระหว่างเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้ถึงกระแสที่พิกัด (ในพิกัด 1 แรงแม่กระแสพิกัดที่พิจารณาอยู่ที่ 2 แอมป์) ทำการจดค่าต่างๆที่ได้จากการทดลอง เพื่อดูการเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อใช้อินเวอร์เตอร์ต่อใช้งาน
6. ทำการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ต่อจากแบตเตอรี่ ตามความถี่ที่ต้องการจะทดสอบ ทำการปรับความเร็วต้นกำลังให้มีความเร็วเท่ากับความเร็วสนามแม่เหล็กที่ ความถี่ที่ต้องการทดสอบเสียก่อน แล้วทำตามขั้นตอนที่ 5
7. ซึ่งจะแบ่งการทดลองจริงได้เป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

การทดลองที่ 4.2.1

แสดงให้เห็นว่าการคืนกำลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยควบคุมจากอินเวอร์เตอร์จะคืนกำลังงานเป็นอัตราส่วนในแต่ละความถี่ที่ป้อนให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเคลด้า

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองเมื่อทำให้มอเตอร์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดย ควบคุมจากอินเวอร์เตอร์ที่ต่อเข้ากับเบตเตอร์ดูการคืนกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยใช้ค่าระดับแรงดันจากโรงงานที่ตั้งไว้

Nr	f	Phase U			Phase V			Phase W			P _{3Ø}
		V _U	I _U	Ø _U	V _V	I _V	Ø _V	V _W	I _W	Ø _W	
1600	50	222	2.04	-136	222	2.2	-128	222	2.06	-125	893.9
1299	40	182	2.04	-127	181.6	2.01	-127	181.4	1.91	-128	650.9
990	30	140.4	2.09	-119	140	2.06	-123	140	2.08	-120	450.9
690	20	96.6	2.02	-105	96.6	2	-107	96.8	2.04	-105	160.7
555	16	79.2	2.06	-95	81	2.1	-98	76	2.11	-98.6	65

สรุปการทดลองที่ 4.2.1 เมื่อทำการปรับลดความถี่ลงจะทำให้คืนกำลังงานได้น้อยลงเป็นอัตราส่วนตามความถี่นั้นเป็นผลเนื่องมาจากอินเวอร์เตอร์ปรับตามอัตราส่วน V/f จึงทำให้การสร้างกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้น้อยลงตามระดับแรงดันที่ป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สำหรับความเร็วต้นกำลังที่ป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในแต่ละความถี่เพื่อคืนกำลังงานให้ได้กระแสฟลักซ์นั้นมีค่าสลิปเท่ากันในช่วง 50 Hz จนถึง 30 Hz แต่ในช่วงความถี่ต่ำๆนั้นจำเป็นต้องให้ความเร็วต้นกำลังมากกว่าที่ความถี่ในช่วงความถี่ 50Hz ถึง 30 Hz เพื่อให้คืนกำลังงานได้ถึงกระแสฟลักซ์

การทดลองที่ 4.2.2

แสดงให้เห็นว่าการปรับระดับแรงดันที่ความถี่ต่ำให้มีระดับแรงดันสูงขึ้น โดยปรับที่ฟังก์ชันของอินเวอร์เตอร์ให้มีค่าระดับแรงดันเพิ่มขึ้นแตกต่างกันเป็นตามค่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของฟังก์ชันในอินเวอร์เตอร์จะทำให้ได้การคืนกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นอย่างไร

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองเมื่อทำการปรับฟังก์ชันของอินเวอร์เตอร์เพื่อเพิ่มระดับแรงดัน

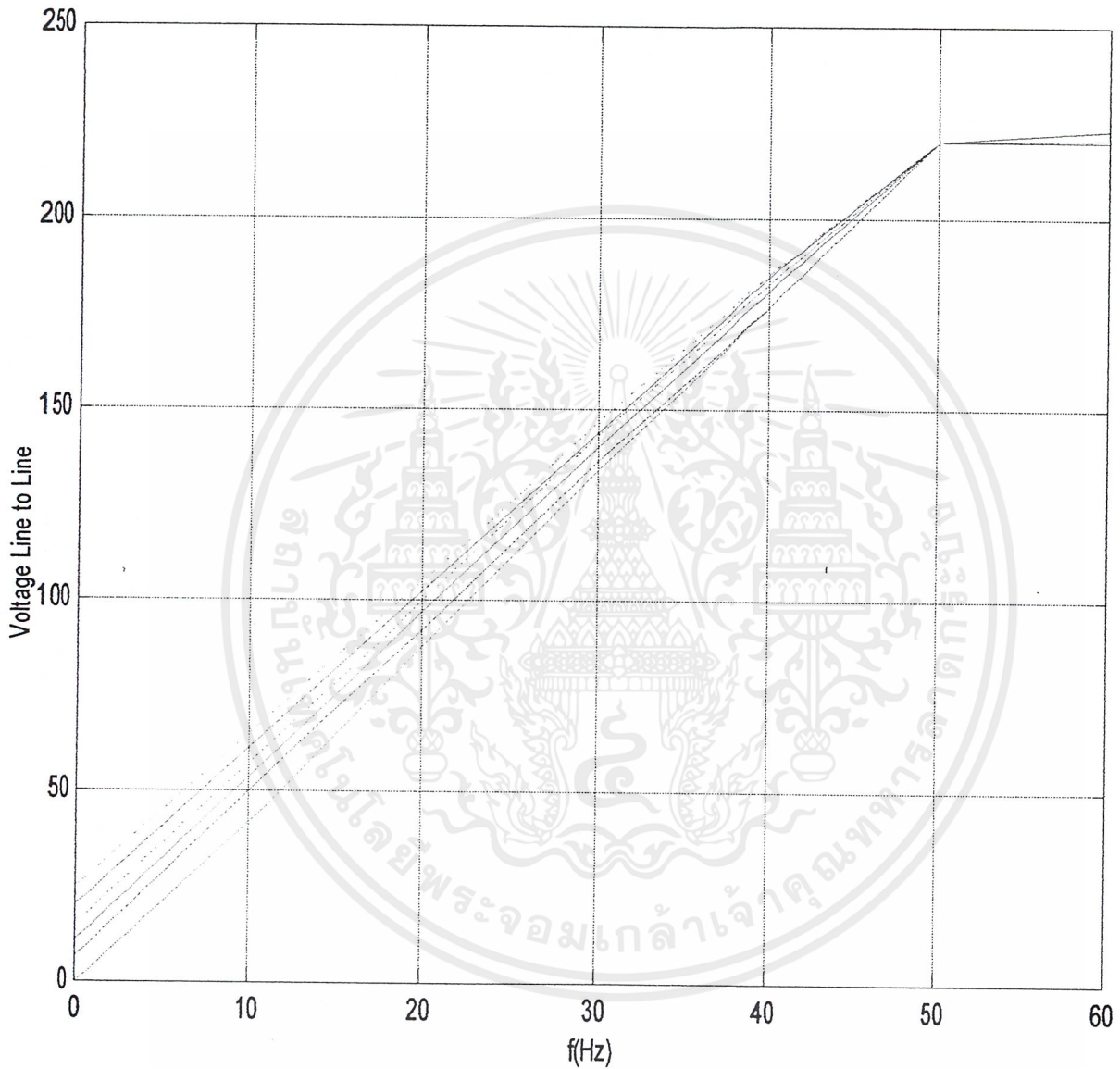
เมื่อไม่ทำการปรับฟังก์ชันของอินเวอร์เตอร์ที่เพิ่มระดับแรงดันให้มากขึ้น											
Nr	f	Phase U			Phase V			Phase W			P _{3Ø}
		V _U	I _U	Ø _U	V _V	I _V	Ø _V	V _W	I _W	Ø _W	
1600	50	220	2.18	-127	220.2	2.14	-131	220.2	2.17	-128	890
1294	40	175.6	2.09	-129	177.4	2.12	-126	178	2.12	-126	680
991	30	134	2	-130	134.4	2.1	-123	134.8	2.35	-125	503
678	20	87.6	2.01	-124	87.8	2	-117	88.2	1.95	-119	260
397	11	46	1.95	-109	46.8	1.96	-113	46.8	1.99	-109	98
เมื่อทำการปรับฟังก์ชันของอินเวอร์เตอร์ที่เพิ่มระดับแรงดันให้มากขึ้น เป็น 20 %											
Nr	f	Phase U			Phase V			Phase W			P _{3Ø}
		V _U	I _U	Ø _U	V _V	I _V	Ø _V	V _W	I _W	Ø _W	
1595	50	220	2.2	-132	220.2	2.06	-133	217	2	-133	900
1289	40	177.2	2.04	-125	177	1.96	-125	177.2	1.99	-128	625
985	30	136.4	2.04	-126	136.6	2.02	-123	135.4	2.03	-123	463
674	20	92	2.07	-111	93	2.03	-112	92	1.9	-109	196
576	14	67	2.3	-105	63.6	2	-98	67	1.97	-104	89
เมื่อทำการปรับฟังก์ชันของอินเวอร์เตอร์ที่เพิ่มระดับแรงดันให้มากขึ้น เป็น 40 %											
Nr	f	Phase U			Phase V			Phase W			P _{3Ø}
		V _U	I _U	Ø _U	V _V	I _V	Ø _V	V _W	I _W	Ø _W	
1600	50	222	2.04	-136	222	2.2	-128	222	2.06	-125	893.9
1299	40	182	2.04	-127	181.6	2.01	-127	181.4	1.91	-128	650.9
990	30	140.4	2.09	-119	140	2.06	-123	140	2.08	-120	450.9
690	20	96.6	2.02	-105	96.6	2	-107	96.8	2.04	-105	160.7
555	16	79.2	2.06	-95	81	2.1	-98	76	2.11	-98.6	65

เมื่อทำการปรับฟังก์ชันของอินเวอร์เตอร์ที่เพิ่มระดับแรงดันให้มากขึ้น เป็น 60 %											
Nr	f	Phase U			Phase V			Phase W			P _{3Ø}
		V _U	I _U	Ø _U	V _V	I _V	Ø _V	V _W	I _W	Ø _W	
1602	50	220.2	2.08	-131	220.4	2.15	-133	220.8	1.92	-128	890
1300	40	183.2	2.04	-125	183.2	1.98	-126	183	2.04	-123	635
990	30	142.6	2.07	-115	146.2	2.06	-113	142	2.29	-117	392
669.2	20	100	1.93	-98	100	2.03	-97	99.8	2.06	-95.2	68
609	18	90	2.06	-96	91	2.24	-95	94.2	2.1	-94.6	54
เมื่อทำการปรับฟังก์ชันของอินเวอร์เตอร์ที่เพิ่มระดับแรงดันให้มากขึ้น เป็น 80 %											
Nr	f	Phase U			Phase V			Phase W			P _{3Ø}
		V _U	I _U	Ø _U	V _V	I _V	Ø _V	V _W	I _W	Ø _W	
1604	50	220	2.04	-130	221	2.13	-128	220.4	2.12	-133	900
1289	40	182	2.08	-123	185	2.09	-122	183.6	2.17	-128	634
971	30	143.4	2.01	-108	143.4	1.91	-107	143.4	2.09	-110	276
685	21	107	2.09	-92.2	105.4	2.19	-92.2	109.2	2.16	-92.8	29
เมื่อทำการปรับฟังก์ชันของอินเวอร์เตอร์ที่เพิ่มระดับแรงดันให้มากขึ้น เป็น 100 %											
Nr	f	Phase U			Phase V			Phase W			P _{3Ø}
		V _U	I _U	Ø _U	V _V	I _V	Ø _V	V _W	I _W	Ø _W	
1609	50	220.2	1.9	-131	220	1.95	-131	220	2.2	-132	880
1299	40	185.4	2.06	-121	185	2.1	-117	185	2.04	-122	575
978	30	147.6	2.19	-106	148	2.04	-108	146.6	2.1	-109	286
750	23	117.2	2.14	-92.2	122	2.19	-92.4	120	1.97	-91.2	27

สรุปการทดลองที่ 4.2.2 การปรับฟังก์ชันของอินเวอร์เตอร์ให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ต่างๆ โดยจะทำให้แรงดันเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ที่เราปรับให้อินเวอร์เตอร์จ่ายให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้น ไม่มีความจำเป็นเลย และจากการทดลองจะเห็นว่าเราไม่มีความจำเป็นต้องเพิ่มระดับแรงดันให้สูงขึ้น เพราะจะเห็นได้ว่าถ้าเราไม่เพิ่มระดับแรงดันให้สูงขึ้นโดยปรับให้ฟังก์ชันของอินเวอร์เตอร์เท่ากับศูนย์ ซึ่งเป็นจุดที่สามารถเริ่มเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้จากความถี่ต่ำสุด เราจึงปรับอินเวอร์เตอร์ให้มีค่าฟังก์ชันนี้เท่ากับศูนย์

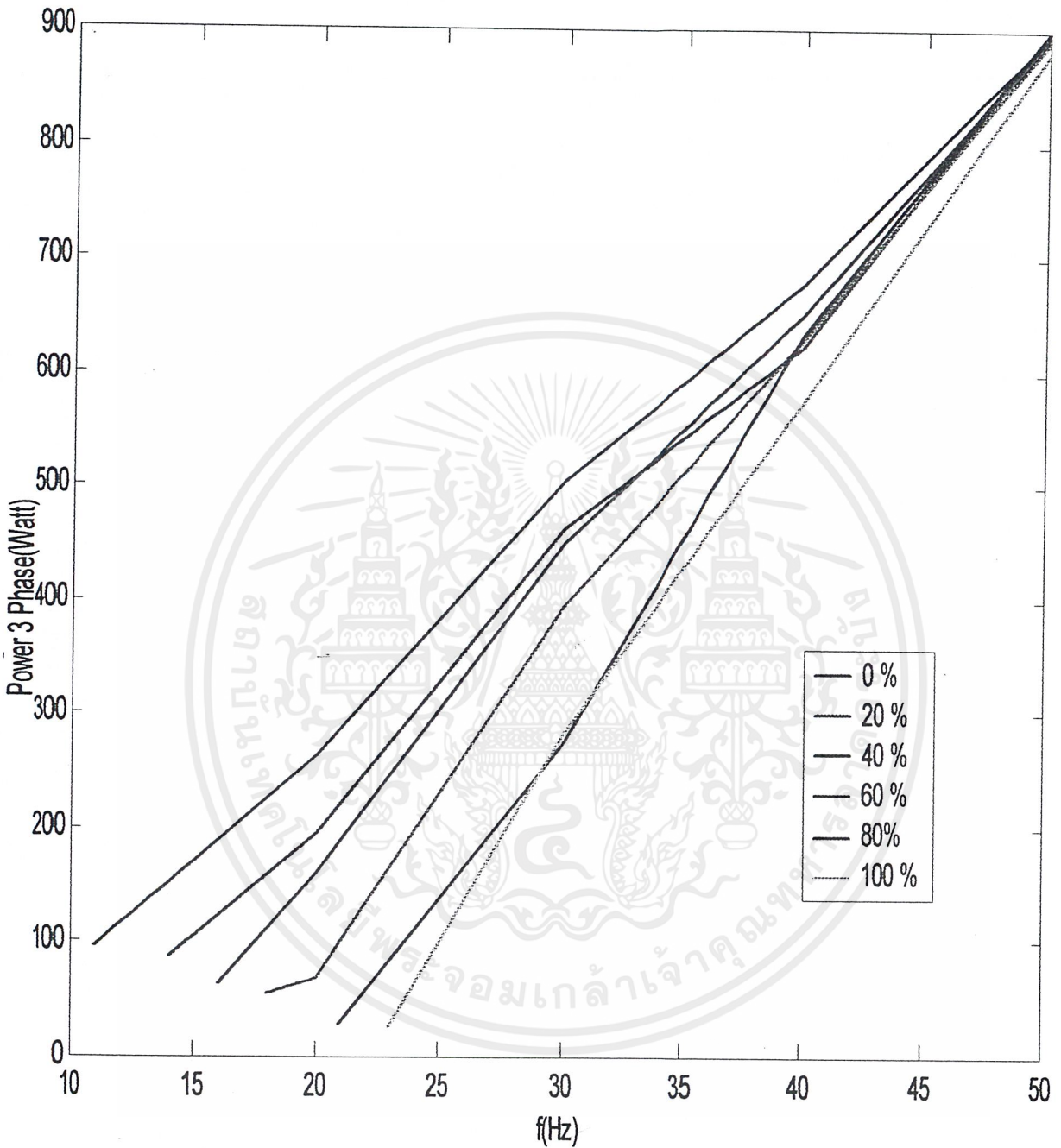
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำเอาผลการทดลองมาทำการแสดงเป็นกราฟจะได้รูปดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดง แรงดันต่อความถี่ที่ป้อนจากอินเวอร์เตอร์เข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยมีการปรับเพิ่มระดับแรงดันจากฟังก์ชันของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงกำลังงานที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีการขึ้นกำลังงานที่ตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อมีการปรับความถี่จากอินเวอร์เตอร์ค่าต่างๆและมีการปรับการเพิ่มฟังก์ชันจากอินเวอร์เตอร์ให้มีระดับแรงดันมากขึ้น

การทดลองที่ 4.2.3

แสดงให้เห็นว่าการคืนกำลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยควบคุมจากอินเวอร์เตอร์ จะคืนกำลังงานเป็นอัตราส่วนในแต่ละความถี่ที่ป้อนให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเคลด้า

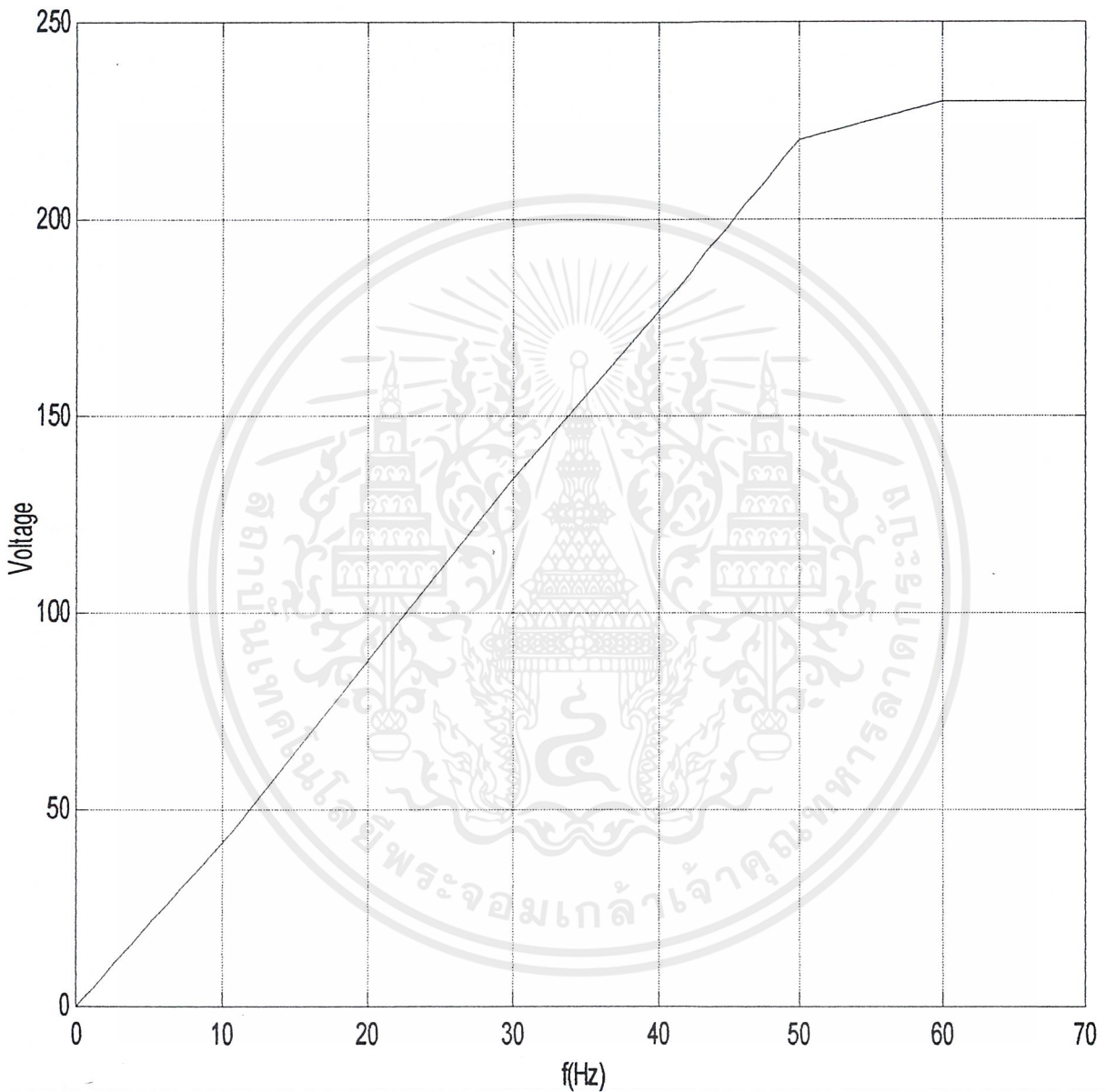
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองเมื่อทำให้มอเตอร์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดย ควบคุมจากอินเวอร์เตอร์ที่ต่อเข้ากับเบตเตอร์ดูการคืนกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยไม่ได้ทำการปรับให้มีการเพิ่มระดับแรงดันที่ความถี่ต่ำ

Nr	f	Phase U			Phase V			Phase W			P _{3Ø}
		V _U	I _U	Ø _U	V _V	I _V	Ø _V	V _W	I _W	Ø _W	
2265	70	230	2.13	-142	229	2.11	-141	229	2.09	-140	-1128
1956	60	230	2.4	-141	229.6	2.08	-141	229.4	2.07	-139	-1155
1600	50	220	2.18	-127	220.2	2.14	-131	220.2	2.17	-128	-890
1294	40	175.6	2.09	-129	177.4	2.12	-126	178	2.12	-126	-680
991	30	134	2	-130	134.4	2.1	-123	134.8	2.35	-125	-503
678	20	87.6	2.01	-124	87.8	2	-117	88.2	1.95	-119	-260
397	11	46	1.95	-109	46.8	1.96	-113	46.8	1.99	-109	-98

สรุปการทดลองที่ 4.2.3 เมื่อทำการปรับลดความถี่ลงจะทำให้คืนกำลังงานได้น้อยลงเป็นอัตราส่วนตามความถี่นั้นเป็นผลเนื่องมาจากอินเวอร์เตอร์ปรับตามอัตราส่วน V/f จึงทำให้การสร้างกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้น้อยลงตามระดับแรงดันที่ป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สำหรับความเร็วคืนกำลังที่ป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในแต่ละความถี่เพื่อคืนกำลังงานให้ได้กระแสฟลักตนั้นมีค่าสลิปเกือบเท่ากันในช่วง 50 Hz จนถึง 30Hz แต่ในช่วงความถี่ต่ำๆ นั้นจำเป็นต้องให้ความเร็วคืนกำลังมากกว่าที่ความถี่ในช่วงความถี่ 50Hz ถึง 30 Hz เพื่อให้คืนกำลังงานได้ถึงกระแสฟลักต และในส่วนในช่วงความถี่สูงนั้น จะมีการคืนกำลังงานเป็นอัตราส่วนอยู่ในช่วงจากการทดลองที่ความถี่ 60Hz แต่ในช่วงในความถี่ 70Hz นั้นเมื่อเราป้อนคืนกำลังให้ค่ากระแสฟลักตแต่ก็ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้น้อยลงกว่าที่ความถี่ 60 Hz เนื่องจากช่วงนี้จะทำให้กำลังงานที่คืนออกมาค่อนข้างคงที่หรืออาจจะลดน้อยลงได้บ้าง

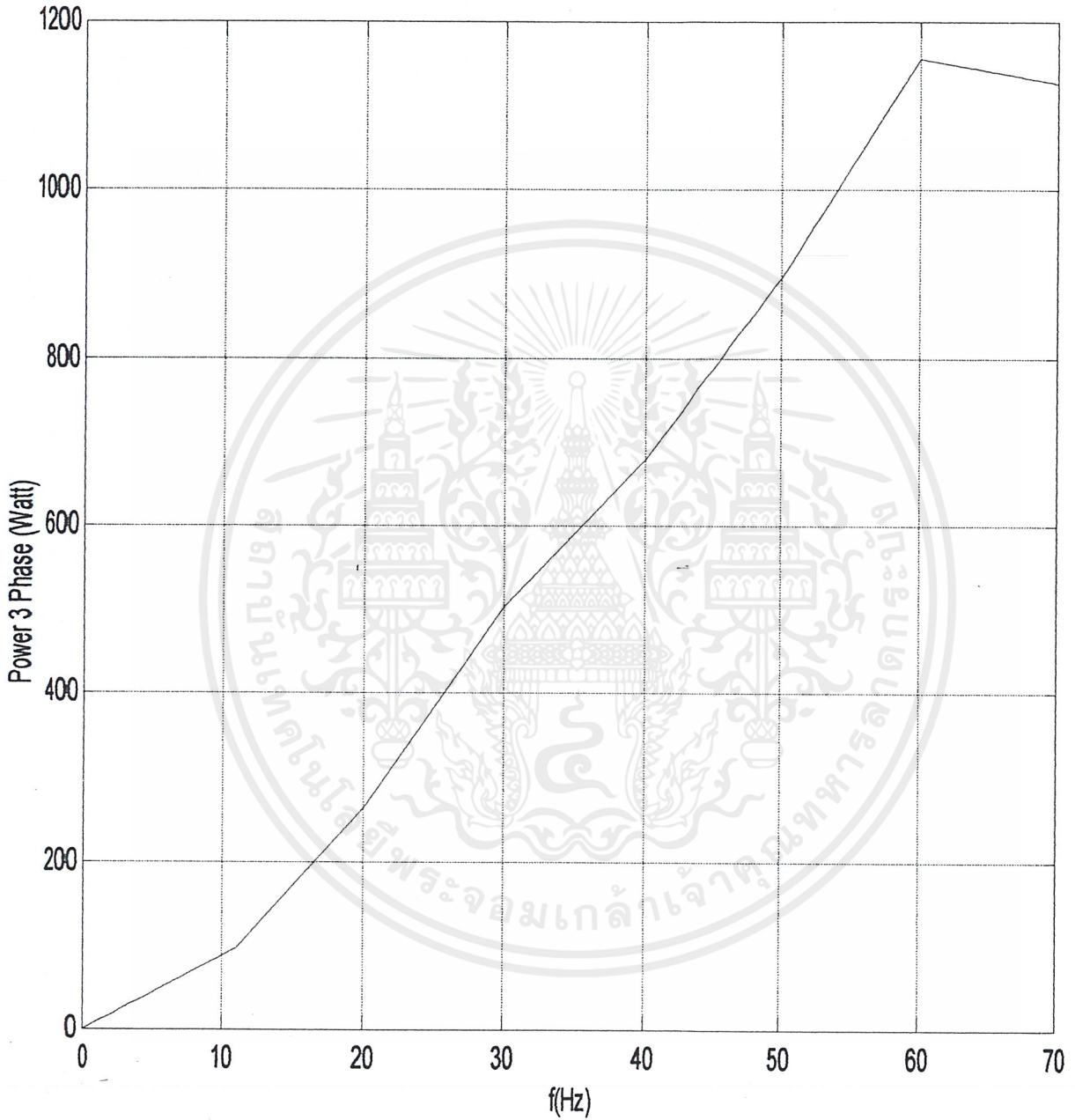
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำเอาผลการทดลองมาทำการแสดงเป็นกราฟจะได้อดังต่อไปนี้



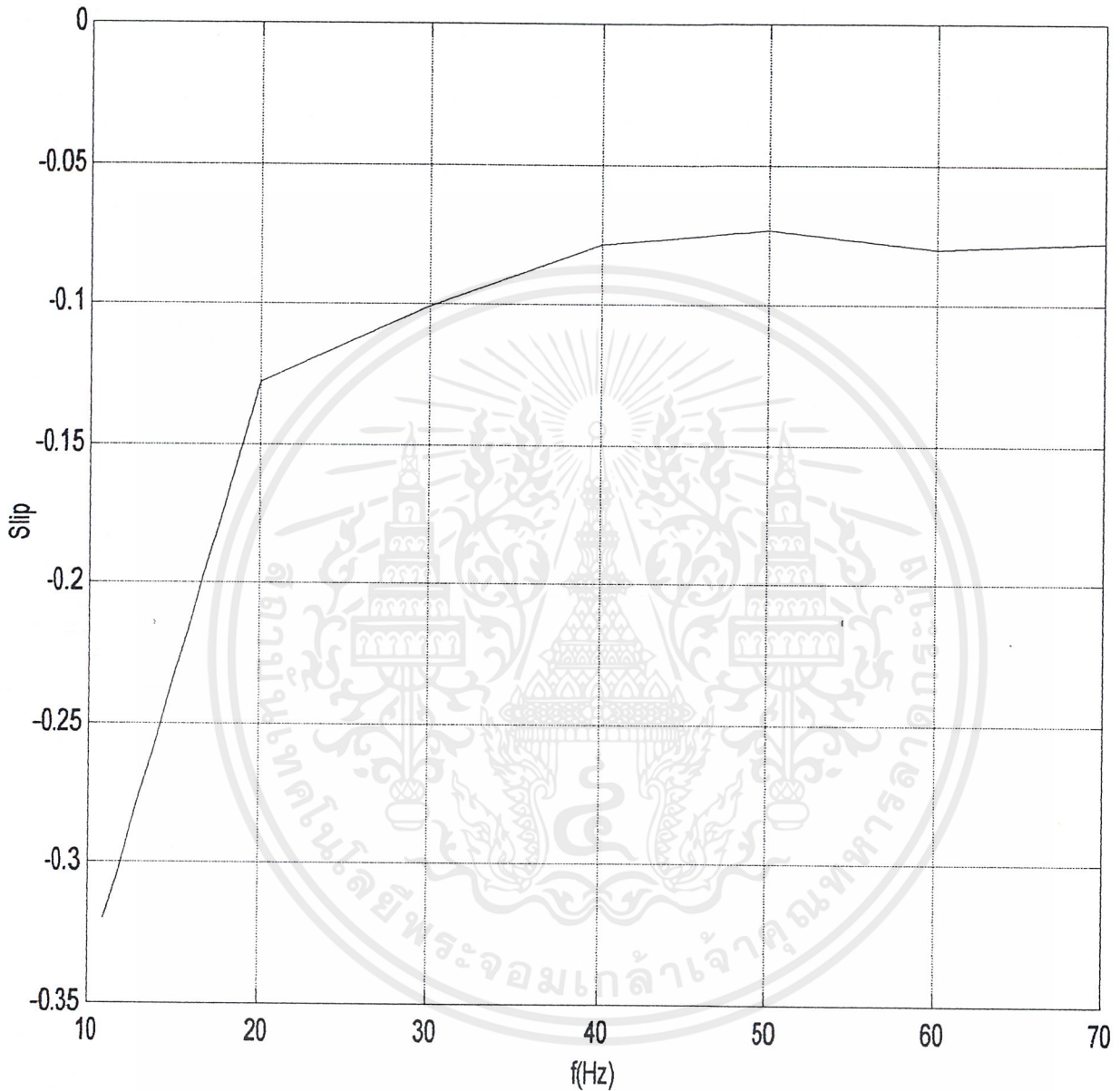
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงแรงดันกับความถี่ที่ป้อนจากอินเวอร์เตอร์เข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงกำลังงานที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีการคืนกำลังงานที่ตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อมีการปรับความถี่จากอินเวอร์เตอร์ค่าต่างๆ

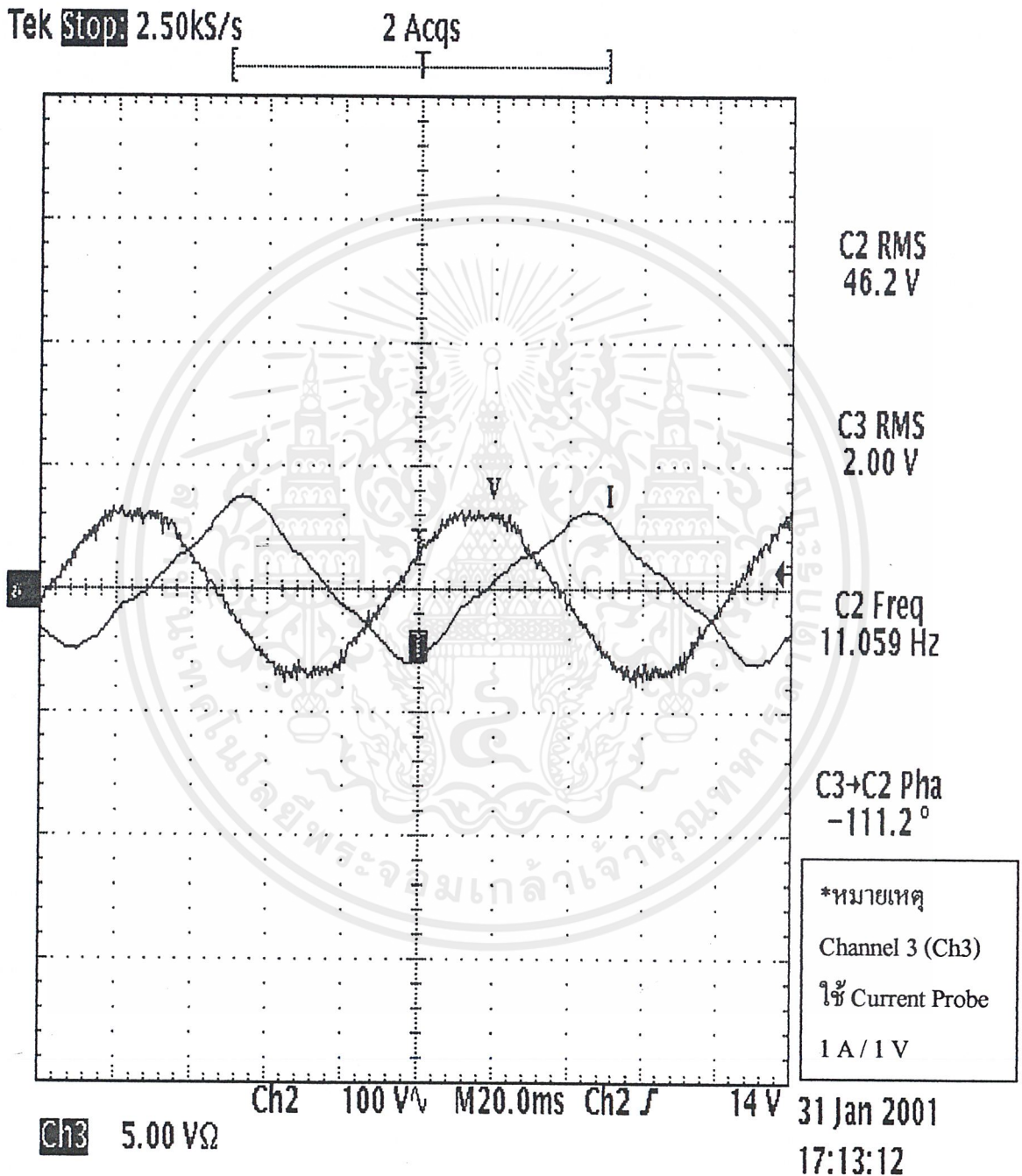
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าสลิปที่ต้องป้อนให้กับต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เพื่อจะคืนกำลังงานที่จุดทำงานที่ผิดปกติแต่ละทุกครั้งของความถี่ที่ป้อนจากอินเวอร์เตอร์

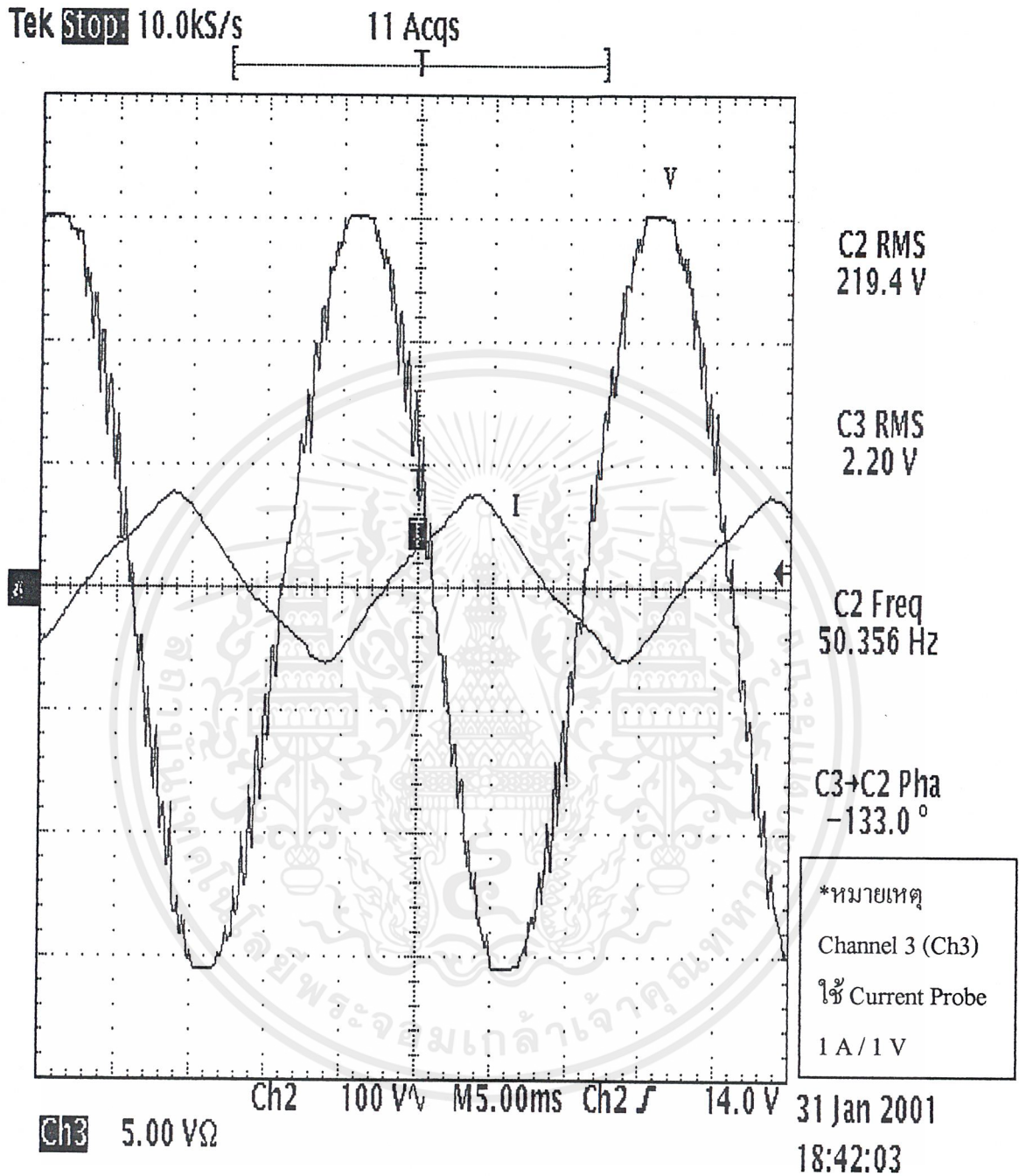
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่ความถี่ต่างๆที่ควบคุมให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานการคืนกำลังงานจากอินเวอร์เตอร์



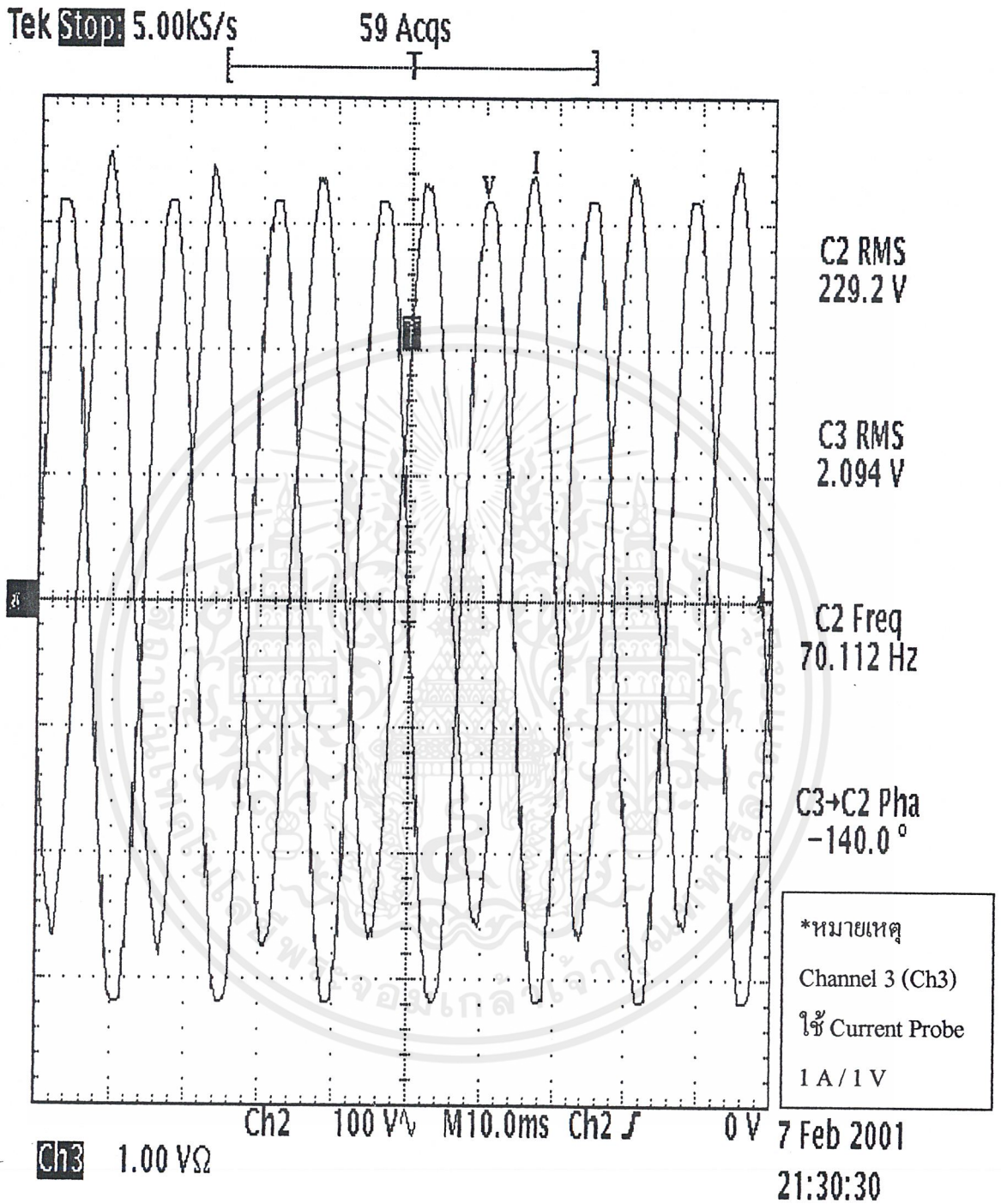
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความถี่ต่ำสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถคืนกำลังงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความถี่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สามารถคืนกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความถี่เกินพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สามารถคืนกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.2.4

แสดงให้เห็นว่าเราสามารถนำเอาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาควบคุมโดยใช้อินเวอร์เตอร์ในการปรับความถี่ตลอดช่วง 50 – 10 HZ เพื่อชาร์จแบตเตอรี่ ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองเมื่อนำเอาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำการเก็บพลังงานเข้ากับแบตเตอรี่เมื่อคิดเวลาในการชาร์จ

Nr	f	Phase U			Phase V			Phase W			P _{3Ø}	ขณะชาร์จ		เวลาในการชาร์จ	แรงดันก่อนชาร์จ	แรงดันหลังชาร์จ
		V _U	I _U	Ø _U	V _V	I _V	Ø _V	V _W	I _W	Ø _W		I _{DC}	V _{DC}			
1600	50	220	2.18	-127	220.2	2.14	-131	220.2	2.17	-128	890	2.8	301	275	292	
1294	40	175.6	2.09	-129	177.4	2.12	-126	178	2.12	-126	680	2.1	299	275	287	
991	30	134	2	-130	134.4	2.1	-123	134.8	2.35	-125	503	1.5	296	275	285	
678	20	87.6	2.01	-124	87.8	2	-117	88.2	1.95	-119	260	0.7	287	275	280	
397	11	46	1.95	-109	46.8	1.96	-113	46.8	1.99	-109	98	0.1	278.2	275	278	

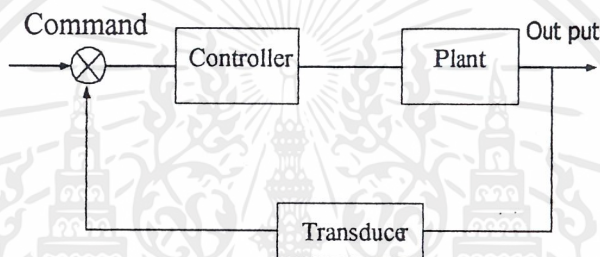
สรุปผลการทดลอง 4.2.4 เราสามารถนำเอาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายมาเก็บเข้าแบตเตอรี่ได้และเมื่อพิจารณาเวลาในการชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ด้วยแล้วนั้นจะเห็นว่าที่ความถี่ในการสร้างสนามแม่เหล็กที่สูงจะมีแรงดันที่แบตเตอรี่เพิ่มขึ้นมากกว่าที่ความถี่ต่ำ และนอกจากนั้นเราจำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณลักษณะของแบตเตอรี่ด้วยว่าสามารถทนแรงดันในการชาร์จได้มากน้อยเพียงใด แต่ขอบเขตของโครงการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ก็มีจุดประสงค์หลักคือต้องการให้อินเวอร์เตอร์เป็นตัวเปลี่ยนความถี่ในการสร้างสนามแม่เหล็กหมุนเพื่อจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถกินกำลังงานได้ตลอดช่วงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงจาก 50 – 10 Hz

บทที่ 5

ระบบควบคุม

5.1 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control)

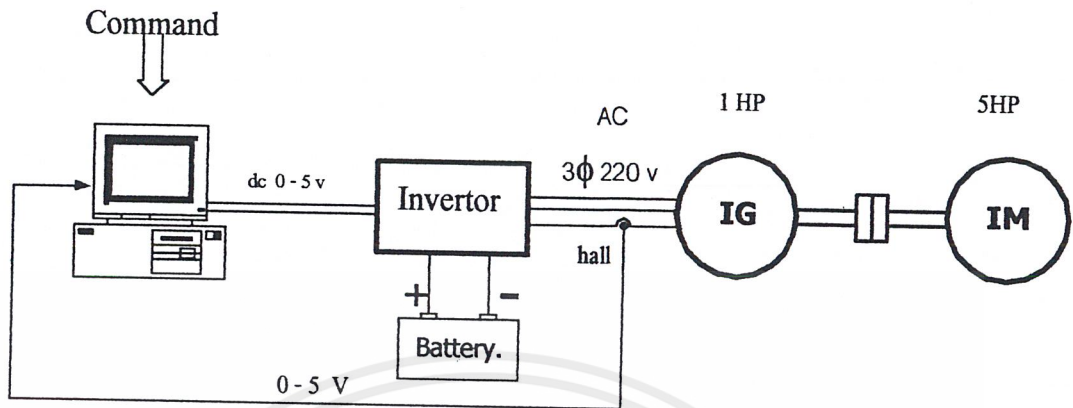
โดยทั่วไปมีลักษณะคือ



รูปที่ 5.1 แสดงระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

ในโครงการนี้ ระบบที่จะควบคุมของก็คือมอเตอร์ 3 เฟส แบบเหนี่ยวนำ (Induction motor) โดย ตัวควบคุม (controller) ซึ่งก็คืออินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ซึ่งควบคุมให้มอเตอร์ทำงานในช่วงของ อินดัคชันเจนเนอเรเตอร์ (Induction Generator) ตลอดเวลา ทรานควิเซอร์ได้แก่ ตัวตรวจจับ เช่น ความเร็ว กระแส แรงดัน และกำลังงาน

Command คือ คำสั่งที่เราป้อนให้คอมพิวเตอร์โดยผ่านทาง ซอฟต์แวร์(Software) โดยที่ซอฟต์แวร์นั้นจะต้องรับข้อมูลพารามิเตอร์มาจากอุปกรณ์ทรานควิเซอร์ เพื่อนำมาประมวลผลและส่งสัญญาณไปควบคุมอินเวอร์เตอร์ (Inverter)



รูปที่ 5.2 แสดงการอินเวอร์เฟส

5.2 หน้าที่และการทำงานของอุปกรณ์

มอเตอร์

1Hp 3 ϕ 380/220 Y/ Δ 4 Pole 50 Hz 1400 รอบต่อนาที 2 แอมแปร์ อุณหภูมิห้อง 40 องศาเซลเซียส ฉนวน class B พิกัดทำงานแบบต่อเนื่อง จะถูกควบคุมความถี่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยที่โรเตอร์ จะถูกควบคุมด้วยมอเตอร์อีกทีหนึ่ง ซึ่งจำลองว่าเป็นพลังงานจากธรรมชาติ (พลังงานน้ำหรือ พลังงานลม)

อินเวอร์เตอร์ 3 ϕ 220 v

เป็นอินเวอร์เตอร์สำเร็จรูป ทำหน้าที่ควบคุมสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของมอเตอร์ และรับพลังงานที่มอเตอร์ป้อนกลับ ไปชาร์จเก็บไว้ที่แบตเตอรี่ โดยผ่านทาง Dc link ของอินเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์จะควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

แบตเตอรี่ (ข้อมูล)

แบตเตอรี่ 12v 7.2 Ah จำนวน 24 ลูก ต่ออนุกรมกัน ต่อขนานกับชุด Dc link ของอินเวอร์เตอร์ รับพลังงาน ที่เหลือจากการจากไฟเลี้ยงวงจรของตัวอินเวอร์เตอร์

Hall current sensor (Nana electronic Co.LTD)

SY-05 $\pm 5A$ 4V $\pm 1\%$ at RC = 10 กิโลโอมม V_{cc} ± 15 VDC ทำหน้าที่ ตรวจจับกระแสของมอเตอร์ให้ผลที่ได้ 4 VDC ที่ พิกัดกระแส

Computer

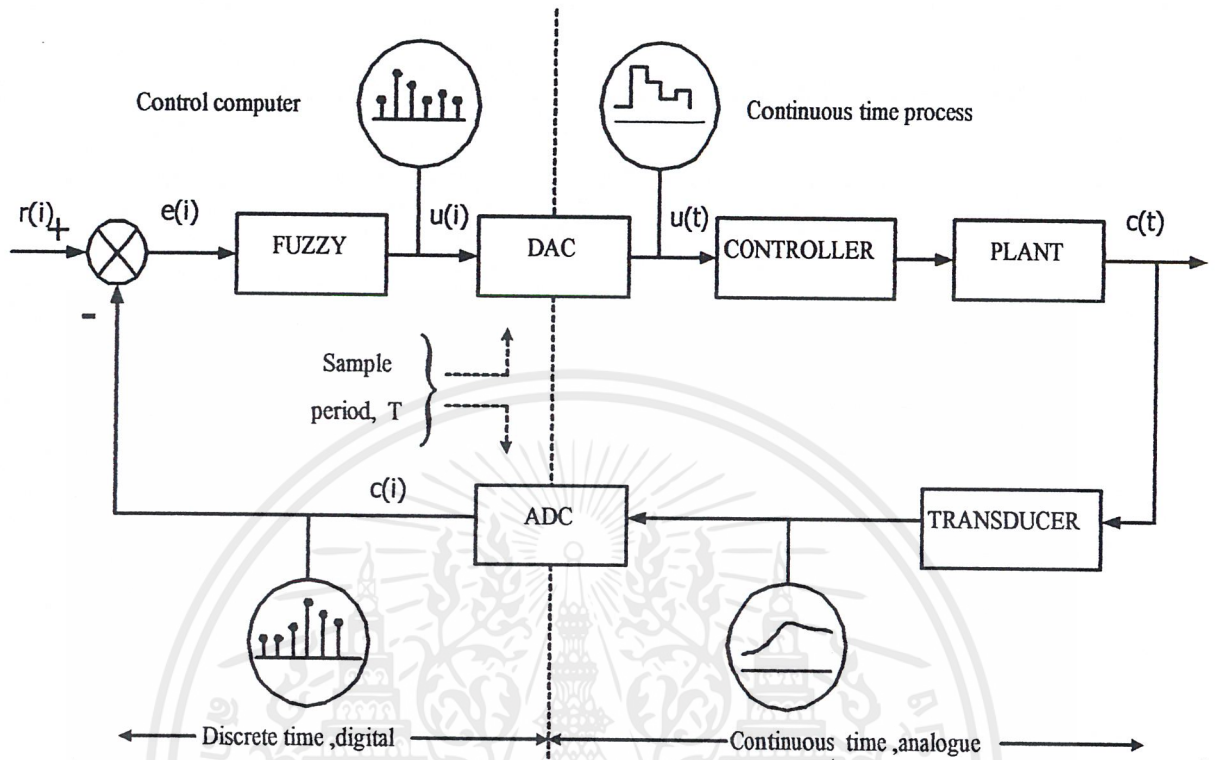
pentium 133 MHz Ram 32 Mb ทำหน้าที่ประมวลคำสั่งจาก Solf ware และพารามิเตอร์ที่รับจาก ทรานควิวเซอร์ เพื่อไปควบคุมอินเวอร์เตอร์

Solf ware

ใช้ภาษาซี ใน Mode dos เพราะเป็นภาษาที่เข้าถึง Hard waer ของคอมพิวเตอร์ได้ง่าย ความเร็วไม่แพ้ภาษาแอสเซมบลี และขนาดของโปรแกรมมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับภาษาอื่นๆ

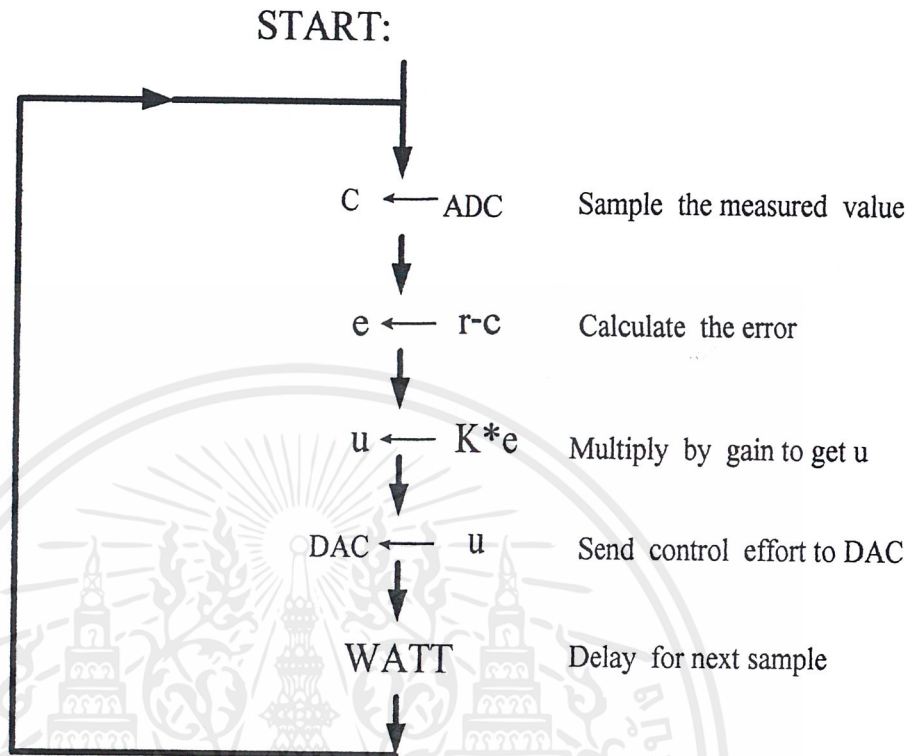
ระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

ภายในคอมพิวเตอร์จะประมวลผลด้วยระบบดิจิทัล แต่อุปกรณ์ Hard waer จากภายนอกที่มาติดต่อกับคอมพิวเตอร์นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมและส่งสัญญาณด้วยระบบอนาล็อก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณคอมพิวเตอร์ และสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก อุปกรณ์ที่ว่านี้ก็คือ การ์ดอินเตอร์เฟส



รูปที่ 5.3 แสดงการอินเตอร์เฟสระหว่างสัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิตอล

นอกจากเรื่องของระบบสัญญาณที่แตกต่างกันแล้ว ยังมีเรื่องของเวลาในการประมวลผลเร็วมาก ดังนั้นในแต่ละรอบการทำงานจะต้องมีหน่วยเวลา เพื่อรอผลตอบสนองของ Plant หรือ Hardware ภายนอก ค้าง Flow chart ข้างล่าง



รูปที่ 5.4 แสดง Flow chart diagram proportional Control

Interface Card

ลักษณะการทั่วไปของการ์ดอินเทอร์เฟซ

การ์ดอินเทอร์เฟซเป็นการ์ดที่ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องพีซี เพื่อขยายระบบอินพุตและเอาต์พุตให้ใช้งานได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งการ์ดอินเทอร์เฟซสามารถที่จะรับสัญญาณอินพุตและให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาได้ทั้งในรูปแบบของอะนาล็อกและดิจิตอล ทำให้มีความคล่องตัวในการทำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ได้มากยิ่งขึ้น การ์ดอินเทอร์เฟซ มีอุปกรณ์ร่วมและจุดเด่นๆ ของตัวมันเองดังนี้

- มีพอร์ต 8255 จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถที่จะ โปรแกรมให้เป็น ได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตตามความต้องการของผู้ใช้เองได้ทั้งหมด 3 พอร์ต หรือ 24 บิต
- มีชิพ 8253 จำนวน 1 ตัวทำให้สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานการ์ดเกี่ยวกับระบบฐานเวลาต่างๆ ได้มากมายเช่น กำหนดให้ทำงานเป็นวงจรถ่ายฐานเวลา, เป็นวงจรรับ, สร้างสัญญาณอินเตอร์

- รหัสให้เครื่องพีซี สร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม เป็นคีน ซึ่ง 8253 นี้ มีโครงสร้างภายในให้ใช้งานถึง 3 ช่อง และแต่ละช่องทำงานแยกจากกันอย่างอิสระ
- มีชิพ ADC จำนวน 1 ตัว สามารถเลือกใช้ได้ 2 เบอร์ คือ ADC804 หรือ ADC1001 ทำให้การ์ดอินเตอร์เฟส สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานในการตรวจจับ หรือการวัดสัญญาณหรือการรับสัญญาณอินพุตในรูปของสัญญาณอะนาลอก ได้ 1 ช่อง โดยสามารถรับขนาดของสัญญาณอะนาลอกได้โดยตรงสูงถึง 5 โวลต์ หรือมากกว่าถ้ามีการเพิ่มวงจรขยายย่านวัดเข้าไปอีกเล็กน้อย จึงทำให้การ์ดอินเตอร์เฟสสามารถประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัดสัญญาณต่างๆ ได้มากมาย เช่น วัดแรงดัน, กระแส, ความต้านทาน, ค่าความจุไฟฟ้า, อุณหภูมิ ฯลฯ ผลของการวัดปริมาณต่างดังกล่าวสามารถที่จะนำมาเก็บเป็นแฟ้มข้อมูลหรือแสดงผลในรูปแบบอื่นๆ ได้ตามต้องการ โดยผู้ใช้ต้องเขียนโปรแกรมควบคุมเอง
 - มีชิพ DAC จำนวน 1 ตัวสามารถเลือกใช้ได้ 2 เบอร์คือ DAC0832 เลือกโดยการใช้จัมเปอร์ทำให้การ์ดอินเตอร์เฟสสามารถที่จะประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่างๆ โดยส่งสัญญาณในรูปของอะนาลอกออกไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอกอะนาลอก ผู้ใช้สามารถปรับขนาดของสัญญาณได้ตั้งแต่ 0-10.66 โวลต์
 - มีวงจรถอดรหัสตำแหน่งของพอร์ตที่จะใช้งาน ทำให้สะดวกในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของพอร์ต และสามารถที่จะนำการ์ดอินเตอร์เฟสนี้ต่อร่วมกับเครื่องพีซี ได้มากกว่า 1 การ์ด โดยกำหนดพอร์ตที่จะใช้งานได้แตกต่างกัน
 - มีพื้นที่บนการ์ดขนาด 5×9 เซนติเมตร สำหรับต่อวงจร หรือเพิ่มอุปกรณ์เพื่อช่วยในการขยายระบบหรือควบคุมอุปกรณ์

การทำงานของการ์ดอินเตอร์เฟส

รูปที่ 1 เป็นวงจรของการ์ดอินเตอร์เฟส เนื่องจากการ์ดนี้ต้องติดตั้งลงในสล็อตของเครื่องพีซี ดังนั้นส่วนแรกที่จะกล่าวถึง คือส่วนติดต่อกับพีซี โดยผ่านทางบัสข้อมูล, แอแดปเตอร์และบัสสัญญาณควบคุมต่างๆ U_1 ไอซีเบอร์ 74LS245 ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ของบัสข้อมูล D_0-D_7 โดยได้รับการควบคุมจากอินเวินต์จาก U_{4B} ไอซีเบอร์ 74LS139 ซึ่งก็ได้รับสัญญาณ XA_1 จาก U_2 ไอซีเบอร์ 74LS245 โดยตัว U_2 นี้ ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ของสัญญาณแอแดปเตอร์ A_0-A_3 และสัญญาณควบคุม IOR, IOW, RES และ AEN สัญญาณ A_2 และ A_3 จากบัสของพีซีเมื่อผ่าน U_2 จะไปเข้า U_{4B} เพื่อถอดรหัสไปอินเวินต์ให้ U_3 ชิพ 8255, U_6 ชิพ 8253 หรือ U_{10} ชิพ DAC0832 ทำงาน

ส่วนการถอดรหัสตำแหน่งของการ์ดนี้เป็นหน้าที่ของ U_3 ไอซีเบอร์ 74LS688 โดยตัว U_3 เองเป็นไอซีเปรียบเทียบข้อมูลขนาด 8 บิต โดยวงจรจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่าง A_4-A_{11} ของบัสพีซี กับข้อมูลที่กำหนดโดยคิพสวิทช์ SW_1 หากข้อมูลจากทั้ง 2 แหล่งตรงกัน เอาต์พุต $P=Q$ ที่ขา 19 ของ U_3 จะเป็นลอจิก "0" ไปอินเอาต์ U_{4A} ซึ่งก็จะทำให้พอร์ตต่างๆบนการ์ดทำงานได้ (สำหรับการเลือกแอดเดรสตำแหน่งของพอร์ตจะอธิบายภายหลัง)

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติของการ์ดอินเตอร์เฟส

พารามิเตอร์	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	หน่วย
ระดับลอจิกต่ำทางอินพุต	0.5	0.8	โวลต์
ระดับลอจิกสูงทางอินพุต	2.0	5.5	โวลต์
ระดับลอจิกต่ำทางเอาต์พุต	-	0.45	โวลต์
ระดับลอจิกสูงทางเอาต์พุต	2.4	5.0	โวลต์
ความถี่อินพุต	-	2.6	เมกะเฮิรตซ์
แรงดันอะนาลอกอินพุต			
VI+	0	5	โวลต์
VI-	0	5	โวลต์
แรงดันอะนาลอกเอาต์พุต	0.1	10.67	โวลต์
แรงดันอ้างอิง/2(DAC)	-	2.50	โวลต์
แรงดันอ้างอิง/2(ADC)	0.1	2.50	โวลต์

ไฟเลี้ยง (V_{cc})	:	+5 โวลต์
	:	± 12 โวลต์
ขนาด	:	9 × 22 เซนติเมตร
จำนวนพอร์ตคิพจิตอล	:	3 พอร์ต(24บิต)
ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ	:	3 ช่อง
อินพุตอะนาลอก	:	1 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาต์พุตอะนาลอก : 1 ช่อง
ตำแหน่งพอร์ต : เลือกได้ 8 ตำแหน่ง โดยการใช้ ดิพสวิทช์บนการ์ด

พอร์ตเอนกประสงค์ 8255

U_5 เบอร์ 8255 จะทำงานได้ก็ต่อจ้ได้รับสัญญาณ CS จาก U_{4A} ส่วนสัญญาณ \overline{RD} , \overline{WR} , \overline{RESET} จะได้จาก U_2 ส่วนสัญญาณแอดเดรส และ $A1$ ก็ได้จาก U_2 เช่นกัน สัญญาณข้อมูล D_0-D_7 จะได้จาก U_1 ซึ่งสัญญาณนี้จะได้รับการปรับให้ถูกต้องโดยบัฟเฟอร์ U_1 และมีการพูลอัพด้วย RP_1 10k เพื่อให้สัญญาณมีความแน่นอนมากยิ่งขึ้น

ส่วนขาสัญญาณของพอร์ต ไม่ว่าจะเป็น PA_0-PA_7 , PB_0-PB_7 และ PC_0-PC_7 และ PC_0-PC_7 จะได้รับการพูลอัพด้วยตัวต้านทาน RP_3-RP_5 10k ทั้งหมด ทั้งนี้ก็ด้วยจุดประสงค์เดียวกันคือให้สัญญาณมีความแน่นอนขึ้น

เมื่อต้องการต่อใช้งานพอร์ตของ 8255 ให้ต่อสายสัญญาณได้ที่คอนเน็กเตอร์ CN_1 ขนาด 34 ขา ตำแหน่งขาระบุไว้ในวงจรแล้ว

ส่วน DAC และ ADC

U_{10} ชิพเบอร์ DAC0832 เป็นชิพที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอก ขนาด 8 บิต โดยข้อมูลดิจิทัลจะได้อมาจาก U_1 เช่นเดียวกับ 8255 แรงดันอ้างอิงจะใช้ 2.5 โวลต์ต่อเข้าที่ขา 8 เอาต์พุตของ U_{10} ออกมาที่ขา I_{OUT1} ขาที่ 11 แล้วผ่าน U_{11A} ไอซีออปแอมป์เบอร์ LM358N เพื่อเปลี่ยนกระแสให้เป็นแรงดันจากนั้นก็ไปเข้า U_{11B} ขยายให้แรงดันแรงขึ้น โดยผู้ใช้สามารถปรับอัตราขยายได้ที่ VR_2 10k ก็จะได้สัญญาณอะนาลอกออกมาที่ขา 7 ของ U_{11B}

ในส่วน DAC นี้ ผู้ใช้งานสามารถเลือกขนาดข้อมูลดิจิทัลเป็น 12 บิตได้แต่ต้องเปลี่ยนชิพจาก DAC1232 แล้วเลือกตำแหน่งจัมเปอร์ JP_1 ใหม่ดังแสดงไว้ในวงจรแล้ว ที่ระบายนค่า หมายถึง ปลดปล่อยไว้ ส่วนที่เป็นช่องสี่เหลี่ยมขาวหมายถึงให้ต่อจัมเปอร์ U_{10} ได้รับสัญญาณอีนาเบิล CS จาก U_{7A} เบอร์ 74LS32 ซึ่งก็ได้มาจากการอ (OR) ของสัญญาณลอครหัส Y_2 ไอซี U_{4A}

สำหรับกระบวนการ ADC บนการ์ดอินเตอร์เฟสจะเป็นหน้าที่ของ U_9 ชิพเบอร์ ADC0804 ซึ่งเป็นชิพแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต หากต้องการเป็น 10 บิต ก็ใช้ชิพเบอร์ ADC1001 แทนสัญญาณอีนาเบิล ให้ U_9 คือสัญญาณ CS จะได้อมาจากการแอนด์กันระหว่างสัญญาณ Y_2 จาก U_{4A} กับสัญญาณ Y_1 จาก U_{4B} ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยง การทำงานซ้ำซ้อนกันกับส่วน DAC โดยจะต้องต่อจัมเปอร์

JP₂ เพื่อตั้งโหมดของ FREE RUN ซึ่งทำให้สัญญาณ RD , INTR , WR และ CS สามารถต่อเข้า U₁ เพื่อควบคุมการทำงานได้

แรงดันอ้างอิงของ U₁ ถูกกำหนดด้วย JP₃ ซึ่งเลือกได้ระหว่างค่า 2.5 โวลต์ และค่าแรงดันอ้างอิง /2 จากภายนอก ส่วนแรงดัน VI ก็เช่นกันเลือกได้ 2 ตัว คือ VI - จากภายนอกและกราวด์โดยเลือกได้ที่จัมเปอร์ JP₁₀

เอาต์พุตของ U₁ ออกมาที่ขา DB₀-DB₇ ต่อเข้ากับบัสข้อมูล XD₇ ผ่าน U₁ ได้สัญญาณ D₀-D₇ ป้อนเข้าบัสของพีซีต่อไป

แรงดันอ้างอิง 2.5 โวลต์ ที่ใช้ในส่วนของ DAC และ ADC ได้มาจาก IC₁ LM336 ต่อร่วมกับ R₄, C₃ และ VR₁

8253 ตัวนับและตั้งเวลา

เช่นเดียวกับ 8255 U₆ 8253 ได้รับบัสข้อมูลจาก U₁ สัญญาณควบคุม XIOR , XIOW , XAO และ XA1 ได้จาก U₂ ส่วนสัญญาณ CS ได้จากการถอดรหัสของ U_{4A}

สำหรับสัญญาณ CLK , GATE ได้มาจากภายนอก โดยผ่านทางคอนเน็กเตอร์ CN₂ 20ขา และสัญญาณเอาต์พุต XOUT₀-XOUT₂ ก็ต่อเข้ากับ CN₂ เช่นกัน ดังนั้นถ้าผู้ใช้ต้องการสัญญาณไปใช้งานก็สามารถต่อได้จาก CN₂ นี้

การทำงานในโหมดอินเทอร์รัพต์

การทำงานที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการทำงานในโหมด FREE RUN หรือโหมดการทำงานปกติทั้งหมด หากต้องการทำงานในโหมดอินเทอร์รัพต์ก็ต้องมีการสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพต์ป้อนกลับเข้าไปที่บัสของพีซี คือ ขา IRQ₂-IRQ₇ โดยเลือกได้จาก JP₆

ชิพที่จะทำงานกับโหมดนี้ก็คือ 8253 จะต่อเข้ากับจัมเปอร์ JP₇ เพื่อใช้เป็นสัญญาณอินเทอร์รัพต์ สัญญาณอินเทอร์รัพต์นี้มาได้จาก 2 แหล่ง คือ จาก JP₇ ซึ่งก็มาจาก 8253 กับสัญญาณ IRQ ของวงจร ADC ซึ่งมาจาก U₁ เมื่อทำงานในโหมด อินเทอร์รัพต์ มันจะกำเนิดสัญญาณ INTR แล้วผ่าน U_{8C} เป็น \overline{IRQ} ป้อนผ่าน JP₃ แล้วเข้าสู่บัสสัญญาณอินเทอร์รัพต์ต่อไป

การเลือกแอดเดรสของการ์ด

ตำแหน่งของพอร์ตบนการ์ดจะใช้ไอซี U_3 , U_4 , U_7 และคิพสวิทช์ SW_1 ต่อกันเป็นวงจรถอดรหัสแอดเดรส โดย SW_1 เป็นตัวกำหนดหมายเลขแอดเดรสของพอร์ตตามความต้องการของผู้ใช้ โดยในการ์ดอินเตอร์เฟส จะใช้ตำแหน่งของพอร์ต ทั้งหมด 12 พอร์ต คือ

XX0H = พอร์ต PA ของ 8255

XX1H = พอร์ต PB ของ 8255

XX2H = พอร์ต PC ของ 8255

XX3H = พอร์ตควบคุมของ 8255

XX4H = พอร์ตตัวนับ 0 ของ 8253

XX5H = พอร์ตตัวนับ 1 ของ 8253

XX6H = พอร์ตตัวนับ 2 ของ 8253

XX7H = พอร์ตควบคุมของ 8253

XX8H = พอร์ตควบคุมDAC

XXAH = พอร์ตควบคุมADC

XXBH = พอร์ตควบคุมADC

ผู้ใช้งานที่จะกำหนดเบอร์พอร์ตได้ โดยการกำหนดระดับลอจิก ให้กับแอดเดรสต่างๆ ตามความต้องการ ซึ่งบนการ์ดอินเตอร์เฟส สามารถที่จะกำหนดระดับของลอจิกให้ตรงกับแอดเดรสใดๆ โดยใช้ SW_1 ซึ่งหาก SW_1 “ON” SW_1 จะได้ระดับลอจิก “0” หาก “OFF” SW_1 จะได้ระดับลอจิก “1”

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการกำหนดแอดเดรสพอร์ตเป็น 300H ให้ปฏิบัติดังนี้

- กำหนดระดับลอจิกให้กับแอดเดรสต่างๆ ให้เท่ากับ 300H คือ A_{11} และ A_{10} เป็น “0” A_9 และ A_8 เป็น “1” A_7 - A_4 เป็น “0” ส่วน A_3 - A_0 ถูกกำหนดด้วยไอซี U_4 เบอร์ 74LS139 อีกทีหนึ่ง ดังนั้น SW_1 จึงมีหน้าที่เลือกแอดเดรสเพียง 2 หลักเท่านั้น ตามตัวอย่างจะได้ข้อมูลเป็น 0011 0000 XXXX คือ 30XH
- ตั้งสวิทช์เพื่อกำหนดลอจิกให้แอดเดรส ตาม (1) นั่นคือ SW_1 ตำแหน่ง A_4 - A_7 “ON” ตำแหน่ง A_8 และ A_9 “OFF” และตำแหน่ง A_{10} และ A_{11} “ON” เมื่อเรากำหนดแอดเดรสให้การ์ดอินเตอร์เฟส แล้วการใช้งานอุปกรณ์ใดๆบนการ์ดอินเตอร์เฟส ต้องอ้างตำแหน่งนั้นเสมอๆ เช่น ถ้ากำหนด

ให้การ์ดอินเตอร์เฟสทำงานที่ตำแหน่ง 300H (SW1) “ON” ที่ตำแหน่ง 1 , 2 , 3 , 4 , 7 , 8 และ “OFF” ที่ตำแหน่ง 5 และ 6 จะมีผลทำให้แอดเดรสของพอร์ตต่างๆ เป็นดังนี้ คือ

300H = พอร์ต PA ของ 8255

301H = พอร์ต PB ของ 8255

302H = พอร์ต PC ของ 8255

303H = พอร์ตควบคุมของ8255

304H = พอร์ตตัวนับ 0 ของ8253

305H = พอร์ตตัวนับ 1 ของ8253

306H = พอร์ตตัวนับ 2 ของ8253

307H = พอร์ตควบคุมของ 8253

308H = พอร์ตควบคุมของDAC

309H = พอร์ตควบคุมของDAC

30AH = พอร์ตควบคุมของADC

30BH = พอร์ตควบคุมของADC

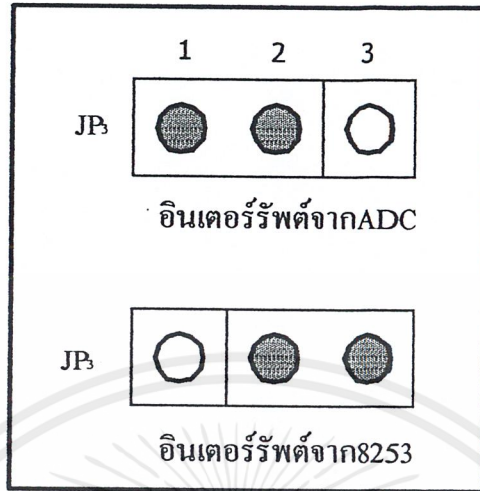
การตั้งค่าและการปรับแต่งการ์ดอินเตอร์เฟส

เริ่มที่บรรดาจัมเปอร์ทั้งหมดก่อน

JP₁ : DAC Select ใช้สำหรับเลือกเบอร์ของ U₁₀ว่าจะใช้เบอร์ DAC0832 หรือ DAC1232

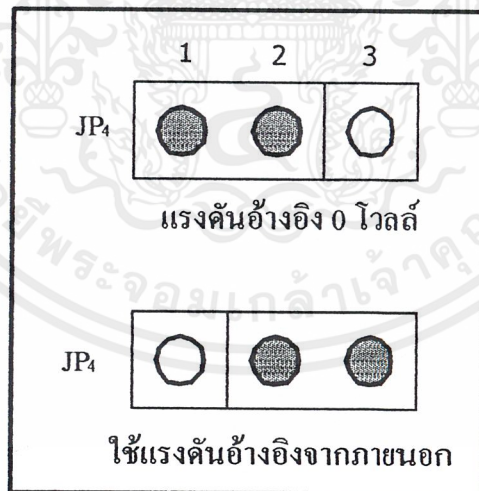
JP₂ : ADC Select Mode ใช้สำหรับเลือกโหมดการทำงานของไอซีADCว่าจะให้ทำ JP₂งานใน โหมดปกติ หรืองานในโหมดอินเตอร์รัพต์

JP₃ : Interrupt Select ใช้เลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัพต์ โดยเลือกว่าจะใช้สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากADCหรือ8253 โดยมีวิธีการดังรูป



รูปที่ 5.5 แสดงการเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัพต์

JP₄ : Vi Select ใช้เลือก VI สำหรับวงจร ADC ระหว่าง 0 โวลต์ หรือ VI จากภายนอกที่ต่อเข้ามาทาง CN₂ วิธีการเลือกแสดงดังรูป



รูปที่ 5.6 การเลือกแรงดันอ้างอิงให้ DAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JP₅ : Vref/2 Select ใช้สำหรับเลือกแรงดันอ้างอิง (Vref/2) ให้กับ ADC ระหว่าง แรงดันอ้างอิงมาตรฐาน 2.5 โวลต์ บนการ์ดอินเทอร์เฟสเอง หรือแรงดันอ้างอิงจากภายนอก ซึ่งต่อเข้ามาทาง CN₂ สำหรับแรงดันอ้างอิงจากภายนอกต้องมีค่าไม่เกิน 2.5 โวลต์

JP₆ : Interrupt Number Select ใช้สำหรับเลือกเบอร์ของสัญญาณอินเทอร์รัพท์ที่ต้องการจะส่งให้เครื่องพีซี ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การเลือกต่อจัมเปอร์ JP₆ เพื่อเลือกเบอร์อินเทอร์รัพท์บนพีซี

เบอร์อินเทอร์รัพท์	ตำแหน่งของJP6 ที่ต้องต่อจัมเปอร์
IRQ2	11-12
IRQ3	1-2
IRQ4	3-4
IRQ5	5-6
IRQ6	7-8
IRQ7	9-10

JP₇ : 8253 SET-UP ใช้เลือกสัญญาณให้8253 ซึ่งมีทั้งหมด 2 กลุ่ม สัญญาณด้วยกันคือ กลุ่มสัญญาณเอาร์พุด กลุ่มสัญญาณเอาต์พุดและกลุ่มสัญญาณเกต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กลุ่มของสัญญาณเอาต์พุด ใช้เลือกว่า จะให้สัญญาณเอาต์พุดของ 8253 ซึ่งมีทั้งหมด 3 เอาต์พุด (OUT₀,OUT1และOUT2)ออกไปใช้งานควบคุมอุปกรณ์อื่นๆภายนอกหรือส่งสัญญาณ ไปอินเทอร์รัพท์เครื่องพีซี การกำหนดทำได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 การเลือกต่อจัมเปอร์ JP₇ เพื่อกำหนดลักษณะเอาต์พุตของ 8253

ช่องเอาต์พุต	ตำแหน่งของ JP ₇ ที่ต่อจัมเปอร์เมื่อ	
	ต้องการเอาต์พุตไป อินเตอร์รัพต์พีซี	ต้องการเอาต์พุต ส่งไปภายนอก
OUT0	7-8	8-9
OUT1	4-5	5-6
OUT2	1-2	2-3

กลุ่มของสัญญาณเกิดใช้เลือกว่าจะให้สัญญาณเกิดของ 8253 ซึ่งมีทั้งหมด 3 ช่อง (GATE₀, GATE₁ และ GATE₂) ทำงานตลอดเวลาตามสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนเข้ามาเพียงอย่างเดียว (เหมาะที่จะใช้กับกรณีที่ใช้โปรแกรมให้ 8253 ทำงานสร้างสัญญาณอินเตอร์รัพต์ หรือโหมดอื่นๆ ที่ไม่ต้องการการควบคุมจากภายนอก) หรือจะให้สัญญาณเกิดถูกควบคุมจากสัญญาณภายนอกการกำหนดค่าทำได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 การต่อจัมเปอร์ JP₇ เพื่อกำหนดการต่อสัญญาณเกิดของ 8253

ช่องเอาต์พุต	ตำแหน่งของ JP ₇ ที่ต่อจัมเปอร์เมื่อ	
	ป้อนสัญญาณเกิดตลอดเวลา	ต่อสัญญาณเกิดไปภายนอก
GATE0	16-17	17-18
GATE1	13-14	14-15
GATE2	10-11	11-12

การปรับแต่งแรงดันอ้างอิง

การ์ดอินเตอร์เฟสมีวงจรควบคุมแรงดันอ้างอิง ซึ่งประกอบอยู่ในตัวเรียบร้อยแล้ว ใช้ไอซี LM336 เป็นอุปกรณ์หลัก โดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR₁) เป็นตัวปรับแต่งค่าแรงดันอ้างอิง ซึ่งขนาดของแรงดันอ้างอิงนี้ กำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 2.5 โวลต์ ใช้เป็นค่าแรงดันอ้างอิงของ U₁ ซึ่งการปรับ

แต่งค่าแรงดันอ้างอิงนี้ ทำได้โดยการใช้โวลต์มิเตอร์ วัดเทียบระหว่างกราวด์กับจุดกำเนิดแรงดันอ้างอิง 2.5 โวลต์ หรือขา 8 ของDAC0832 หรือขา 1 ของJP, แล้วทำการปรับVR₁จนได้แรงดัน 2.5 โวลต์พอดี

การปรับแต่งขนาดของสัญญาณอะนาลอก

สัญญาณอะนาลอกที่ได้จากส่วนDACมีวงจรมีขนาดของสัญญาณให้สูงขึ้น เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานต่างๆ ได้ดีขึ้นซึ่งขนาดของสัญญาณนี้สามารถกำหนดและปรับแต่งได้ตั้งแต่ 0-10.6 โวลต์ โดยประมาณ การปรับแต่งขนาดของสัญญาณอะนาลอกของDACทำได้โดย

1. กำหนดค่าสัญญาณสูงสุดที่ต้องการใช้
2. ส่งค่า DATA = FFH ให้พอร์ตควบคุมของDAC
3. ปรับVR₂ ให้ได้ขนาดของสัญญาณตามต้องการ

การปรับขนาดของสัญญาณอะนาลอก ต้องทำหลังจากปรับแต่งแรงดันอ้างอิง 2.5 โวลต์ เรียบร้อยแล้ว จึงจะได้ผลที่แน่นอน

5.3 การควบคุมแบบ P (P - Control)

การควบคุม อินดักชันเจนเนอเรเตอร์ ต้องควบคุมให้กระแสของอินดักชันเจนเนอเรเตอร์ ให้ไม่เกิน พิกัดทำงานคือ 2 แอมแปร์ พื้นที่แรงเสียดทานคือส่วนการควบคุมแบบ P เมื่อกระแสอินดักชันเจนเนอเรเตอร์ ไม่เกิน 2 แอมแปร์ ให้ลดความถี่ถึงที่ละ 0.196 Hz ถ้ากระแสเกิน 2 แอมแปร์ ให้เพิ่มความถี่ถึงที่ละ 0.196 Hz และจะมีการตรวจสอบความเร็วที่แกนเพลลา ถ้าความเร็วน้อยกว่า 300 rpm ให้หยุดการทำงาน จะเริ่มทำงานโดยอัตโนมัติอีกครั้ง เมื่อความเร็วที่แกนเพลลามากกว่า 300 rpm เมื่อกดคีย์ใดๆที่เป็นพิมพ์ให้ออกจากการทำงาน

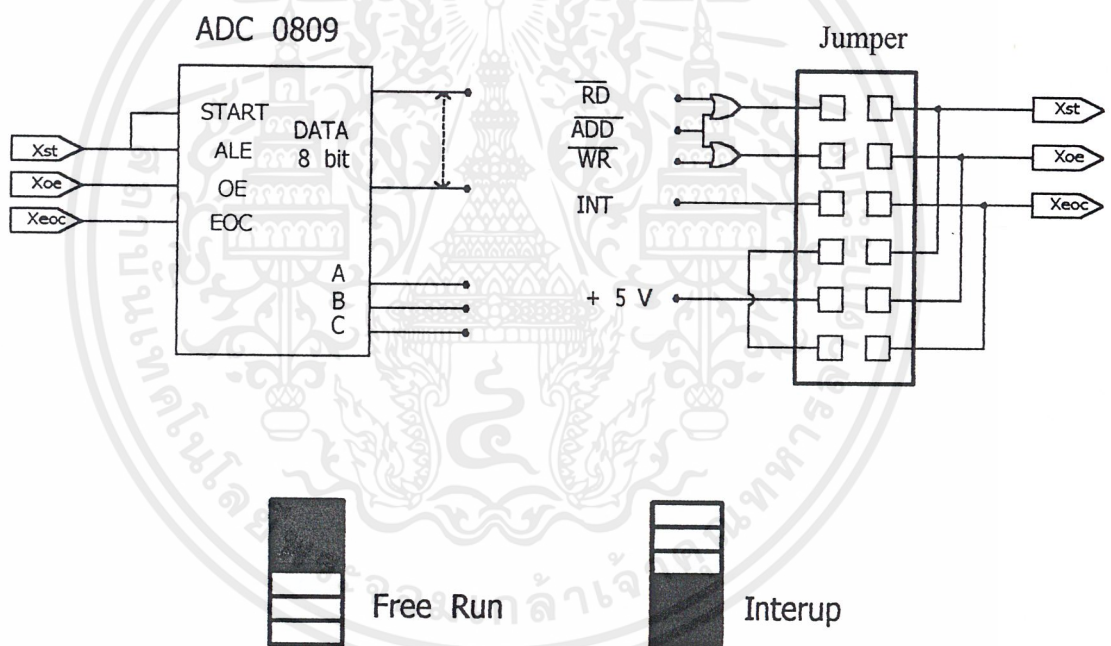
หมายเหตุ พื้นที่แรงเสียดทาน คือส่วนประมวลผลแบบ P ซึ่งจะนำการควบคุมแบบFuzzy logic มาใส่ต่อไป ส่วนการโชว์ค่าส่วนการแสดงค่าต่างๆ จะไม่กล่าวไว้ใน flow chart นี้

5.4 ส่วนเพิ่มเติมของการ์คอินเตอร์เฟส

การ์คอินเตอร์เฟสมี 1 อินพุต และ 1 เอาท์พุต จึงต้องขยายส่วนของอินพุต เพื่อรองรับกับงานคือ 4 อินพุต ได้แก่

- f to V (วงจรเปลี่ยนความถี่เป็นแรงดัน)
- Iac (กระแสของอินดักชันเจนเนอเรเตอร์)
- Idc (กระแสตรงที่คิชิบัส)
- Vdc (แรงดันที่ คิชิบัส)

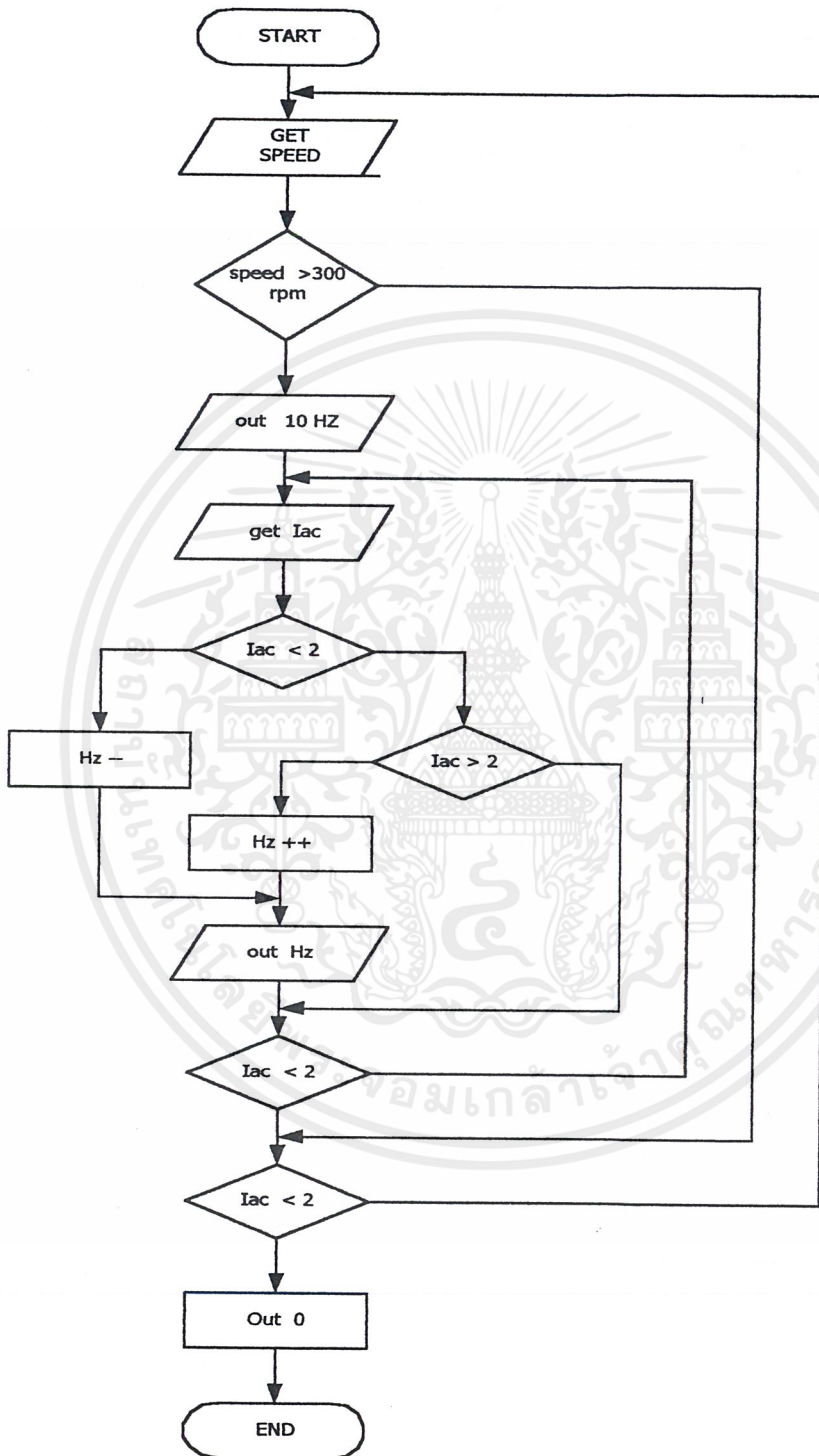
เลือกใช้ IC ADC 0809 ซึ่งมี 8 อินพุต



รูปที่ 5.7 แสดงรูปของไอซี ADC 0809 และ Jumper

การรับส่งข้อมูลจะผ่านพอร์ต PA ของ IC8255 การเลือกอินพุต จะใช้พอร์ต PB ของ 8255 เช่นกัน การใช้งานสามารถเลือกได้ 2 โหมด คือ โหมดอินเทอร์รัพต์ และโหมดฟรีรัน ในโครงการนี้เลือกการใช้งานในโหมดฟรีรัน ตัวอย่างโปรแกรมการใช้ ADC0809 จะต้องเลือกอินพุตของ 0809 ก่อนและหน่วงเวลา ประมาณ 100 μ sec แล้วจึงเลือกข้อมูลมาก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

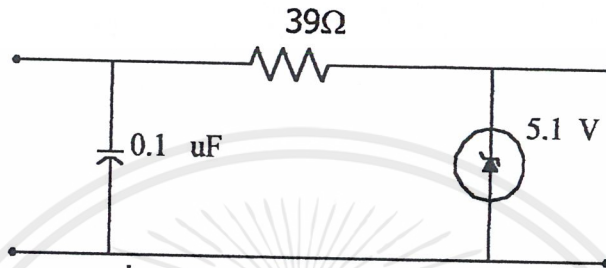


รูปที่ 5.8 แสดง Flow Chart ของการควบคุมอินดักชั่นมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัฟเฟอร์ของADC

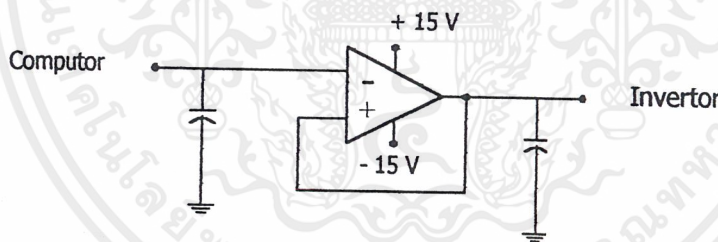
อินพุตของ IC จะรับสัญญาณอนาล็อก 0-5 V ถ้าแรงดันมากกว่า 5 Vdc IC อาจได้รับความเสียหายไปได้จึงต้องใช้ ซีเนอร์ไดโอดป้องกันแรงดันเกินด้วย



รูปที่ 5.9 แสดงวงจรบัฟเฟอร์ของ ADC

บัฟเฟอร์ของDAC

ถ้าเอาต์พุตของคอมพิวเตอร์สัญญาณVDC 0-5 V จะต่อโดยตรงกับอินเวอร์เตอร์ไม่ได้เลย เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ไม่สมดุล (Matching Impedance)



รูปที่ 5.10 แสดงวงจรบัฟเฟอร์ของ DAC

ไอซีบัฟเฟอร์ที่ใช้ควรเป็นตระกูล LF เพราะเป็นชนิด JFET มีคุณสมบัติ high impedance ความต้านทานด้านอินพุตสูง

ฟิลเตอร์ (Filter)

ฟิลเตอร์มีความจำเป็นมาก เพราะสัญญาณที่รับมาจาก อุปกรณ์ทรานซิวเซอร์ต่างๆ จะต้องผ่าน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณ DC ส่วนมากแล้วสัญญาณที่ได้จะมีการแกว่งมาก (ripple) เพราะมีสัญญาณรบกวนและคุณภาพของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีเกรดต่ำ ถ้าสัญญาณอินพุตที่

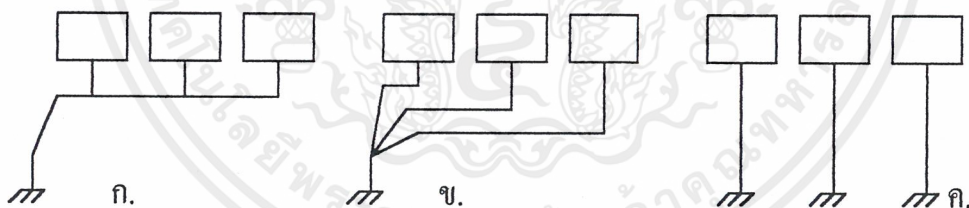
เข้าคอมพิวเตอร์มีการแกว่งมากจะทำให้การควบคุมไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้น อุปกรณ์ทรานควิเซอร์ทุกตัวจะต้องมีวงจรมอเตอร์อยู่ด้วย

การเดินสายกราวด์

การเดินสายกราวด์แบบตีเกรียว จะช่วยลดพื้นที่ปิดที่เกิดจากสายจ่ายไฟ ทั้ง 2 เส้น ซึ่งจะช่วยลดสัญญาณรบกวนที่เหนี่ยวนำขึ้นจากสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ารอบข้าง ถ้ากรณีที่ใช้ตัวถังโลหะเป็นทางเดินของสายกราวด์ ก็จะต้องวางสายจ่ายไฟให้แนบกับกราวด์ที่สุด

ผลของกราวด์ลูปจะทำให้เกิดกระแสไหลในลูปอื่นเนื่องจากความต่างศักย์ที่เกิดจากกระแสกราวด์ กระแสลูปนี้ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างกราวด์ของวงจร และเกิดการเหนี่ยวนำเอาสัญญาณรบกวนจากแหล่งต่างๆเข้ามายังลูป รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงกระแสของวงจรหนึ่งๆ ย่อมจะส่งผลให้กระแสลูปเปลี่ยนแปลงและศักย์ไฟฟ้าที่กราวด์ของวงจรเปลี่ยนแปลงไปด้วย ลักษณะของการเกิดกราวด์ลูปแสดงดังรูป

การลงกราวด์ร่วมกับการชิลด์ดีแล้วสามารถลดสัญญาณรบกวนได้มากมายทีเดียว โดยทั่วไปการลงกราวด์มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ การลงกราวด์จุดเดียวกัน และการลงกราวด์หลายจุด ซึ่งการลงกราวด์เป็นจุดเดียวยังแบ่งได้เป็น การลงกราวด์แบบร่วมกับการลงกราวด์แบบแยก



รูปที่ 5.11 แสดงการเดินสายกราวด์แบบต่างๆ

แบบ ก. ควรหลีกเลี่ยง เนื่องจากทำให้เกิดอิมพีแดนซ์ร่วมทางกราวด์

แบบ ข. เป็นวิธีที่ดี เหมาะกับงานด้านความถี่ต่ำ แต่การเดินสายลำบาก สิ้นเปลือง

แบบ ค. เหมาะกับงานความถี่สูงกว่า 10 เมกะเฮิร์ต

ในงานความถี่ต่ำ จะใช้ทั้งแบบ ก. และแบบ ข. ร่วมกัน โดยมีหลักสำคัญ คือ ต้องแบ่งประเภทของวงจร ที่มีระดับสัญญาณใกล้เคียงกันเอาไว้ด้วยกัน ใช้การเดินสายแบบ ก. แล้วจึงนำสายกราวด์ร่วมของแต่ละปุ่ม มาลงกราวด์ที่จุดจุดเดียว แบบ ข. และควรหลีกเลี่ยงการเดินกราวด์ลูป

บทที่ 6

ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

จะกล่าวถึงสาระสำคัญ 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ทฤษฎีพื้นฐานของฟัซซี่ ตัวควบคุมฟัซซี่

6.1 ทฤษฎีเซตแบบเดิม

6.1.1 เอกภพสัมพัทธ์ (U) คือ เซตของสมาชิกทั้งหมดของขอบเขตที่ทำการพิจารณา

6.1.2 คลิซป์เซต (Crisp set) คือ กลุ่มของสมาชิกที่มีคุณสมบัติตามที่กำหนด ซึ่งสำหรับสมาชิกใด ๆ ในเอกภพสัมพัทธ์สามารถกำหนดได้ว่าเป็นสมาชิกที่กำหนดขึ้นหรือไม่

6.1.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function : μ) คือ ค่าระดับความเป็นสมาชิกของสมาชิกในเซตนั้น โดยมีค่าเป็น 0 หรือ 1 ดังนี้

$$\mu_A(X) = \begin{cases} 1 & ; X \in A \\ 0 & ; X \notin A \end{cases}$$

ตัวอย่างคือถ้าให้ $A = \{2,1,0\}$ จะเห็นได้ว่า 2,1,0 เป็นสมาชิกของ A ดังนั้นมีค่าความเป็นสมาชิก (μ) เท่ากับ 1 ส่วนจำนวนอื่น ๆ เช่น 3,4,5 ... มีความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0

6.2 ทฤษฎีฟัซซี่

6.2.1 ฟัซซี่เซต คือเซตของสิ่งที่เราพูดถึงซึ่งอยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ U โดยความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตนั้นจะถูกบอกด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) โดยนิยามเขียนเป็นคู่ลำดับระหว่าง สมาชิกและฟังก์ชันความเป็นสมาชิกดังนี้

$$F = \{(x, \mu_F(x)) \mid x \in U\}$$

U คือ เอกภพสัมพัทธ์

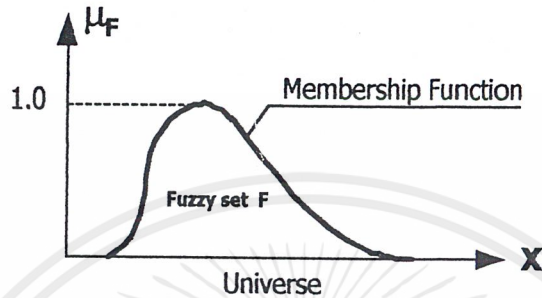
F คือ Fuzzy set

μ_F คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 0 ถึง 1 [0,1]

x คือ สมาชิกใดๆ ในเอกภพสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสัญลักษณ์คณิตศาสตร์ หมายความว่า ฟัซซีเซต F มีสมาชิกเป็นคู่ลำดับระหว่างสมาชิก x ซึ่งอยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ U กับฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_F(x)$ ดังนั้นสามารถวาดกราฟของฟัซซีเซตให้เห็นภาพได้ดังรูป



รูปที่ 6.1 ฟัซซีเซตและฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต

โดยจะเห็นว่าหากสมาชิก x ในเอกภพสัมพัทธ์ที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็นศูนย์หมายความว่าสมาชิก x นั้นไม่อยู่ในฟัซซีเซต F ส่วนสมาชิก x อื่นๆที่อยู่ภายใต้เส้นกราฟก็จะมีค่าความเป็นสมาชิกของเซต F ต่าง ๆ กัน

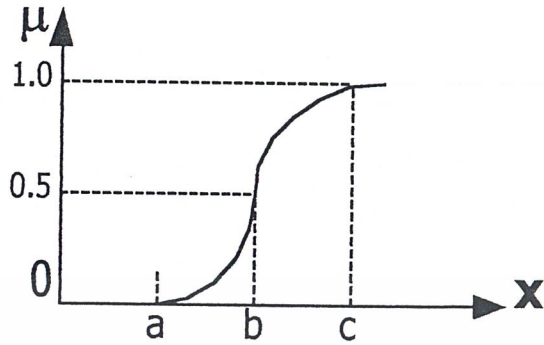
6.2.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต F จะเป็นฟังก์ชันซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างช่วงปิด 0 ถึง 1 เขียนแทนด้วยสมการ

$$\mu_F : U \rightarrow [0,1]$$

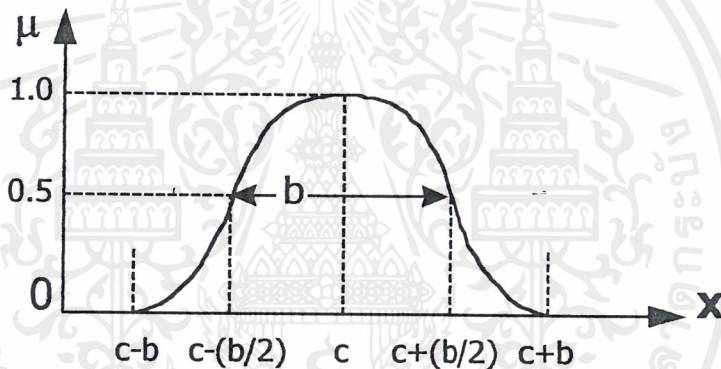
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกหรือค่าความเป็นสมาชิกจะเป็นตัวบอกความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซตว่ามากหรือน้อย เช่น $\mu_F = 0.5$ คือมีความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตครึ่งหนึ่ง เป็นต้น ซึ่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีหลายรูปแบบ (shapes) โดยมีรูปแบบที่นิยมใช้ดังนี้

- S-function
- π - function
- triangular form
- trapezoid form
- exponential form

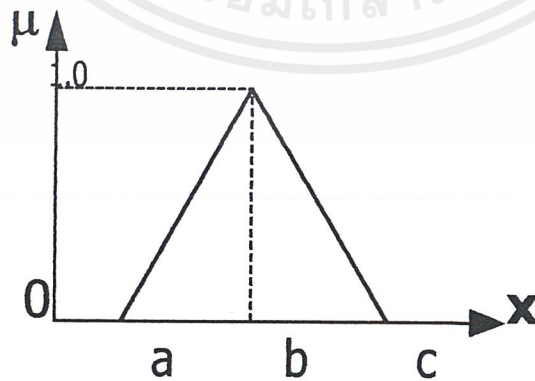
โดยมีรูปแบบดังภาพ



รูปที่ 6.2 S-function



รูปที่ 6.3 π-function



รูปที่ 6.4 T-function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.3 ซัพพอร์ตของฟัซซีเซต F ในเอกภพสัมพัทธ์ U คือ ฟัซซีเซตที่มีสมาชิกเป็นสมาชิกทั้งหมด ในเอกภพสัมพัทธ์ที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต F มากกว่า ศูนย์เขียนแทนด้วย สมการ

$$\text{Supp}(F) = \{x \in U \mid \mu_F(x) > 0\}$$

F = ฟัซซีเซตใดๆ

$\text{Supp}(F)$ = ซัพพอร์ตของฟัซซีเซต

6.2.4 ศูนย์กลางของฟัซซี (Center of fuzzy) คือ ค่ากึ่งกลางของฟัซซีเซตคือค่าสูงสุดของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

6.2.5 จุดแบ่งของฟัซซีเซต (Crossover of fuzzy set) คือ จุดใดๆในเอกภพสัมพัทธ์ที่มีค่าระดับ ความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.5

6.2.6 ความสูงของฟัซซีเซต(Height of fuzzy set)คือระดับความเป็นสมาชิกที่มีค่าสูงสุด

6.2.7 α -cut เซตของฟัซซีเซต (α -cut set of fuzzy set) α -cut เซตของฟัซซีเซต F คือ ฟัซซีเซต F_α ซึ่งสมาชิกในเซตคือสมาชิกในเอกภพสัมพัทธ์ที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกมากกว่าหรือเท่ากับ α เขียนแทนด้วยสมการ

$$F_\alpha = \{x \in U \mid \mu_F(x) \geq \alpha\}$$

6.3 การปฏิบัติการบนฟัซซีเซต (Fuzzy set operations)

ฟัซซีเซตมีการกระทำหรือปฏิบัติการ ระหว่างฟัซซีเซตคล้ายกับแบบคลิป์เซต (เซตปกติ) มีการปฏิบัติการที่สำคัญ ดังนี้

6.3.1 การเท่ากันของฟัซซีเซต (Equality) ฟัซซีเซต A เท่ากับฟัซซีเซต B ก็ต่อเมื่อสมาชิกทุกตัวในเอกภพสัมพัทธ์ มีค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A เท่ากับค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟัซซี B เขียนแทนด้วย สมการ

$$A = B \leftrightarrow \mu_A(x) = \mu_B(x) \quad \forall x \in U$$

6.3.2 การเป็นเซตย่อยของฟัซซีเซต (Contain) ฟัซซีเซต A เป็นเซตย่อยของฟัซซีเซต B ก็ต่อเมื่อ สมาชิกทุกตัวในเอกภพสัมพัทธ์ มีค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต B เขียนด้วยสมการ

$$A \subset B \leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad \forall x \in U$$

6.3.3 คอมพลิเมนต์ของฟัซซีเซต (Complement) คอมพลิเมนต์ของฟัซซีเซต A คือ ฟัซซีเซต A ในเอกภพสัมพัทธ์ซึ่งมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกดังนี้

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

6.3.4 ยูเนียน (Union) ฟัซซีเซต A ยูเนียนฟัซซีเซต B เขียนแทนด้วย $A \cup B$ ซึ่งจะทำให้ได้ ฟัซซีเซตซึ่งมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกดังนี้

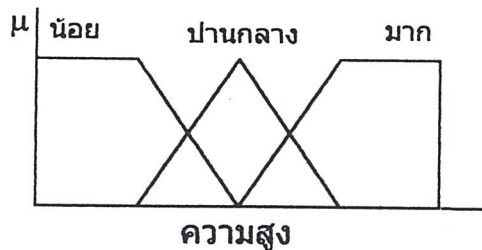
$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$$

6.3.5 อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ฟัซซีเซต A อินเตอร์เซกชัน ฟัซซีเซต B เขียนแทนด้วย $A \cap B$ ซึ่งจะทำให้ได้ฟัซซีเซตซึ่งมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกดังนี้

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$$

6.4 ตัวแปรลึงค์จิสติก (Linguistic Variable)

ตัวแปรลึงค์จิสติกหรือตัวแปรภาษาคำพูด ซึ่งคือชื่อของฟัซซีเซตโดยมีลักษณะเป็นภาษามนุษย์ เช่น ความสูงปานกลาง ความเร็วสูง เป็นต้น นอกจากนี้ตัวแปรลึงค์จิสติกยังประกอบไปด้วยส่วนขยาย (Linguistic Hedges) โดยส่วนขยายนี้จะเป็นตัวกำหนดย่านของตัวแปรลึงค์จิสติกเช่น ถ้า "ความสูงมาก" เป็นตัวแปรลึงค์จิสติก ก็จะมีส่วนขยายคือ ค่อนข้างสูงมาก ไม่สูงมาก ดังนั้นจะเห็นได้ว่า "ค่อนข้าง" และ "ไม่" คือส่วนขยายตัวแปรลึงค์จิสติก



รูปที่ 6.5 แสดงลักษณะตัวแปรลึงค์จิสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดคุณสมบัติของตัวแปรลึกลับจะให้เป็น (X, T, U, M) โดย

X = ตัวแปรลึกลับ เช่น ความสูง ความเร็ว เป็นต้น

T = เซตของตัวแปรทั้งหมด

U = เอกภพสัมพัทธ์ของ X

M = ความสัมพันธ์ของ T แต่ละค่า

ส่วนขยายของตัวแปรลึกลับจะเป็นตัวปฏิบัติการซึ่งจะขยายค่าลึกลับหรือขยายฟัซซี่เซตได้ เช่น

กำหนดให้ A คือฟัซซี่เซตในเอกภพสัมพัทธ์ X โดยที่ $x \in X$

$$\text{Very } A = [\mu_A(x)]^2$$

$$\text{Not } A = 1 - \mu_A(x)$$

$$\text{Not very} = 1 - [\mu_A(x)]^2$$

6.5 ประพจน์แบบฟัซซี่ (Fuzzy Proposition)

คือ ข้อความแสดงความจริงทางคุณสมบัติหรือค่าปริมาณของวัตถุหรือตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งแบ่งเป็น

6.5.1 ประพจน์แบบฟัซซี่เดี่ยว คือข้อความแสดงคุณสมบัติของตัวแปรลึกลับดังสมการ

$$X \text{ is } A$$

X = ตัวแปรลึกลับ

is = คุณสมบัติการเป็น

A = ค่าลึกลับหรือฟัซซี่เซต

6.5.2 ประพจน์แบบฟัซซี่ผสม คือประพจน์เดี่ยวตั้งแต่ 2 ประพจน์ขึ้นไปเชื่อมต่อกันด้วยตัวเชื่อม เช่น " AND ", " OR " เป็นต้น โดยหากใช้ตัวเชื่อม " AND " ให้ใช้ตัวปฏิบัติการฟัซซี่อินเตอร์เซกชัน กระทำระหว่างฟัซซี่เซต เช่น

$$\underline{X \text{ is } A} \text{ AND } \underline{Y \text{ is } B}$$

$$\mu_{A \cap B}(x,y) = \min\{ \mu_A(x), \mu_B(y) \}$$

ประพจน์ที่เชื่อมด้วย " OR " และ " NOT " คือ

$$\underline{X \text{ is } A} \text{ OR } \underline{Y \text{ is } B}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $\mu_{A \cup B}(x,y) = \max\{ \mu_A(x), \mu_B(y) \}$

X is NOT A

จะได้ $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$

6.6 กฎของฟัซซี (Fuzzy Rules)

กฎของฟัซซีมีลักษณะเป็นข้อความแบบเป็นเหตุและผลตามความรู้ที่มนุษย์ตั้งนี้

IF (fuzzy proposition) THEN (fuzzy proposition)

เช่น

IF (X is A) THEN (Y is B)

IF (X is A) AND (Y is B) THEN (Z is C)

6.7 ตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy Controller)

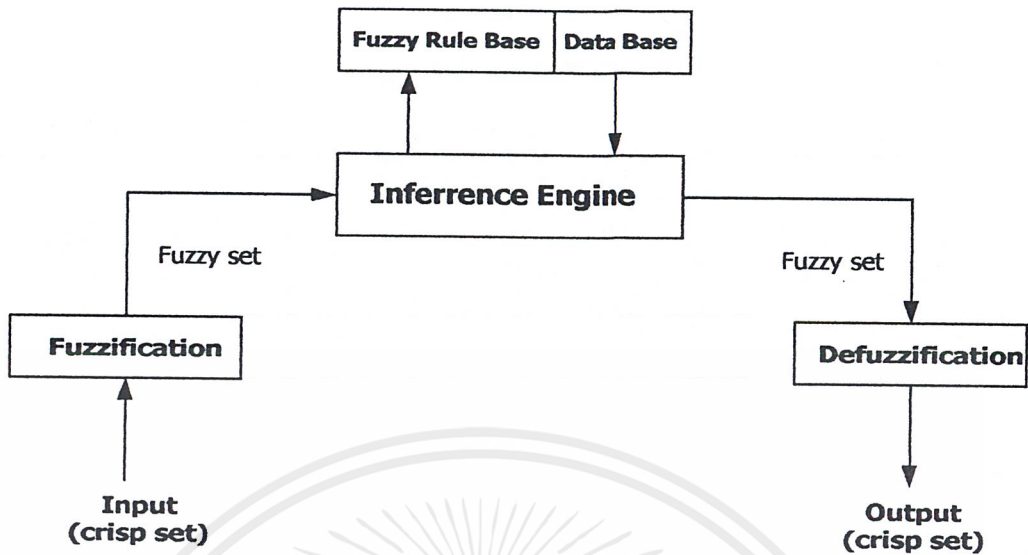
ตัวควบคุมฟัซซีในที่นี้จะกล่าวถึงแบบใช้ฐานความรู้ (Knowledge Base) ซึ่งใช้ฐานความรู้เป็นกฎในการควบคุมซึ่งเรียกตัวควบคุมฟัซซีลักษณะนี้ว่า Fuzzy Knowledge Base Controller หรือ FKBC

6.7.1 โครงสร้างของ Fuzzy Controller แบบ FKBC

โครงสร้างของ FKBC แบ่งออกได้ 4 ส่วนหลัก ๆ คือ

1. ฟัซซีฟิเคชัน โมดูล (Fuzzification Module)
2. ฐานความรู้ (Knowledge Base)
3. กลไกการอนุมาน (Inference Engine)
4. ดีฟัซซีฟิเคชัน โมดูล (Defuzzification Module)

เมื่ออินพุตซึ่งเป็นค่าคลิบ์เซตผ่านเข้าไปยังส่วน ฟัซซีฟิเคชัน โมดูลจะถูกแปลงเป็น Fuzzy set เพื่อนำไปเข้าส่วน ตัดสินใจ (In ferrenu Engine) ทำการตัดสินใจโดยอ้างอิงกฎการควบคุมซึ่งอยู่ในส่วนของฐานความรู้ (Knowlede Base) มาใช้ในการตัดสินใจ ส่วนของ Data base นั้น คือ ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลต่าง ๆ เช่น ค่าคงที่ต่าง ๆ ต่อมาข้อมูลจากการตัดสินใจแล้ว จะผ่านไปยังส่วนของดีฟัซซีฟิเคชัน โมดูล เพื่อแปลงค่า Fuzzy set เป็นค่าปกติหรือคลิบ์เซตเพื่อนำไปใช้ควบคุมต่อไป ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 โครงสร้างของฟัซซีคอนโทรลเลอร์

6.7.2 ฟัซซีฟิเคชันโมดูล (Fuzzification Module) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

- 1) การนอมอลไลซ์เซชัน (Normalization) ทำหน้าที่ เปลี่ยนสเกลตัวแปร ไปเป็นสเกลในเอกภพสัมพัทธ์ของฟัซซีเซตหรือคือการทำสเกลต่อหน่วยนั่นเอง (Per Unit)
- 2) ฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification) เป็นขั้นตอนการแปลงค่าของตัวแปรอินพุทไปเป็นค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมเซต ของฟัซซีเซต โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

6.7.3 ฐานความรู้แบบฟัซซี (Fuzzy Rule Base) เป็นฐานความรู้ที่เก็บความรู้แบบฟัซซีหรือเก็บกฎในการใช้ควบคุม ซึ่งจะประกอบประพจน์ของฟัซซีซึ่งอยู่ในรูปของ IF (Antecedent) THEN (Consequent)

6.7.4 กลไกการอนุมาน (Inference Engine) กลไกอนุมานถูกใช้เพื่อรวมกฎฟัซซีในฐานความรู้เพื่อหาข้อสรุป โดยมากจะใช้วิธี Mamdam (max - min method)

Max - min method ในการอินเฟอร์เร้นท์ จะใช้ตัวปฏิบัติการ min เชื่อมโยงประพจน์ของฟัซซี (AND) ซึ่งจะได้ระดับความเป็นสมาชิกในแต่ละกฎ (α) จากนั้นใช้ตัวปฏิบัติการ max ในการรวมข้อสรุปในแต่ละกฎเข้าด้วยกัน ดังนี้

$$R_1 : \text{IF } X \text{ is } A_1 \text{ AND } Y \text{ is } B_1 \text{ THEN } Z \text{ is } C_1$$

$$R_2 : \text{IF } X \text{ is } A_2 \text{ AND } Y \text{ is } B_2 \text{ THEN } Z \text{ is } C_2$$

- เมื่อ A_1, B_1, A_2, B_2 = ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต
- C_1, C_2 = ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต
- R_1, R_2 = กฎของฟuzzy
- α_1, α_2 = ระดับความเป็นสมาชิก

ขั้นตอนในการอินเฟอร์เร็น แบบ Mamdani

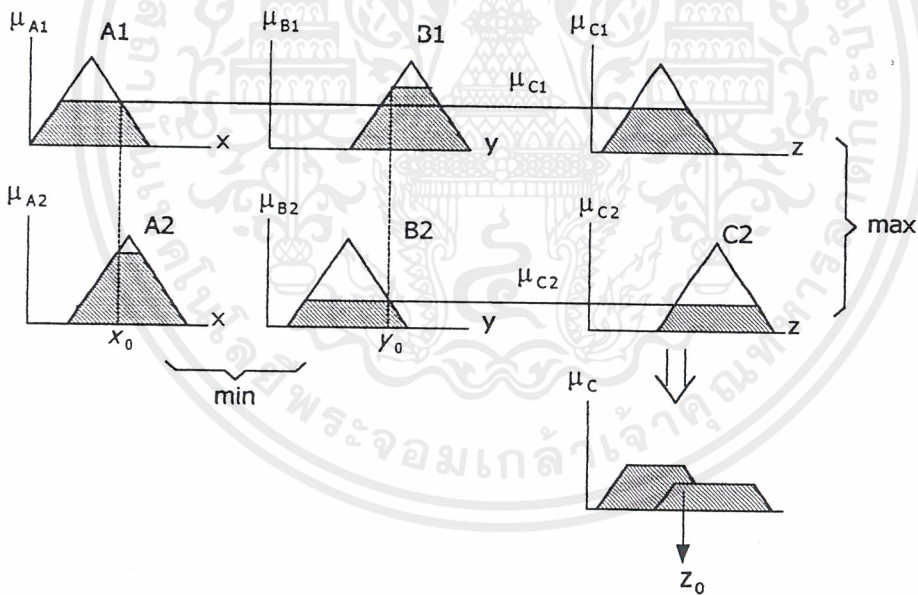
$$\alpha_1 = \min\{\mu_{A_1}(x_0), \mu_{B_1}(y_0)\}$$

$$\alpha_2 = \min\{\mu_{A_2}(x_0), \mu_{B_2}(y_0)\}$$

$$\mu_{c_i}(Z) = \min(\alpha_i, \mu_{c_i}(Z))$$

$$\mu_c(Z) = \max(\mu_{c_1}, \mu_{c_2})$$

จะได้ผังรูป



รูปที่ 6.7 การอนุมานแบบ Mamdani

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.7.5 คีฟซซฟฟเคัชนัโมดูล (Defuzzification Module) แบ่งเป็น 2 ส่วน

- คีฟซซฟฟเคัชนั (Defuzzification) ทำหน้าที่แปลงค่าความเป็นสมาชิกของฟฟซซเซตแปลงมาเป็นค่า เออท์พุทซซงัเป็นค่าปกคิ (คลิปเซต) เพื่อที่จะนำไปควบคุมต่อไปการคีฟซซฟฟเคัชนั มีหลายวิธีที่นิยมคือแบบ Center of Gravity (COG) มีสูตร ดังนี้

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_c(z) * z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_c(z_i)}$$

Z_0 = ค่าที่แปลงด้วยการ Defuzzification (ค่าปกคิ)

Z_i = ตัวแปรเออท์พุทที่ได้แต่ละกฎ

i = จำนวนกฎที่นำมาคคิ

$\mu_c (Z_i)$ = ค่าความเป็นสมาชิกที่ได้รับจากการอินเฟอร์เรน

- คีโนมอลไรเซซซนั (Denormalization) เป็นส่วนที่แปลงค่าสัญญาณที่ได้จากการ Defuzzification ให้เป็นสเกลที่จะใช้ควบคุมจริง เช่น สัญญาณแรงดัน 5 V หรือเป็นความถี่ต่าง ๆ เป็นต้น

6.8 ตัวควบคุมฟฟซซแบบฐานความรู้ (FKBC)

ตัวควบคุมฟฟซซชนิดฐานความรู้ (FKBC) แบ่งกว้างๆ ใน 2 แบบคือ

ก) ตัวควบคุมฟฟซซปกคิ ตัวแปรอินพุทและเออท์พุทในระบบควบคุม กำหนดได้เฉพาะในแต่ละระบบไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน

ข) ตัวควบคุมฟฟซซเลียนแบบตัวควบคุมแบบคั้งเคิม เช่น P, PI, PID โดยตัวแปรอินพุทและเออท์พุทเป็นลักษณะเดียวกันทุกระบบคือ

ตัวแปรอินพุท

e = ผลต่างระหว่างค่า Set point และค่าที่ได้จริง (Error)

ce = อัตราค่าคคิพลาด (Change of error)

δe = ผลรวมของค่าคคิพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรเอาต์พุต

U = ตัวแปรเอาต์พุตซึ่งเป็นผลลัพธ์ของตัวควบคุม

ΔU = อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเอาต์พุต

ซึ่งตัวแปรต่างๆหาได้โดย

$$e(k) = y_{sp} - y(k)$$

$$ce(k) = e(k) - e(k-1)$$

$$u(k) = u(k) - u(k-1)$$

กำหนด

y_{sp} = ค่าเอาต์พุตของกระบวนการที่ออกแบบ

$y(k)$ = ค่าเอาต์พุตของกระบวนการจริง

k = เวลาการสุ่มสัญญาณ (Sampling time)

6.9 ชนิดของตัวควบคุมพีชชีแบบฐานความรู้

เราจะอธิบายลักษณะตัวควบคุมแบบพีชชีแบบเลียนแบบตัวควบคุมดั้งเดิมดังนี้

6.9.1 ตัวควบคุมแบบ Proportional (P) มีลักษณะดังนี้

$$U = K_p e$$

โดย K_p = Proportional gain

แสดงในรูปกฎของพีชชี

if $e(k)$ is (antecedent) then $u(k)$ is (consequent)

6.9.2 ตัวควบคุมแบบ Proportional - Derivative (PD) มีลักษณะดังนี้

$$U = K_p e + K_d \dot{e}$$

โดย K_p = Proportional gain

K_d = Derivative gain

แสดงในรูปกฎของพีชชี

if $e(k)$ is (antecedent) and $ce(k)$ is (antecedent) then $u(k)$ is (consequent)

6.9.3 ตัวควบคุมแบบ Proportional - Integral มีลักษณะดังนี้

$$U = K_p e + K_I \int e dt$$

$$DU = K_p e + K_I e$$

โดย $K_I = \text{Integral gain}$

แสดงในรูปกฎของพีชชี

if $e(k)$ is (antecedent) and $ce(k)$ is (antecedent) then $\Delta u(k)$ is (consequent)

6.9.4 ตัวควบคุมแบบ Proportional - Integral - Derivative (PID) มีลักษณะดังนี้

$$U = K_p e + K_d \dot{e} + K_I \int e dt$$

$$\delta e = \sum e(i)$$

แสดงด้วยกฎของพีชชี

if $e(k)$ is (antecedent) and $ce(k)$ is (antecedent) and δe is (antecedent)

then $\Delta u(k)$ is (consequent)

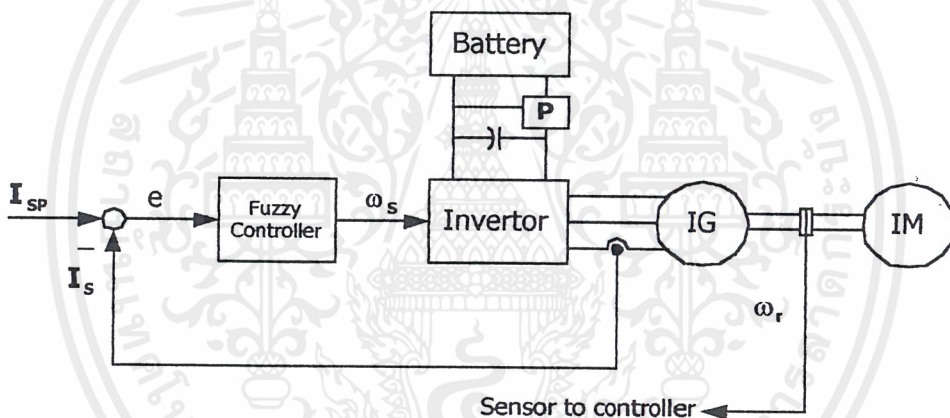
บทที่ 7

การออกแบบตัวควบคุมอินดักชันเจนเนอเรเตอร์แบบฟัซซี่

การออกแบบตัวควบคุมอินดักชันเจนเนอเรเตอร์แบบฟัซซี่

ในบทนี้จะอธิบายขั้นตอนการออกแบบโดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ขั้นตอนการออกแบบโดยการจำลองโดยโปรแกรม Math Lab เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้ได้สมรรถนะดีที่สุดแล้วนำมาเขียนเป็นโปรแกรมภาษา C ใช้ควบคุมจริง จากนั้น ต้องมีการปรับค่าต่างๆ อีกครั้งให้เหมาะกับการใช้งานกับระบบจริงซึ่งอยู่ในส่วนขั้นตอนการทดลองต่อไป

7.1 วงจรควบคุม



รูปที่ 7.1 แสดงวงจรควบคุม

ลักษณะการควบคุม

เป็นการลดหรือเพิ่มความถี่ให้อินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นแบบ Volts / Hertz คอนโทรล โดยใช้ในการควบคุมแบบฟัซซี่เลียนแบบตัวควบคุมแบบ PI ทำการควบคุมเพื่อไม่ให้กระแสเกิน 2 แอมแปร์ ซึ่งเป็นจุดที่ให้พลังงานสูงสุดโดยไม่เป็นอันตรายต่อมอเตอร์ จุดอ้างอิง (Set Point) ในการควบคุมคือ ค่ากระแส 2 แอมแปร์ โดยทำการใช้ผลต่าง (error) ระหว่างค่ากระแสจริง (I_s) และกระแสอ้างอิง (I_{sp}) เป็นอินพุทของตัวควบคุมเพื่อเป็นตัวกำหนดการชดเชย ($\Delta\omega_s$) ซึ่งจะเป็นตัวเพิ่มหรือลด

ความถี่ของอินเวอร์เตอร์(ω_s) โดยเพิ่มหรือลดเป็นแบบไม่เชิงเส้น (Non- Linear) กล่าวคือเมื่อกระแส I_s น้อยๆ จะทำการลดความถี่ของอินเวอร์เตอร์มากๆ ($\Delta\omega_s$ เป็นค่าลบมาก) เมื่อกระแส I_s เข้าใกล้ กระแสอ้างอิง (2 แอมแปร์) จะทำการลดความถี่ของอินเวอร์เตอร์น้อยๆ ($\Delta\omega_s$ เป็นค่าลบน้อย) ดังสมการ

$$\omega_s(k) = \omega_s(k-1) + \Delta\omega_s$$

$\omega_s(k)$ = ค่าความถี่เชิงมุมที่เวลา k

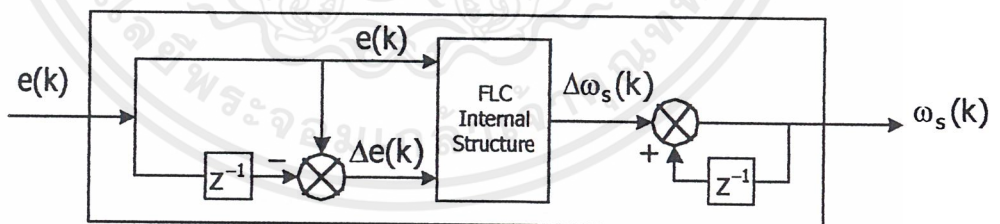
$\omega_s(k-1)$ = ค่าความถี่เชิงมุมที่เวลา $k-1$

$\Delta\omega_s$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม

k = เวลาการสุ่มสัญญาณ

7.2 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมพีชชี แบบ PI (PI-like FLC)

โครงสร้างภายในตัวควบคุมพีชชีแบบ PI แสดงได้ดังรูปที่ 7.2 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าค่า $e(k)$ จะถูกหน่วงเวลาไว้เพื่อนำมาสร้างเป็น $\Delta e(k)$ เรียกว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด (Change of error) ซึ่ง $e(k)$ และ $\Delta e(k)$ เป็น อินพุตของระบบพีชชีลอจิกแบบ PI

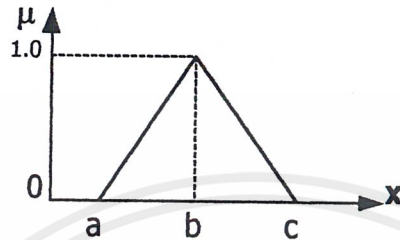


รูปที่ 7.2 โครงสร้างภายในตัวควบคุมพีชชี

ส่วนเอาต์พุตของระบบพีชชีลอจิกจะเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุต ซึ่งในที่นี้คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความถี่ ($\Delta\omega_s$) ดังนั้นต้องนำมาหน่วงเวลาไว้เพื่อนำมาสร้างเป็นเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์จึงจะนำไปใช้งาน

7.3 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ในโครงการจะกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมในโครงการนี้ มีลักษณะดังภาพ



รูปที่ 7.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม

มีสมการดังนี้

$$T(u, a, b, e) = \begin{cases} 0 & ; u \leq a \\ (u-a) / (b-a) & ; a < u \leq b \\ (e-u) / (e-b) & ; b < u \leq c \\ 0 & ; u > c \end{cases}$$

โดยในระบบควบคุมของอินตักซ์เงินเนอเรอเตอร์นี้ จะแบ่งเป็น 7 ฟัซซี่เซต โดยมีชื่อต่าง ๆ ดังนี้

NB = เป็นลบมากที่สุด(Negative Big)

NM = เป็นลบปานกลาง(Negative Middle)

NS = เป็นลบน้อย(Negative Small)

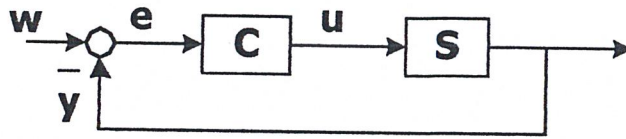
ZE = เป็นศูนย์(Zero)

PS = เป็นบวกน้อย(Positive Small)

PM = เป็นบวกปานกลาง(Positive Middle)

PB = เป็นบวกมากที่สุด(Positive Big)

โดยจะสามารถหาขอบเขตของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตเพื่อนำมาเขียนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้ดังนี้



รูปที่ 7.4 ระบบควบคุมพื้นฐาน

จากรูประบบควบคุมง่าย ๆ มีการกำหนดสัญลักษณ์ดังนี้

W = จุดอ้างอิงของระบบ (set point)

Y = เอาต์พุตระบบ

e = ค่า error ของระบบ

U = เอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์

จะได้ว่า

ขอบเขตค่า Error (E)

สามารถเขียนได้ในรูป $[-E_{\min}, E_{\max}]$ ซึ่งหาค่าได้ดังนี้

$$E_{\max} = W_{\max} - Y_{\min} = 4 - 0 = 4$$

$$E_{\min} = W_{\min} - Y_{\max} = 0 - 4 = -4$$

ซึ่ง W_{\max} คือกระแส 4A และ Y_{\min} คือกระแส 0 A จะได้ขอบเขตดังนี้

$$E = [-4, 4] \quad \text{แอมป์}$$

ขอบเขตค่า Change of Error (CE)

ขอบเขตของ CE สามารถกำหนดเป็นช่วงได้ดังนี้ $[-CE_{\min}, CE_{\max}]$ ซึ่งสามารถหาเป็น

สูตรได้ คือ
$$CE_{\max} = E_{\max} - E_{\min}$$

$$CE_{\min} = E_{\min} - E_{\max}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถปรับปรุงค่าจากสูตรได้เพื่อให้เพิ่มขึ้นหรือน้อยลงตามความเหมาะสมของระบบ โดย ในทางปฏิบัติต้องคำนึงถึงช่วงเวลาการสุ่มสัญญาณ (Sampling period) ด้วย เพื่อให้ง่ายจึงเพื่อให้เท่ากับค่า Error จะได้

$$CE = [-4, 4] \text{ แอมป์}$$

ขอบเขตค่าเอาต์พุตของพีซีแบบ PI (Change of Control : CU)

ขอบเขตของ CE สามารถกำหนดเป็นช่วงได้ดังนี้ $[-CU_{\min}, CU_{\max}]$ ซึ่งสามารถหาเป็นสูตรได้ คือ

$$CU_{\max} = U_{\max} - U_{\min}$$

$$CU_{\min} = U_{\min} - U_{\max}$$

เราจะกำหนดให้มีการเพิ่มหรือลด ความถี่ของอินเวอเตอร์ไม่เกิน 2 Hz ดังนั้นจะได้ของเขตดังนี้

$$CU = [-2, 2] \text{ เฮิร์ต}$$

ในที่นี้ ต้องเข้าใจว่า CU คือ $\Delta\omega_s$ และ U คือ ω_s

การกำหนดสเกลแฟกเตอร์ (Scaling factor)

เพื่อให้ง่ายต่อการเขียนโปรแกรมเราจะทำการเปลี่ยนสเกลของ อินพุตและเอาต์พุต(E,CE, CU)ให้เป็นช่วง $[-1, 1]$ โดยทำการคูณค่าคงที่ เข้าไป กระบวนการนี้เรียกว่า Normalization และค่าคงที่ตัวคูณเรียกว่า Scaling factor นอกจากนี้การ Normalization นี้ สามารถทำให้เป็นช่วงใด ๆ ก็ได้โดยสามารถหาได้ ดังนี้กำหนดขอบเขตที่ต้องการหา คือ

$$X_1 = [-a_e^*, a_e^*] \quad , \quad X_2 = [-a_{ce}^*, a_{ce}^*] \quad , \quad Y = [-a_{cu}^*, a_{cu}^*]$$

โดยที่ขอบเขตจริงคือ

$$e = [-a_e, a_e] \quad , \quad ce = [-a_{ce}, a_{ce}] \quad , \quad cu = [-a_{cu}, a_{cu}]$$

จะหาค่า Scaling factor ได้ดังนี้

$$k_e = a_e^* / a_e \quad , \quad k_{ce} = a_{ce}^* / a_{ce} \quad , \quad k_{cu} = a_{cu}^* / a_{cu}$$

ดังนั้นจะออกแบบค่าต่าง ๆ ในโครงการนี้ได้ คือ

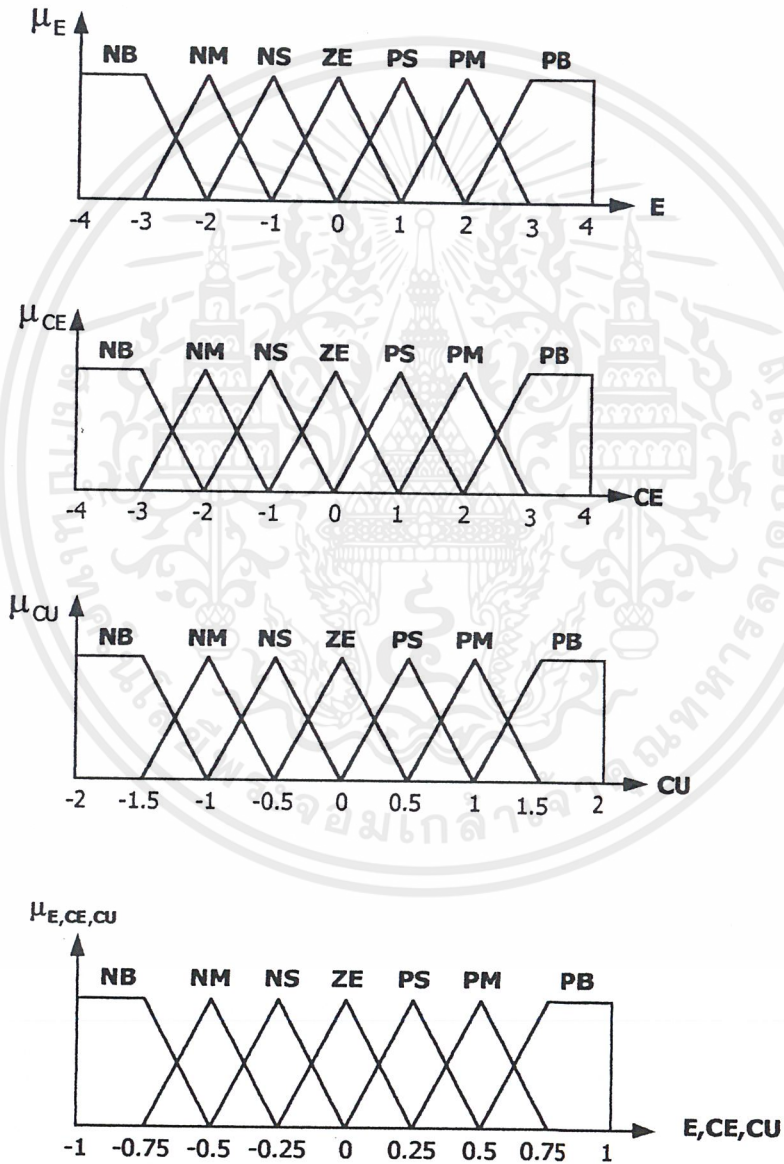
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$E = [-4, 4]$ เปลี่ยนเป็น $[-1,1]$ มีscaling factor $K_E = 0.25$

$CE = [-4, 4]$ เปลี่ยนเป็น $[-1,1]$ มีscaling factor $K_{CE} = 0.25$

$CU = [-2, 2]$ เปลี่ยนเป็น $[-1,1]$ มีscaling factor $K_{CU} = 2$

ดังนั้นจะได้รูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ดังนี้



รูปที่ 7.5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

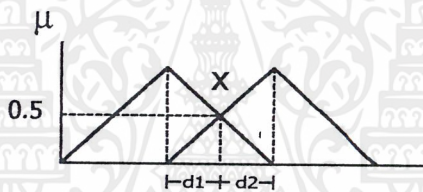
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามจะต้องมีการปรับค่า Scaling factor อีกครั้งในการทดลองเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมกับระบบจริง ๆ เพราะค่า Scaling factor มีผลต่อ เวลาการเข้าถึง (Rise time) และค่าพุ่งเกินของระบบ (Overshoot)

การตัดกันของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแต่ละเซตกำหนดได้ดังนี้

ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบที่เป็นเชิงเส้น การใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสมมาตรมีระดับจุดตัดเท่ากับ 0.5 และมีอัตราส่วนจุดตัด (d_1/d_2) เท่ากับ 1 จะทำให้มีค่าสมรรถนะของระบบดี คือ มีจุดพุ่งเกิน (overshoot) ต่ำ เวลาการเข้าถึง (Rise Time) เร็ว

ในส่วนของความต่อเนื่องของการควบคุมควรจะให้ระยะ d_1 และ d_2 ของทั้งสองฟังก์ชันที่ใกล้กันมีระยะเท่ากัน และที่ตำแหน่งศูนย์ของค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองฟังก์ชัน จะตรงกับตำแหน่งที่เป็นค่าสูงสุดพอดี(ดังแสดงในรูปที่ 7.6)

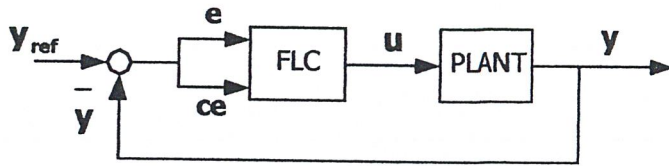


รูปที่ 7.6 แสดงความกว้างของจุดตัดทั้ง 2 ฟังก์ชัน

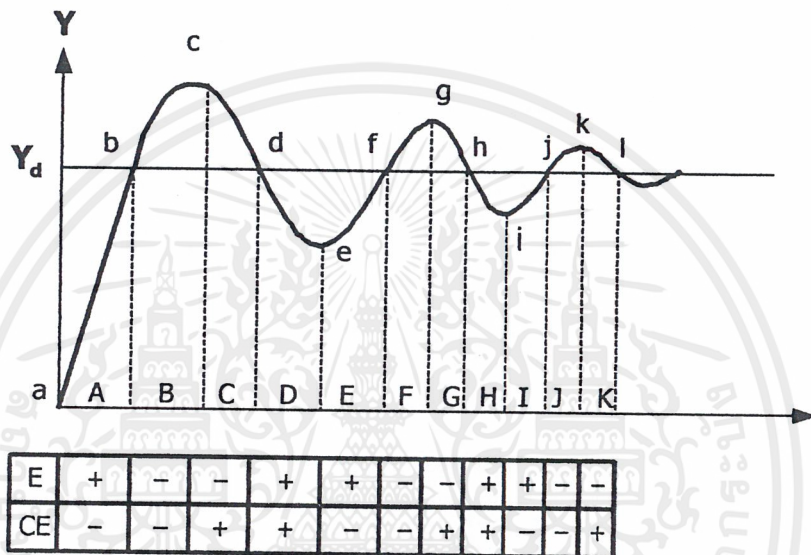
7.4 การออกแบบกฎการควบคุม

การออกแบบกฎการควบคุมในโครงงานนี้ใช้วิธี เฮอริสติก (Heuristic approach) ซึ่งเป็นการออกแบบกฎจากพฤติกรรม การตอบสนองของระบบ ที่ได้จากประสบการณ์ หรือจากการทดสอบ และค่าสมรรถนะที่ต้องการ นำมาออกแบบกฎโดยประมาณได้โดยความสัมพันธ์ของอินพุตและผลการตอบสนอง

โดยทั่วไประบบควบคุมพีซีแบบปิด ดังรูป 7.7 มีอินพุต 2 ตัว คือ ค่าผิดพลาด (e) และอัตราการผิดพลาด (ce) และมีผลการตอบสนอง ดังรูป 7.8 สมรรถนะของระบบที่ต้องการ คือ การเข้าถึงสั้น (short rise time) และเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินต่ำ (over shoot) เราสามารถ สร้างกฎที่ได้จากผลตอบสนองได้โดย แบ่งช่วง ผลตอบสนองออกเป็นช่วง ๆ และทำการกำหนดกฎควบคุมเพื่อให้ได้เอาต์พุตตามต้องการ ดังนี้



รูปที่ 7.7 ระบบควบคุมฟัซซีแบบรูปปิด



รูปที่ 7.8 ผลการตอบสนองของระบบที่ต้องการ

จากผลตอบสนองที่แบ่งออกแบ่งออกเป็นช่วง ๆ เราสามารถวิเคราะห์และสร้างกฎการควบคุมได้ดังนี้

ที่จุด a เป็นช่วงที่ E เป็นบวกและ CE เป็นศูนย์ และเป็นช่วงเริ่มของผลตอบสนอง ดังนั้น ควรจ่ายเอาต์พุต CU ให้มากเพื่อให้เข้าใกล้ จุดอ้างอิง (set point) เร็วที่สุดเป็นการลดเวลาการเข้าถึง (Rise time)

ที่จุด b เป็นช่วงที่ E เป็นศูนย์เนื่องจากเข้าถึงจุดอ้างอิงแล้ว และ CE เป็นค่าลบ ดังนั้น หากรบบมีความเฉื่อย จะมีการพุ่งเกิน (Overshoot) ดังนั้นเพื่อลดการพุ่งเกินจะให้ CU มีค่าเป็นลบหรือมีค่าน้อยๆ

ที่จุด c เป็นช่วงที่มีการพุ่งเกินสูงสุด ดังนั้นจะมี E เป็นลบ และ CE เป็นศูนย์ ระบบจะต้องลด การพุ่งเกินดังนั้นจึงต้องจ่าย CU เป็นลบหรือน้อยๆ เพื่อให้เข้าถึงจุดอ้างอิงช้าลง เป็นการลดการพุ่งเกิน

ที่จุดหรือช่วงอื่น ๆ ในลูกคลื่นต่อไปทำการวิเคราะห์ลักษณะเดียวกันซึ่งจะได้เป็นตารางกฎ 7.1 และ 7.2 โดยตารางที่ 7.2 นั้นมี 7 เทอมเซต ซึ่งการวิเคราะห์กฎจะต้องเพิ่มเติมด้วยขยาย เช่น มากที่สุด ปานกลาง น้อย ในการนำมาพิจารณาผลตอบสนองด้วย

ตาราง 7.1 กฎการควบคุมซึ่งประกอบด้วย เทอมเซต (N, ZE, P)

Rule No.	E	CE	CU	References	Functions
1	P	Z	P	Points a,e,I	Shorten rise time
2	Z	N	N	Points b,f,j	Reduce overshoot
3	N	Z	N	Points c,g,k	Reduce overshoot
4	Z	P	P	Points d,h,l	Reduce oscillation
5	Z	Z	Z	Set point	Braking system
6	P	N	P	Ranges A,E	Shorten rise time
7	N	N	N	Ranges B,F,J	Reduce overshoot
8	N	P	N	Ranges C,G	Reduce overshoot
9	P	P	P	Ranges D,H	Reduce oscillation
10	P	N	Z	Range I	Braking system
11	N	P	Z	Range K	Braking system

ตารางที่ 7.2 กฎการควบคุมซึ่งประกอบด้วย เทอมเซต [NB,NM,NS,ZE,PS,PM,PB]

Rule No.	E	CE	CU	References	Functions
1	PB	ZE	PB	Point a	Shorten rise time
2	PM	ZE	PM	Point e	Shorten rise time
3	PS	ZE	PS	Point I	Shorten rise time
4	ZE	NB	NB	Point b	Reduce overshoot
5	ZE	NM	NM	Point f	Reduce overshoot
6	ZE	NS	NS	Point j	Reduce overshoot
7	NB	ZE	NB	Point c	Reduce overshoot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	NM	ZE	NM	Point g	Reduce overshoot
9	NS	ZE	NS	Point k	Reduce overshoot
10	ZE	PB	PB	Point d	Reduce oscillation
11	ZE	PM	PM	Point h	Reduce oscillation
12	ZE	PS	PS	Point l	Reduce oscillation
13	ZE	ZE	ZE	Set point	Braking system
14	PB	NS	PM	Range A	Shorten rise time
15	PS	NB	NM	Range A	Reduce overshoot
16	NB	PS	NM	Range C	Reduce overshoot
17	NS	PB	PM	Range C	Reduce oscillation
18	PS	MS	ZE	Range I	Braking system
19	NS	PS	ZE	Range K	Braking system

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าวจะได้เป็นตารางกฎซึ่งในการออกแบบจริงต้องใช้ผลการทดลองจริงมาปรับแต่งตารางกฎเนื่องจากแต่ละระบบมีเวลาและความเฉื่อยในการตอบสนองต่างกัน ในโครงการนี้ใช้ตารางกฎ ดังนี้

ตารางที่ 7.3 ตารางกฎที่ใช้ในการออกแบบจริง

C \ CE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	ZE
NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5 การทดสอบสมรรถนะโดยการจำลองผลตอบสนองด้วยโปรแกรม MATLAB

จากการทดลองเพื่อนำมาจำลองเหตุการณ์ เมื่ออินดักชันเจนเนอเรเตอร์ถูกขับด้วยความเร็วที่แกนเพลลา 1200 rpm และมีความถี่ 40 Hz ซึ่งขณะนี้ความเร็วสนามแม่เหล็ก เท่ากับความเร็วที่แกนโรเตอร์ จากนั้นทำการลดความถี่ลงอินดักชันเจนเนอเรอร์จะทำการคืนพลังงานดังตาราง

$$n_r = 1200 \text{ rpm} , f_s = 40 \text{ Hz}$$

f_s (Hz)	n_s (rpm)	n_r (rpm)	$P_{3\phi}$ (w)	I_s (A)	n_{sl}
39.7	1191	1200	0	0.92	-9
39.3	1179	1200	-63	1	-21
38.7	1161	1196	-159	1.2	-35
38.1	1143	1193	-270	1.4	-50
37.6	1128	1190	-360	1.6	-62
37.2	1116	1188	-450	1.8	-72
36.7	1101	1185	-510	2.0	-84

จะได้ความสัมพันธ์

$$N_s = f_s * 120 / 4$$

$$N_r = (-0.0000154068 * N_s^3) + (0.0525141084 * N_s^2) - (59.4601781734 * N_s) + 23555.6380747842$$

$$N_{sl} = N_s - N_r$$

$$P_{3\phi} = (0.00076592314458 * N_{sl}^3) + (0.11545118181901 * N_{sl}^2) - (2.13915115494430 * N_{sl}) - 26.99406678449887$$

$$I_{ac} = (0.00000090770205 * N_{sl}^3) + (0.00020372894955 * N_{sl}^2) - (0.00270921409189 * N_{sl}) + 0.87577061179495$$

$$f_s = \text{ความถี่ synchronous}$$

$$n_s = \text{ความเร็ว synchronous}$$

$$n_r = \text{ความเร็วโรเตอร์}$$

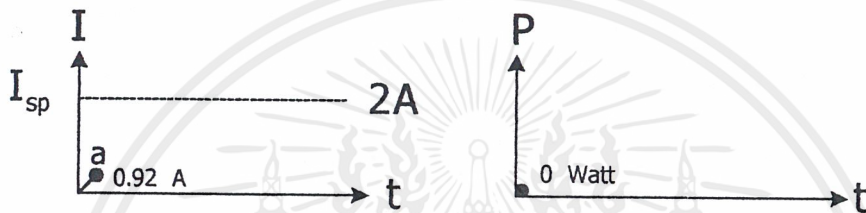
$$P_{3\phi} = \text{กำลังงาน 3 เฟส}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_s = \text{กระแสที่สเตเตอร์}$$

การทดสอบสมรรถนะ

เราจะทำการสมมุติว่า ขณะนี้ อินคักชั่นเจนเนอเรเตอร์ ถูกขับด้วยความเร็ว 1200 rpm และความถี่ที่จ่ายให้อินคักชั่นเจนเนอเรเตอร์ 39.7 Hz ขณะนี้ได้กระแส 0.89 A และได้ กำลังงาน 0 watt วงจรควบคุมจะทำการลดความเร็วลงเรื่อยๆ หากผลตอบสนองได้ดังนี้



ที่จุด a $I = 0.92\text{ A}$, $P = 0\text{ W}$, $f_s = 39.7\text{ Hz}$

1) ค่า E, CE

$$E = I_{sp} - I_s = 2 - 0.92 = 1.08\text{ A}$$

$$CE = E(k) - E(k-1) = 1.08 - 0 = 1.08\text{ A}$$

2) Normalization

$$E = 1.08 \times KE = 1.08 \times 0.25 = 0.27\text{ V}$$

$$CE = 1.08 \times KCE = 1.08 \times 0.25 = 0.27\text{ V}$$

3) หาค่า μ_E, μ_{CE} ได้ดังนี้

เนื่องจากค่า $E = 0.27$ ตัดเทอมเซต PM, PS จะได้

$$\text{ตัด PS ได้ } \mu_{E1} = (0.5 - 0.27) / (0.5 - 0.25) = 0.92$$

$$\text{ตัด PM ได้ } \mu_{E2} = (0.27 - 0.25) / (0.5 - 0.25) = 0.08$$

และค่า $CE = 0.27$ ตัด เทอมเซต PM < PS เช่นเดียวกัน

$$\text{ตัด PM ได้ } \mu_{CE1} = 0.92$$

$$\text{ตัด PS ได้ } \mu_{CE2} = 0.08$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เมื่อตรวจตารางกฎ จะได้

E \ CE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB							
NM							
NS							
ZE							
PS					PS	PS	
PM					PM	PM	
PB							

$$\alpha_1 = \min (\mu_{E1}, \mu_{CE1}) = \min (0.92, 0.92) = 0.92$$

$$\alpha_2 = \min (\mu_{E1}, \mu_{CE2}) = \min (0.92, 0.08) = 0.08$$

$$\alpha_3 = \min (\mu_{E2}, \mu_{CE1}) = \min (0.08, 0.92) = 0.08$$

$$\alpha_4 = \min (\mu_{E2}, \mu_{CE2}) = \min (0.08, 0.08) = 0.08$$

$$\mu_{i1} = \min (\alpha_1, \mu_{ps}) = 0.92$$

$$\mu_{i2} = \min (\alpha_2, \mu_{ps}) = 0.08$$

$$\mu_{i3} = \min (\alpha_3, \mu_{pm}) = 0.08$$

$$\mu_{i4} = \min (\alpha_4, \mu_{pm}) = 0.08$$

5) ทำการ Defuzzification จะได้ว่า

$$\mu_{in1} \text{ ตัด PS ที่ } CU1 = 0.92 (0.25 - 0) + 0 = 0.23$$

$$CU2 = -0.92 (0.5 - 0.25) + 0.5 = 0.27$$

$$\mu_{in2} \text{ ตัด PS ที่ } CU3 = 0.08 (0.25 - 0) + 0 = 0.02$$

$$CU4 = -0.08 (0.5 - 0.25) + 0.5 = 0.48$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_{in3} \text{ คัด PM ที่ CU5} = 0.08 (0.5 - 0.25) + 0.25 = 0.27$$

$$\text{CU6} = -0.08 (0.75 - 0.5) + 0.75 = 0.73$$

$$\mu_{in4} \text{ คัด PM ที่ CU7} = 0.08 (0.5 - 0.25) + 0.25 = 0.27$$

$$\text{CU8} = -0.08 (0.75 - 0.5) + 0.75 = 0.73$$

จะได้

$$\begin{aligned} \text{CU} &= \{(0.23 \times 0.92) + (0.27 \times 0.92) + (0.02 \times 0.08) + (0.48 \times 0.08) + (0.27 \times 0.08) + \\ &\quad (0.73 \times 0.08) + (0.27 \times 0.08) + (0.73 \times 0.08)\} / (0.92 + 0.92 + 0.08 + 0.08 + 0.08 + \\ &\quad 0.08 + 0.08 + 0.08) \\ &= 0.28 \end{aligned}$$

6) จาก CU นำมาทำการ Normalization

เนื่องจาก $\text{CU} = -\Delta f_s$ จะได้

$$\Delta f_s = 0.28 \times K_{\text{CU}} = 0.28 \times 2 = -0.56 \text{ Hz}$$

จากสมการ

$$\omega_s(k) = \omega_s(k-1) + \Delta\omega_s$$

หรือ $f_s(k) = f_s(k-1) + \Delta f_s$

$$f_s(k) = 40 \text{ Hz} - 0.56 \text{ Hz}$$

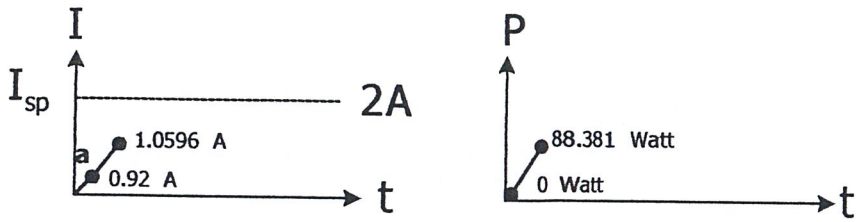
$$f_s(k) = 39.44 \text{ Hz}$$

7) เมื่อนำ f_s ไปแทนในสมการ f_s, N_r, N_{sl} จะได้ค่า กำลังงาน 3 phase และกระแสดังนี้

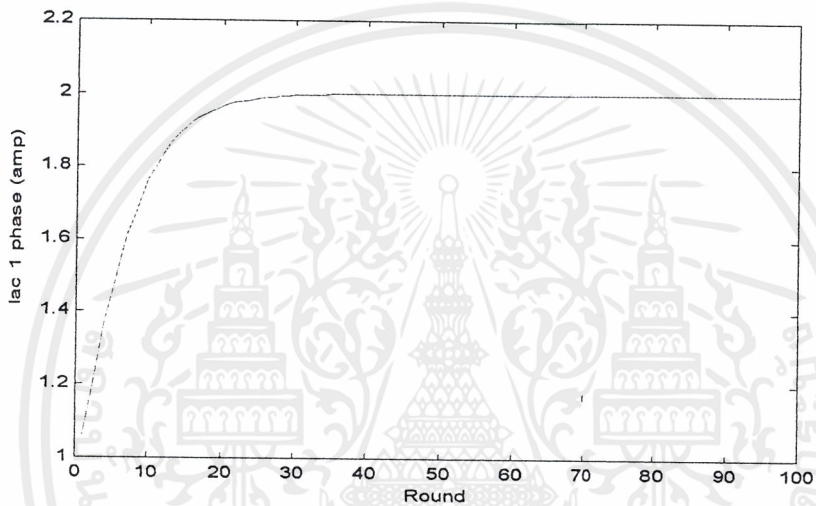
$$I_s = 1.0596 \text{ A}$$

$$P_{3\phi} = 88.3810 \text{ Watt}$$

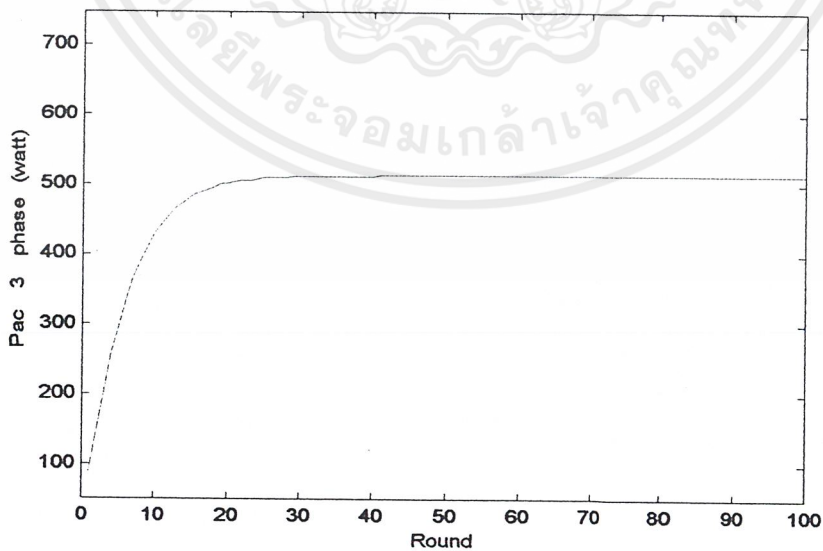
เมื่อนำไปพล็อตกราฟจะได้ดังรูป



เมื่อใช้โปรแกรม Matlab simulate จะได้กราฟดังนี้



รูปที่ 7.9 ผลตอบสนองของกระแสที่ได้จาก Matlab



รูปที่ 7.10 ผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าที่ได้จาก Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

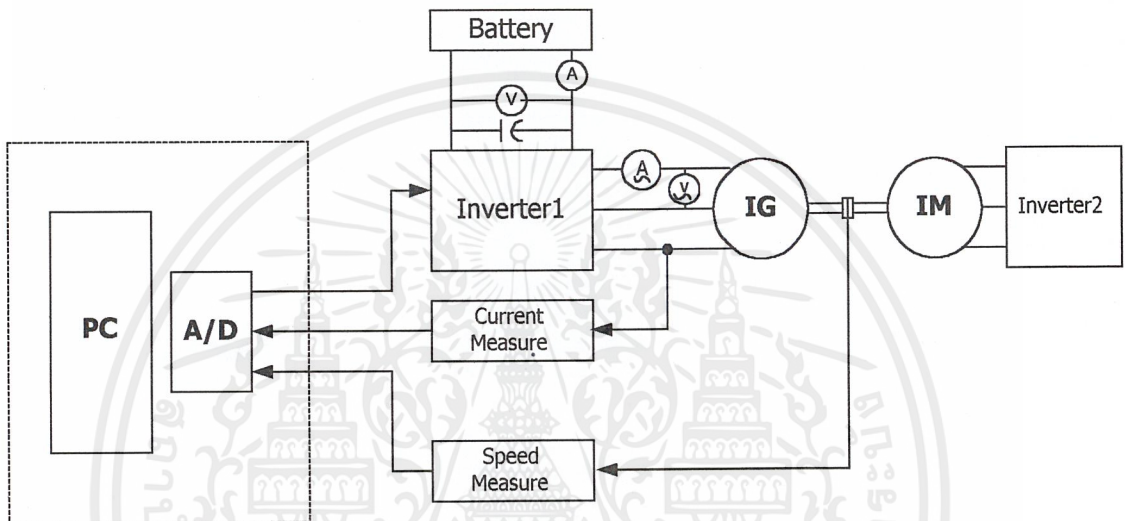
นำระบบที่ออกแบบไปทำการทดลอง เนื่องจากค่า K_E , K_{CE} , K_{CU} ที่ออกแบบมานี้ ไม่ได้คิดถึงความถี่และเวลาหน่วงของระบบเมื่อทดลองจริงอาจจะไม่ได้ผลตอบสนองตรงกับที่ simulate ไว้ซึ่งต้องทำการปรับแต่งค่า K_E , K_{CE} , K_{CU} ใหม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7 การทดลองและผลการทดลองระบบควบคุมแบบฟีดแบ็ค

ทำการทดลองระบบควบคุมโดยทำการปรับค่า สเกลแฟกเตอร์ (Scaling factor) K_E, K_{CE}, K_{CU} เพื่อหาค่าผลตอบสนองที่ดีที่สุด



รูปที่ 7.11 รูปวงจรการทดลอง

การทดลองที่ 1

ทำการปรับค่า K_{CU} ตั้งแต่ 1.0 ถึง 3.0 เพื่อหาค่าผลตอบสนองที่ดีที่สุดโดยทำการทดลองดังนี้
ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ต่อยวงจรดังรูป 7.11 โดยที่อินดักชันเจนเนอเรเตอร์ต่อแบบเดลต้า (Delta)
- 2) นำ Digital storage oscilloscope วัดสัญญาณแรงดันจากเอาต์พุต ของ Current sensor
- 3) ตั้ง K_E, K_{CE}, K_{CU} ใน โปรแกรม TABLEIG4 ดังนี้

$$K_E = 0.25$$

$$K_{CE} = 0.25$$

$$K_{CU} = 1.0$$

- 4) Run โปรแกรม TABLEIG4 อินเวอร์เตอร์ 1 จะถูกตั้งความถี่ที่ 25 Hz

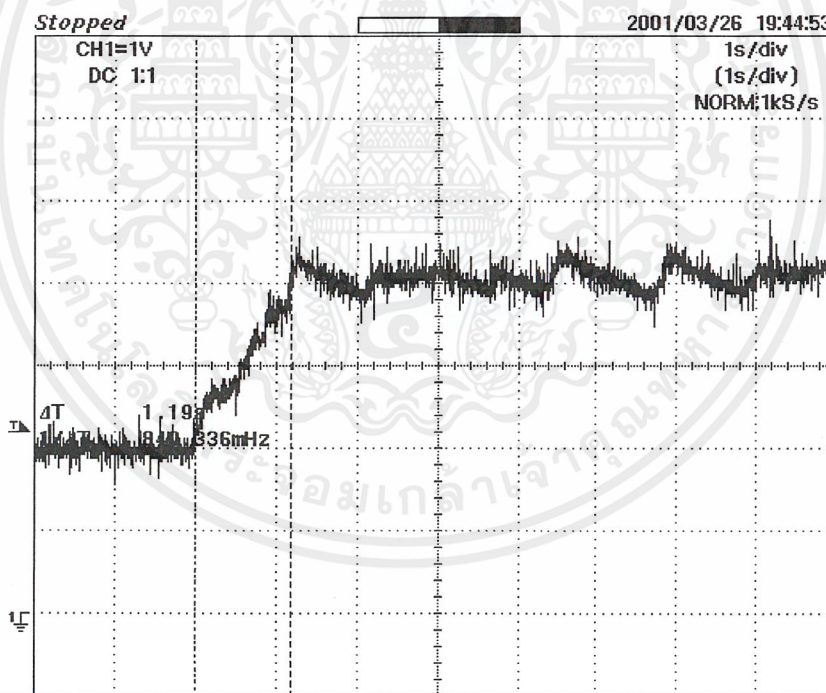
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) ปรับความถี่ อินเวอร์เตอร์ 2 จนกระทั่งกระแสมอเตอร์เป็น ศูนย์ ขณะนี้กำลังเริ่มเป็นเจนเนอเรเตอร์ บันทึกค่าความเร็วโรเตอร์
- 6) จากนั้นตัวควบคุมจะทำการลดความถี่ อินเวอร์เตอร์ 2 จนกระทั่งกระแสจันแปดเตอร์มีค่า 2 A บันทึกผลตอบสนองของกระแสโดย Digital storage oscilloscope
- 7) ทำแบบข้อ 3) โดย ปรับค่า K_{CU} เป็น 1.50 , 2.0 , 2.5 , 3.0 บันทึกผลตอบสนอง จะได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการทดลองที่ 1.1

เมื่อใช้ค่า

$K_E = 2.5$	$K_{CE} = 2.5$	$K_{CU} = 1.0$
-------------	----------------	----------------



รูปที่ 7.12 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_{CU} = 1.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

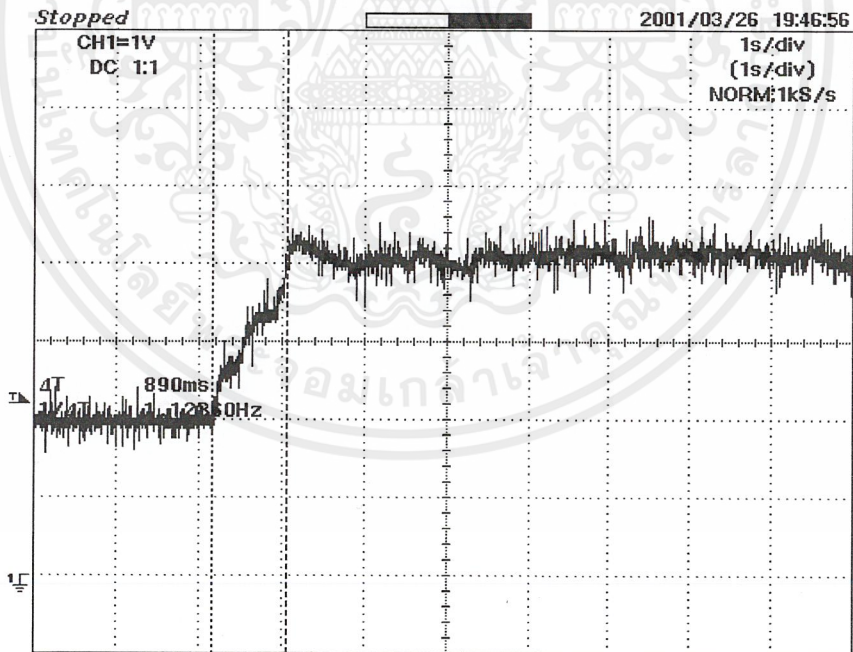
จะได้

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
Rise time (sec)	1.19
Overshoot (%)	15
Nr (ก่อนควบคุม)	763.6
Nr (หลังควบคุม)	752.7
ความถี่ (หลังควบคุม)	22.7

ผลการทดลองที่ 1.2

เมื่อใช้ค่า

$K_E = 2.5$	$K_{CE} = 2.5$	$K_{CU} = 1.5$
-------------	----------------	----------------



รูปที่ 7.13 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_{CU} = 1.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

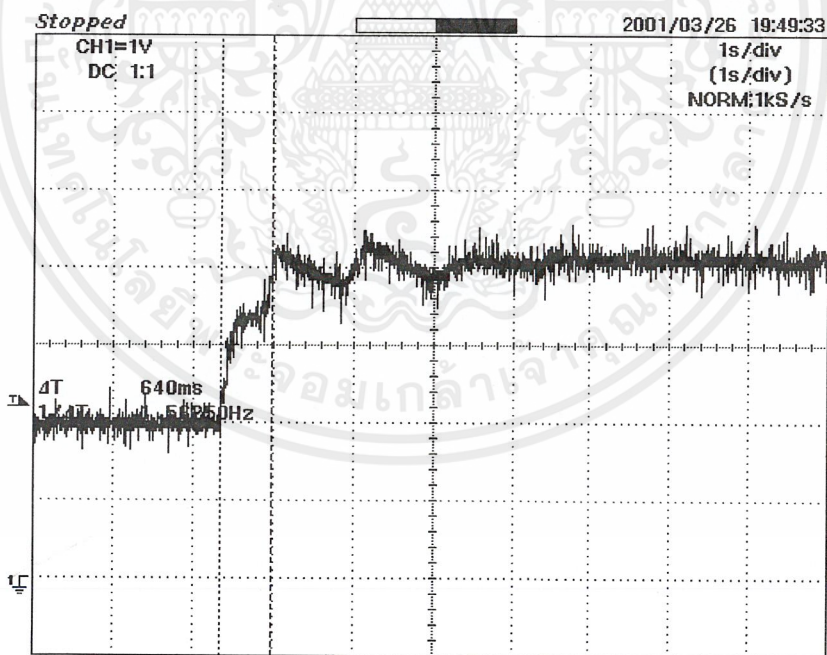
จะได้

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
Rise time (sec)	0.89
Overshoot (%)	15
Nr (ก่อนควบคุม)	763.7
Nr (หลังควบคุม)	752.6
ความถี่ (หลังควบคุม)	22.7

ผลการทดลองที่ 1.3

เมื่อใช้ค่า

$K_E = 2.5$	$K_{CE} = 2.5$	$K_{CU} = 2.0$
-------------	----------------	----------------



รูปที่ 7.14 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_{CU} = 2.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

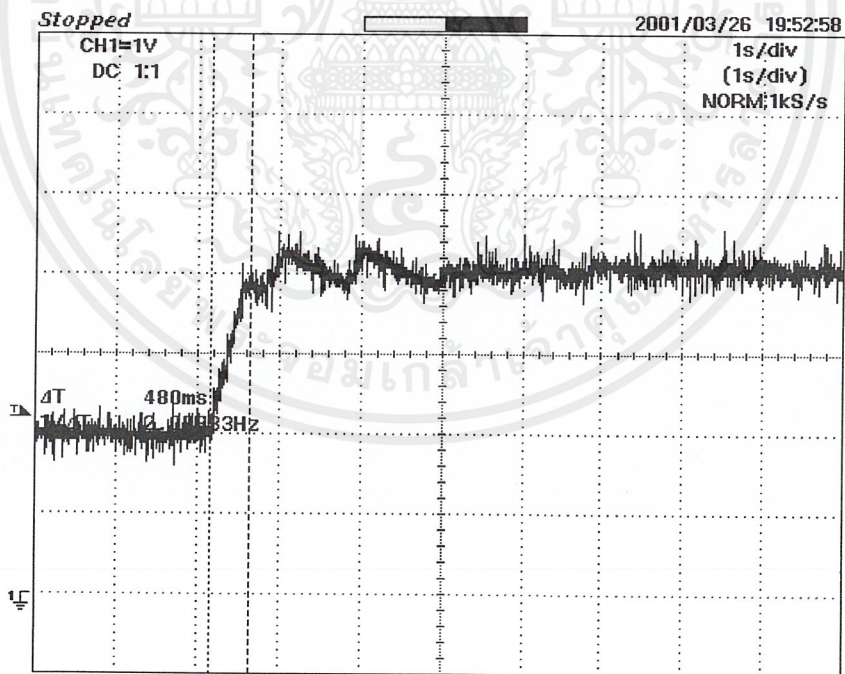
จะได้

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
Rise time (sec)	0.64
Overshoot (%)	10
Nr (ก่อนควบคุม)	763.9
Nr (หลังควบคุม)	752.3
ความถี่ (หลังควบคุม)	22.7

ผลการทดลองที่ 1.4

เมื่อใช้ค่า

$K_E = 2.5$	$K_{CE} = 2.5$	$K_{CU} = 2.5$
-------------	----------------	----------------



รูปที่ 7.15 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_{CU} = 2.5$

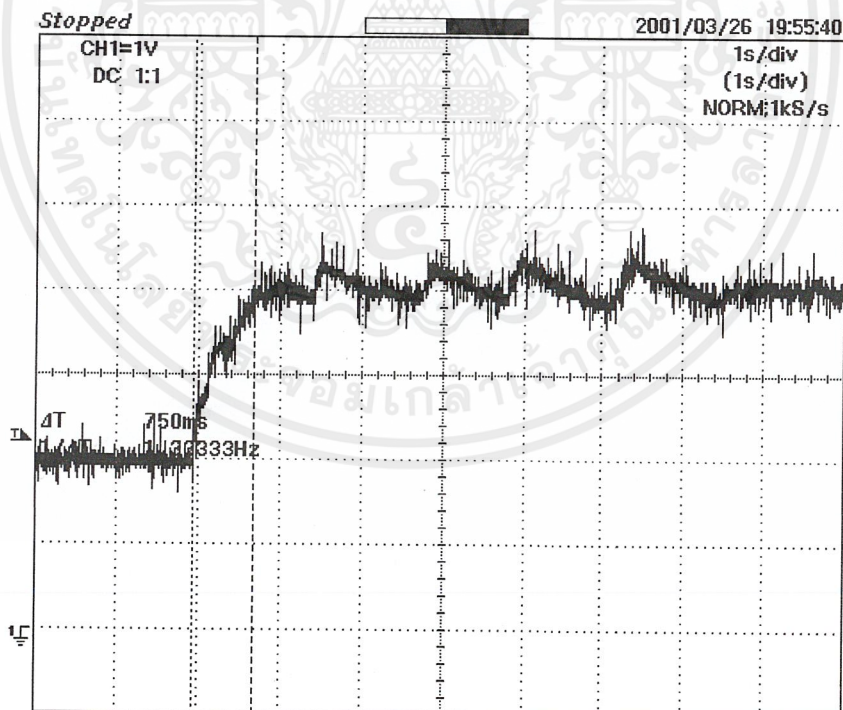
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
Rise time (sec)	0.48
Overshoot (%)	12
Nr (ก่อนควบคุม)	764.1
Nr (หลังควบคุม)	752.7
ความถี่ (หลังควบคุม)	22.7

ผลการทดลองที่ 1.5
เมื่อใช้ค่า

$K_E = 2.5$	$K_{CE} = 2.5$	$K_{CU} = 3.0$
-------------	----------------	----------------



รูปที่ 7.16 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_{CU} = 3.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
Rise time (sec)	0.75
Overshoot (%)	5
Nr (ก่อนควบคุม)	763.9
Nr (หลังควบคุม)	752.6
ความถี่ (หลังควบคุม)	22.7

การทดลองที่ 2

ทำการปรับค่า K_E และ K_{CE} ตั้งแต่ 0.2 ถึง 0.5 เพื่อหาค่าผลตอบสนองที่ดีที่สุดโดยทำการทดลอง ดังนี้

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ต่อดวงจรมารูป 7.11 โดยที่อินดักชันเจนเนอเรเตอร์ต่อแบบเดลต้า (Delta)
- 2) นำ Digital storage oscilloscope วัดสัญญาณแรงดันจากเอาต์พุต ของ Current sensor
- 3) ตั้ง K_E, K_{CE}, K_{CU} ในโปรแกรม TABLEIG4 ดังนี้

$$K_E = 0.5$$

$$K_{CE} = 0.5$$

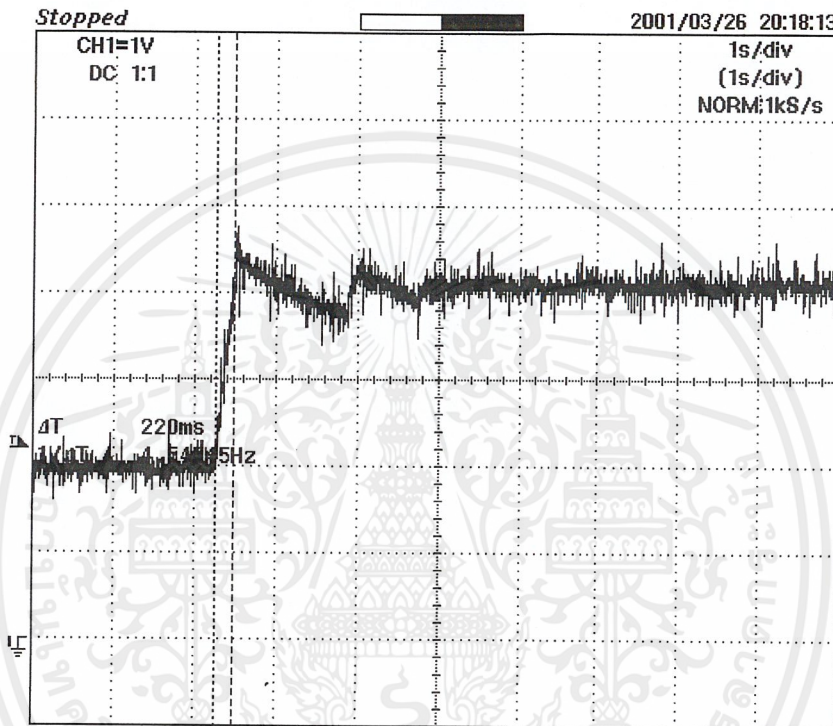
$$K_{CU} = 2.5$$
- 4) Run โปรแกรม TABLEIG4 อินเวอร์เตอร์ 1 จะถูกตั้งความถี่ที่ 25 Hz
- 5) ปรับความถี่ อินเวอร์เตอร์ 2 จนกระทั่งกระแสมอเตอร์เป็น ศูนย์ ขณะนี้กำลังเริ่มเป็นเจนเนอเรเตอร์ บันทึกค่าความเร็วโรเตอร์
- 6) จากนั้นตัวควบคุมจะทำการลดความถี่ อินเวอร์เตอร์ 2 จนกระทั่งกระแสจลน์แบบเตอร์มีค่า 2 A บันทึกผลตอบสนองของกระแสโดย Digital storage oscilloscope
- 7) ทำแบบ การทดลองที่ 1 โดย ปรับค่า $K_{CU} = 2.5$ คงที่ไว้ จากนั้น ทำการปรับค่า K_E และ K_{CE} เป็น 0.5 , 0.33, 0.25 , 0.2 บันทึกผลตอบสนอง จะได้ผลการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 2.1

เมื่อใช้ค่า

$K_E = 0.5$	$K_{CE} = 0.5$	$K_{CU} = 2.5$
-------------	----------------	----------------

รูปที่ 7.17 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_E, K_{CE} = 0.5$

จะได้

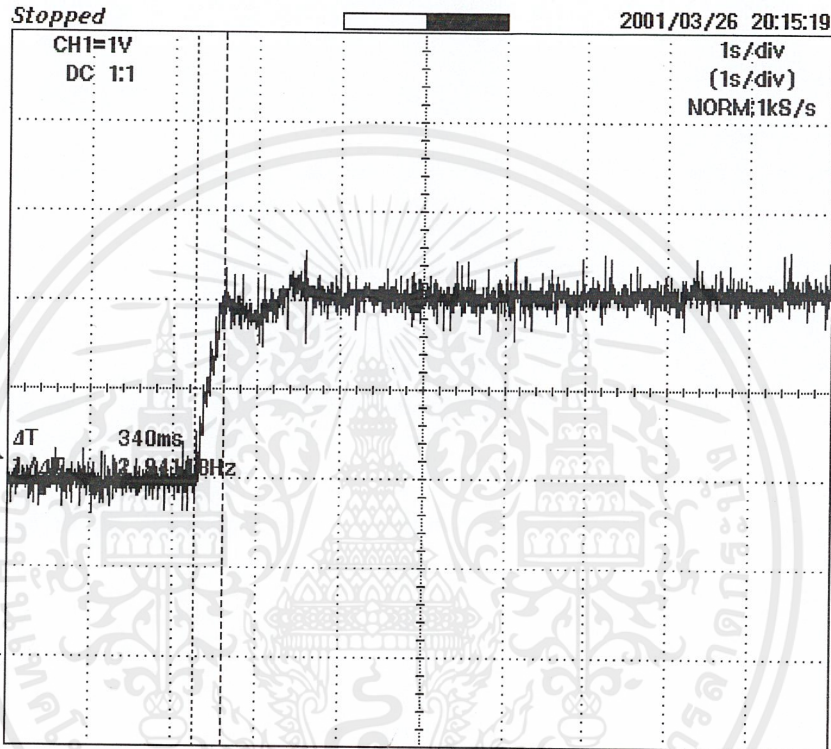
ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
Rise time (sec)	0.22
Overshoot (%)	20
Nr (ก่อนควบคุม)	763.0
Nr (หลังควบคุม)	752.4
ความถี่ (หลังควบคุม)	22.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 2.2

เมื่อใช้ค่า

$K_E = 0.33$	$K_{CE} = 0.33$	$K_{CU} = 2.5$
--------------	-----------------	----------------

รูปที่ 7.18 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_E, K_{CE} = 0.33$

จะได้

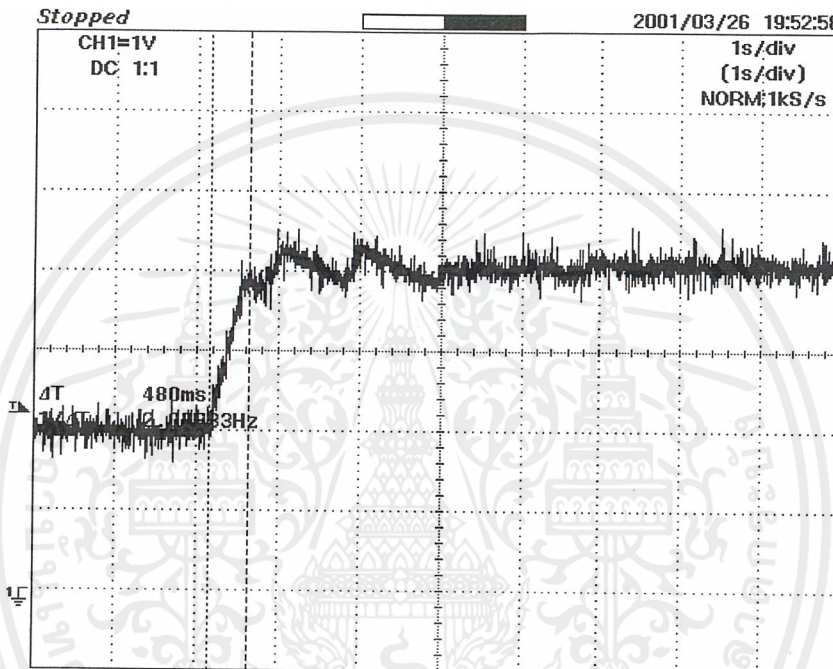
ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
Rise time (sec)	0.34
Overshoot (%)	0
Nr (ก่อนควบคุม)	763.0
Nr (หลังควบคุม)	752.4
ความถี่ (หลังควบคุม)	22.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 2.3

เมื่อใช้ค่า

$K_E = 0.25$	$K_{CE} = 0.25$	$K_{CU} = 2.5$
--------------	-----------------	----------------

รูปที่ 7.19 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_E, K_{CE} = 0.25$

จะได้

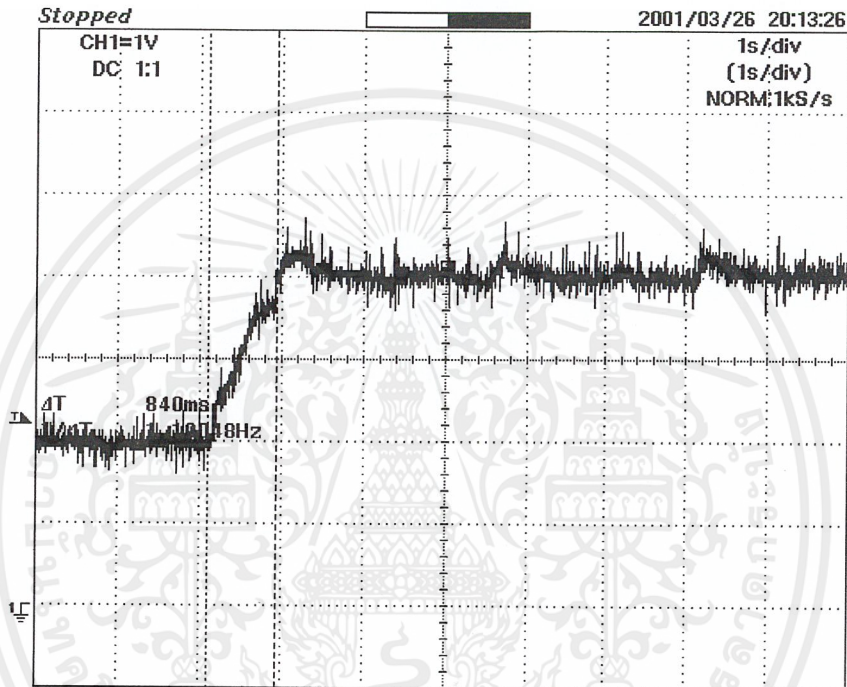
ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
Rise time (sec)	0.48
Overshoot (%)	12
Nr (ก่อนควบคุม)	764.1
Nr (หลังควบคุม)	752.7
ความถี่ (หลังควบคุม)	22.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 2.4

เมื่อใช้ค่า

$K_E = 0.2$	$K_{CE} = 0.2$	$K_{CU} = 2.5$
-------------	----------------	----------------

รูปที่ 7.20 ผลตอบสนองของกระแสเมื่อ $K_E, K_{CE} = 0.2$

จะได้

ค่าที่ทำการวัด	ค่าที่ได้
Rise time (sec)	0.84
Overshoot (%)	12.5
Nr (ก่อนควบคุม)	763.6
Nr (หลังควบคุม)	752.7
ความถี่ (หลังควบคุม)	22.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3

ทำการทดลองระบบควบคุมโดยการปรับค่านำที่ความเร็วต่างๆ เพื่อพิจารณาว่าระบบควบคุมจะสามารถปรับความถี่ป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าจ่ายเข้ามอเตอร์สูงสุดหรือไม่ โดยจะเปรียบเทียบกับค่าต่างๆ ซึ่งได้ทดลองไว้แล้วในบทก่อนหน้าดังนี้

Nr (rpm)	f (Hz)	V_{LL} (v)	Phase U		Phase V		Phase W		S	$P_{3\phi}$
			I_U	θ_U	I_V	θ_V	$I_{W(A)}$	θ_W		
1597	50	220	2.09	-130	2.15	-125	2.21	-129	-0.0646	-880
1287	40	179	2.1	-123	2.01	-120	2.07	-125	-0.0725	-597
982	30	134	2.06	-118	2.02	-117	2.01	-120	-0.0911	-387
677	20	89.2	2.06	-118	2.02	-110	2.05	-111	-0.1283	-152
429	12	52.7	2	-93	1.95	-94	2	-95	-0.1916	-22

ขั้นตอนการทดลอง

- ขั้นตอนที่ 1) ต่อดวงจรรูป 8.11 โดยที่อินดักชันเจนเนอเรเตอร์ต่อแบบเดลต้า (Delta)
- ขั้นตอนที่ 2) รันโปรแกรม Project4 จากคอมพิวเตอร์ และเซตให้อินเวอร์เตอร์ 1 ให้ทำงานโดยเซตความถี่เริ่มต้น เท่ากับ 0 Hz
- ขั้นตอนที่ 3) รันอินเวอร์เตอร์ 2 โดยค่อย ๆ เพิ่มความถี่อินเวอร์เตอร์ 2 สังเกตความเร็วโรเตอร์เมื่อความเร็วโรเตอร์ เพิ่มจนกระทั่งมากกว่า 300 rpm คอนโทรลเลอร์จะทำงาน โดยจะปรับเพิ่มหรือลดความถี่อินเวอร์เตอร์ 1 เพื่อให้ได้ กระแสที่ค่า 2 A หรือกำลังไฟฟ้าจ่ายคืนมากที่สุด
- ขั้นตอนที่ 4) ปรับอินเวอร์เตอร์ 2 จนกระทั่งความถี่อินเวอร์เตอร์ 1 มีค่า 15 Hz สังเกตสมรรถนะของ คอนโทรลเลอร์ที่ป้อนความถี่ให้อินเวอร์เตอร์ 1 จดบันทึกค่าต่างๆ ดังนี้ กระแส (I_p) , แรงดัน (V_{LL}) ที่สเตเตอร์ของอินดักชันเจนเนอเรเตอร์ และความเร็วโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5) ทำตามขั้นตอนที่ 4 แต่ปรับความถี่อินเวอร์เตอร์ 2 เพิ่มขึ้นจนกระทั่งความถี่อินเวอร์เตอร์ 1 อยู่ที่ 20 Hz , 25 Hz ,30Hz ,35 Hz ,40 Hz ,45 Hz และ50Hz จดบันทึกค่าที่ความถี่อินเวอร์เตอร์ 1 ต่าง ๆ

ขั้นตอนที่ 6) นำค่าต่าง ๆ มาคำนวณกำลังงาน 3 เฟส ในแต่ละความถี่อินเวอร์เตอร์ 1 จะได้ผลการทดลองดังนี้

เมื่อใช้ค่า

$K_E = 0.33$	$K_{CE} = 0.33$	$K_{CU} = 2.5$
--------------	-----------------	----------------

Nr (rpm)	f (Hz)	V_{LL} (v)	Phase U		Phase V		Phase W		$P_{3\phi}$
			I_U	θ_U	I_V	θ_V	$I_{W(A)}$	θ_W	
1548	50	245	2	-118	2	-115	2.04	-120	-665.89
1413	45	220	2.04	-118	2	-116	2.08	-120	-632.38
1265	40	193	2.04	-118	2.07	-116	2.15	-120	-567.45
1120	35	166	2	-117	2	-115	2.05	-118	-450.80
974	30	142	2	-115	2.08	-112	2.16	-115	-362.7
821	25	117.5	2.02	-112	2.05	-110	2.17	-113	-273.56
670	20	93	2.05	-107	2.1	-105	2.15	-108	-168.08
511	15	68	2.02	-102	2.04	-99	2.07	-102	-79.52

สรุปผลการทดลอง

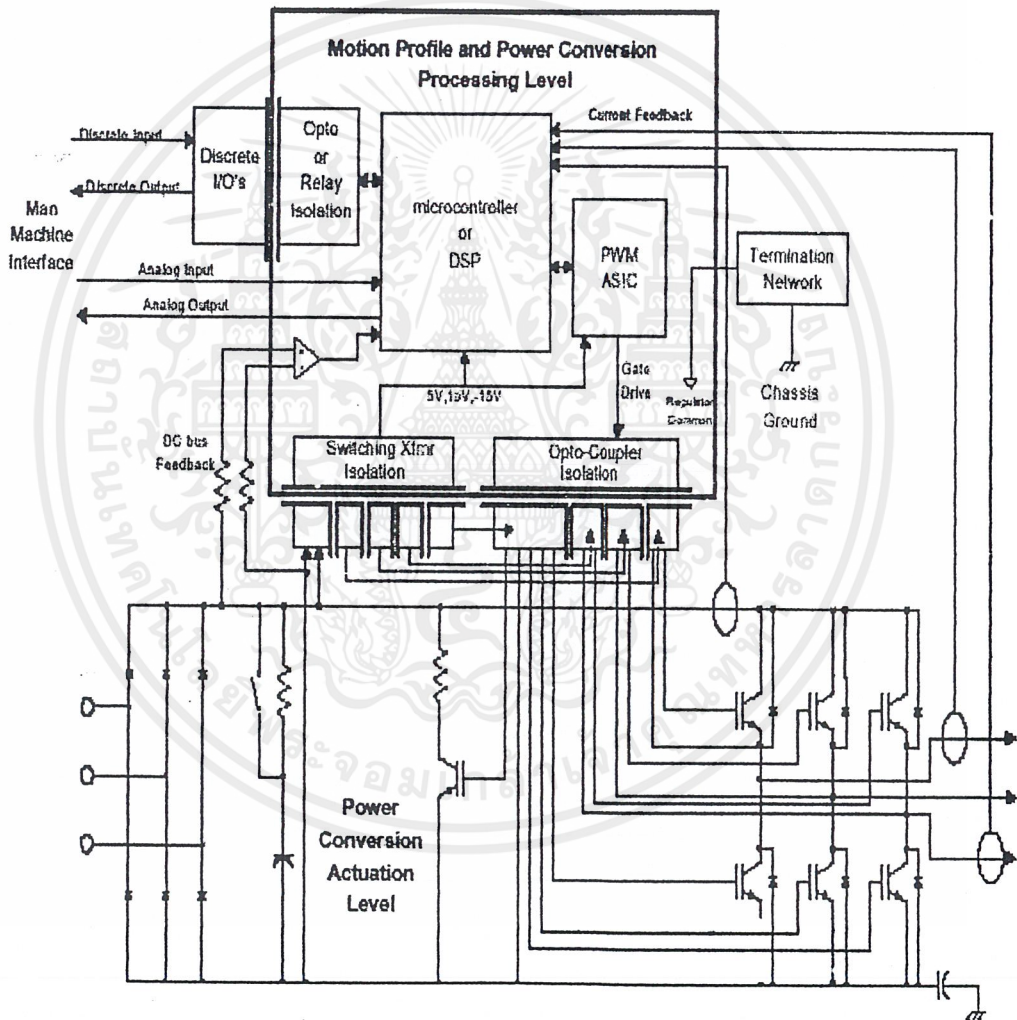
การทดลองที่ 1 และ 2 เป็นการทดลองหาค่า K_E , K_{CE} และ K_{CU} ที่ทำให้ผลตอบสนองมีค่าดีที่สุด ที่ความเร็วโรเตอร์ประมาณ 763 rpm จากการทดลองที่ 1 ซึ่งพบว่า ค่า K_{CU} ซึ่งทำให้ผลตอบสนองมีค่าดีที่สุด คือ $K_{CU} = 2.5$ และจากการทดลองที่ 2 พบว่า ค่า K_E , K_{CE} ซึ่งทำให้ผลตอบสนองมีค่าดีที่สุด คือ $K_E = 0.33$ และ $K_{CE} = 0.33$ โดยเมื่อทำการทดลองที่ 3 เมื่อนำค่า K_E , K_{CE} และ K_{CU} ไปใช้ควบคุมที่ความเร็วโรเตอร์อื่นๆ พบว่ายังมีผลตอบสนองที่ดีอยู่ โดยสามารถเข้าสู่เซตพอยต์ได้ทุกความเร็วโรเตอร์



บทที่ 8

การนำอินเวอร์เตอร์มาประยุกต์ใช้ งานกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

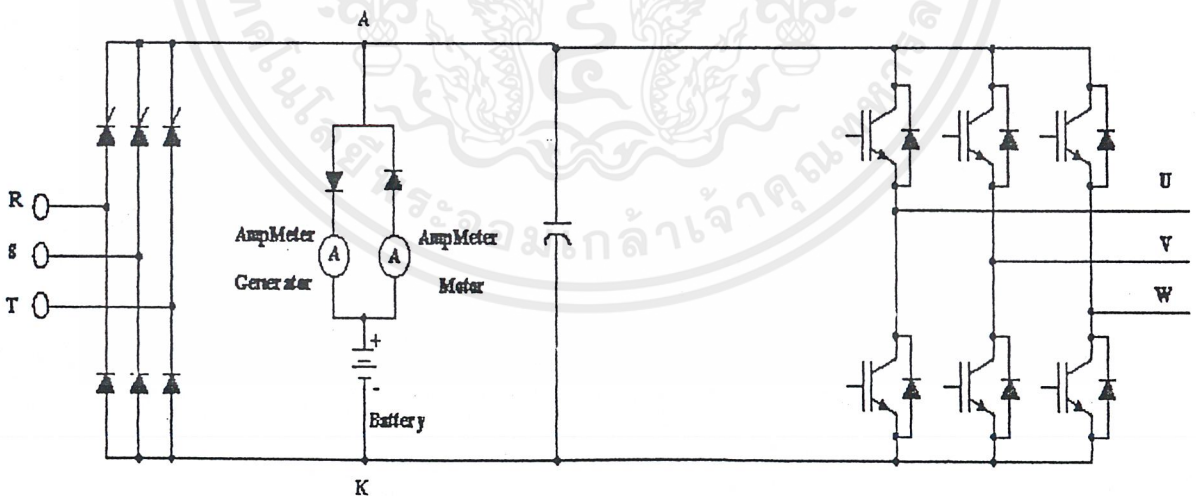
8.1 การนำอินเวอร์เตอร์มาประยุกต์ใช้งานกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



รูปที่ 8.1 แสดงวงจรภายในและ ไดอะแกรมของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

จากรูป 8.1 เป็นไดอะแกรมของอินเวอร์เตอร์ทั่วไปที่นำมาใช้สำหรับควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และเมื่อต้องการให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยให้กำลังงานไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำผลิตได้นั้นเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ ซึ่งมีการต่อได้ตามรูป 8.2 จากรูปจะเห็นว่ามิเตอร์ต่ออนุกรมกับไดโอดขนานกันอยู่แบบกลับขั้ว ซึ่งจะเป็นตัวบ่งบอกถึงสถานะการเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือมอเตอร์ ซึ่งจากที่ทราบกันโดยทั่วไปแล้วว่าอินเวอร์เตอร์สามารถทำงานในย่านของการคืนกำลัง(Regenerative) ได้และจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าไปสู่แหล่งจ่ายไฟตรง(D.C. Source)ที่ต่ออยู่กับอินเวอร์เตอร์ แต่ในอินเวอร์เตอร์ทั่วไปนั้นแหล่งจ่ายไฟตรงที่ได้มานั้นได้มาจากการแปลงแรงดันจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งใช้วงจรเรกติไฟเออร์(Rectifier) ดังนั้นกำลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งจะมีกระแสไหลกลับทิศทางคือจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสู่แหล่งจ่ายซึ่งไม่สามารถไหลผ่านชุดวงจรเรกติไฟเออร์ของอินเวอร์เตอร์ได้ ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้เก็บพลังงานมิฉะนั้นจะทำให้ประจุที่สะสมในตัวคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้แรงดันไฟตรงที่ขั้ว(D.C. link) เพิ่มขึ้นทำให้อินเวอร์เตอร์หยุดการทำงานเนื่องจากชุดการป้องกันภายในของอินเวอร์เตอร์เอง ซึ่งปรากฏการณ์นี้อาจเกิดขึ้นได้ในกรณีที่แบตเตอรี่เต็มซึ่งเป็นสาเหตุให้ไม่สามารถชาร์จกระแสเข้าไปได้อีกจึงทำให้แรงดันไฟตรงที่ขั้วมีค่าเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 8.2 แสดงการตัดแปลงอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทั่วไปให้สามารถคืนกำลังงานเข้าแบตเตอรี่

หน้าที่หลักๆ ของ อินเวอร์เตอร์ คือ เป็นตัวกำหนดความถี่และควบคุมการ กระตุ้นการสร้างสนามแม่เหล็ก (Excitation) ซึ่งจะอธิบายพอคร่าวๆว่าเป็นการควบคุม กระแสกระตุ้นการสร้างสนามแม่เหล็ก (Exciting Current) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำซึ่งค่ากระแสกระตุ้นนี้เป็นตัวทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก ส่วนหน้าที่อีกอย่างหนึ่งของอินเวอร์เตอร์คือ เป็นตัวเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าสลับเป็นกระแสไฟฟ้าตรง โดยมีไดโอดที่ต่อกับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ของอินเวอร์เตอร์ เพราะว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้นเป็นเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) แต่จะดูดกลับ กำลังไฟฟ้าเสมือน(Reactive Power)ซึ่งกำลังไฟฟ้าเสมือนนี้จะทำให้เกิดกระแสกระตุ้นให้เกิดการทำงานเป็น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำซึ่งกำลังไฟฟ้าเสมือนได้จากระบบไฟฟ้าหรือจากคาปาซิเตอร์ที่ต่อขนานกับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำและการสวิตซ์ซึ่ง(Switching) เมื่อเราใช้ อินเวอร์เตอร์ก็จะเป็นการกระตุ้นสนามแม่เหล็กแบบ สวิตซ์ซึ่ง เมื่อกกล่าวโดยรวมแล้วพบว่า อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันแบบ พัลส์วIDTHมอดดูเลชั่น (PWM Voltage Source Inverter) ที่มีใช้ในท้องตลาดทั่วไป ,แบตเตอรี่ สามารถทำงานในย่านของการคืนกำลังงานได้อย่างต่อเนื่องซึ่งบรรลุดัชนีประสงค์ในการจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ผ่านอินเวอร์เตอร์ สู่ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนความสามารถในการจ่ายกำลังงานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับค่าสลิป และแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปตามค่าความถี่ของ อินเวอร์เตอร์ ที่เปลี่ยนไปเพราะเราใช้ อินเวอร์เตอร์ ที่มีการควบคุมแบบ แรงดันต่อความถี่ (V / f) โดยกำลังงานไฟฟ้าที่ได้จะแปรเปลี่ยนตามค่าสลิปและ แรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แต่ต้องอยู่ในขอบเขตที่ว่า ขนาดกระแสของกระแสต้องไม่เกินพิกัดของมอเตอร์ ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับฉนวนของขดลวด

8.2 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ใช้ในโครงการนี้

ในทางปฏิบัติแล้ว เครื่องจักร ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีการสูญเสียภายในตัวมันเองดังนั้นเมื่อมี กำลังอินพุททางกล เข้ามา ก็จะต้องมีค่าเกินกว่าค่าการสูญเสียภายในจึงจะสามารถจ่ายกำลังงาน ไฟฟ้าได้ซึ่งก็คือสามารถเป็นเครื่องกำเนิดกำลังงานไฟฟ้าได้นั่นเอง โดยจะสังเกตเหตุการณ์ทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้ 3 เหตุการณ์ คือ

เหตุการณ์ที่ 1 แสดงถึงไม่มีการแลกเปลี่ยนกำลังงานไฟฟ้าระหว่าง แบตเตอรี่ และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งสังเกตได้จากมุมของกระแสที่ล้าหลังแรงดันในแต่ละเฟส โดยจะมีมุมเท่ากับ -90° ซึ่งพบว่า กำลังงานไฟฟ้าจริง เมื่อ θ มีค่าเท่ากับ -90° ทำให้ กำลังที่ได้ เป็นศูนย์นั่นคือ ไม่มีการแลกเปลี่ยนกำลังงานไฟฟ้าระหว่างกัน

เหตุการณ์ที่ 2 มุมของกระแสจะล้าหลังมุมของแรงดันมากกว่า -90° ซึ่งแสดงถึงเงื่อนไขที่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายกำลังงานไฟฟ้าไปสู่ แบตเตอรี่พลังงาน ถูกเก็บสะสมไว้ใน แบตเตอรี่ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการ ชาร์จแบตเตอรี่

เหตุการณ์ที่ 3 มุมของกระแสจะไม่สามารถล้าหลังมุมของแรงดันได้มากกว่า -90° ถึงแม้ว่าเราจะเพิ่มความเร็วยรอบของโรเตอร์ให้มากกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหลายๆ ก็ตาม ซึ่ง จะแสดงถึง เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำไม่สามารถคืนกำลังงานไฟฟ้าได้เพราะ ต้องไปชดเชยการสูญเสียภายใน เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำเอง

จากการทดลองเมื่อใช้ มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้าต่อกับอินเวอร์เตอร์แบบ แหล่งจ่ายแรงดันแบบ พัลส์วิดท์มอดดูเลชั่นแบบแรงดันต่อความถี่ พบว่ามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า ไม่สามารถเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ ที่ความถี่ประมาณ 20% (10 Hz) ของ พิกัด(50 Hz) โดยแรงดันจะลดลงตามสัดส่วนของความถี่ที่ลดลงและเมื่อทำให้ความเร็วของ โรเตอร์ มากกว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนแล้วมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็ไม่สามารถแสดงสถานะเป็น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ ซึ่งพิจารณาได้จากมุม θ ของกระแสที่ล้าหลังแรงดันในแต่ละเฟสของ มอเตอร์จะมีค่าไม่เกิน -90° แม้ว่าจะเพิ่มความเร็วยรอบของโรเตอร์ไปมากกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนไป เท่าใดก็ตาม และ เมื่อเราลดความถี่ลงไปที่อีกค่ามุมที่เป็นลบสูงสุดก็จะมีค่าไม่ถึง -90° และจะลดลง เรื่อยๆ ตามความถี่ที่ลดลงที่ความถี่ต่ำๆ นี้จะทำให้แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์มีค่าน้อยทำให้สร้างกำลัง งานไฟฟ้าขึ้นมาได้น้อย ซึ่งอาจดูเทียบกับสมการ ได้ว่ากำลังงานแปรเปลี่ยนตามแรงดันที่ได้โดยกำลัง งาน นี้จะเท่ากับหรือน้อยกว่า การสูญเสียภายในของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จึงไม่สามารถทำตัว เป็นเครื่องกำเนิดได้ ซึ่งสิ่งที่กำหนดว่าเราจะต้องลดความถี่ลงก็คือความเร็วยรอบของโรเตอร์ เพื่อจะ ให้ได้กำลังงานไฟฟ้าสูงสุดเราจึงจำเป็นต้องลดความถี่ลงเพื่อให้ สลิป ที่ทำให้คืนกำลังงานที่มีค่าสูง สุดที่กระแสพิกัด ซึ่งจากการทดลองพบว่าความเร็วยรอบของ โรเตอร์ ต่ำสุดโดยที่ทำให้เกิดกำลังงาน สูงสุดที่สร้างขึ้นได้มีค่าเท่ากับ การสูญเสีย พอดีคือ ที่ 300 รอบต่อนาที(rpm) ถ้าความเร็วยรอบต่ำกว่า นี้ก็ไม่สามารถเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ โดยจะทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าแทน ซึ่งที่ ความเร็วยรอบต่ำๆ นี้ก็แสดงถึง กำลังงานอินพุททางกลที่ถูกเปลี่ยนเป็นอินพุททางไฟฟ้าจะ ไม่สามารถ คืนพลังงานได้เนื่องจากกำลังงานที่ได้จะถูกชดเชยไปในรูปของการสูญเสียภายในของเครื่องจักรไฟ ฟ้าเหนี่ยวนำเกือบทั้งหมด

สรุป เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ มีขอบเขตการทำงานที่จำกัดโดยจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เหนี่ยวนำได้ก็ต่อเมื่อกำลังงาน ไฟฟ้าที่สามารถสร้างขึ้น ได้มีค่ามากกว่าการสูญเสียภายในของเครื่อง จักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั่นเอง

บทที่ 9

สรุปผลและวิจารณ์

บทสรุปและวิจารณ์

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถทำงานในสภาวะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้จริงตามทฤษฎี โดยต้องมีการจ่ายกำลังรีแอกทีฟให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่สเตเตอร์และต้องมีตัวลัดกำลังขั้ว โรเตอร์ให้มีความเร็วรอบมากกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน เรามีการจ่ายกำลังรีแอกทีฟให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการทดลองแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

การทดลองเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีการต่อกับระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อจ่ายกำลังรีแอกทีฟให้มันเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กหมุน จากการทดลองสรุปว่าถ้าเรามีการป้อนระดับแรงดันที่พิกัดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานและปรับให้ความเร็วต้นกำลังมีค่ามากกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนเพียงเล็กน้อย ก็สามารถทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานที่ กระแสพิกัดได้ ซึ่งจุดนี้สมควรเป็นจุดที่พิจารณานำมาใช้งาน แต่ถ้าเราเพิ่มระดับแรงดันเกินพิกัดที่ป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้น จะไม่สามารถทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้กำลังมากขึ้นเนื่องจาก จะเกิดการอิมพัลส์ของเส้นแรงแม่เหล็ก จึงพิจารณาใช้งานที่ระดับแรงดันพิกัดเป็นสำคัญ

การทดลองเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำถูกควบคุมจากอินเวอร์เตอร์เพื่อปรับลดความถี่ที่ป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ทำให้มันสามารถทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายกำลังงานผ่านอินเวอร์เตอร์เพื่อเก็บพลังงานเข้าแบตเตอรี่ที่ความถี่ต่างๆที่ป้อนมาจากอินเวอร์เตอร์ได้ ซึ่งอินเวอร์เตอร์ที่เรานำมาทำการควบคุมให้คืนกำลังงานนั้นจำเป็นต้องมีการดัดแปลงจากอินเวอร์เตอร์ที่มีใช้งานทั่วไป ซึ่งการควบคุมอินเวอร์เตอร์ให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้นเราจะพิจารณาให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานที่กระแสพิกัด ในทุกความถี่ที่ป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ หรืออาจจะหมายถึงถ้าเรามีความเร็วต้นกำลังมาอย่างไรเราก็พยายามลดความถี่เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้นสามารถคืนกำลังงานที่กระแสพิกัดและจะทำให้ได้กำลังงานที่คืนมาที่คี่ที่สุดในความถี่นั้นๆ การคืนกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในแต่ละความถี่นั้น เมื่อปรับความถี่จากต่ำๆและเพิ่มขึ้นจนถึงความถี่ที่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในช่วงนี้จะมีการคืนกำลังเป็นอัตราส่วนเนื่องมาจากอินเวอร์เตอร์ที่ใช้งานนั้นป้อนความถี่ที่มีอัตราส่วนกับแรงดันทำให้ได้กำลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เป็นอัตราส่วนเหมือนกันนั่นเอง ในการใช้งานที่ความถี่เกินพิกัดมากๆจะทำให้กำลังงานที่ได้มานั้นไม่มีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำถูกควบคุมในย่านความถี่เกินพิกัดทำให้เกิดการลดลงของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อความถี่สูงขึ้น ดังนั้นเราจึงไม่ควรใช้งานที่ความถี่ที่สูงมากเพราะจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องหมุนด้วยความเร็วที่สูงมากตามความถี่ที่สูงขึ้นด้วย ซึ่งอาจจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดความเสียหายจากชิ้นส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะที่หมุนได้ จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วต้นกำลังมีความเร็วมากน้อยเท่าไรก็ตาม ถ้าโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีความเร็วที่มากพอเราก็สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยปรับความถี่จากอินเวอร์เตอร์ได้

สรุป ระบบทั้งหมดที่เราใช้ในโครงการนี้เป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะอธิบายได้ว่า เมื่อความเร็วต้นกำลังหมุนเกินค่าความเร็วค่าหนึ่ง จะมีตัวจับความเร็วแล้วส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แล้วคอมพิวเตอร์จะสั่งให้มีการเริ่มสร้างความถี่ป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจาก 0 Hz จนหมุนไปตามความเร็วของต้นกำลังจนทำให้สามารถทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำตั้งแต่ความถี่นั้นๆ และเมื่อความเร็วต้นกำลังมากขึ้นหรือน้อยลงเราก็จะทำการจับกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้ได้กระแสพิกัดตลอด ซึ่งเรามีตัวจับสัญญาณของกระแสแล้วป้อนให้คอมพิวเตอร์แล้วให้คอมพิวเตอร์ที่ประมวลผลโดยหลักของพีซี ที่เขียนโดยภาษาซีและจะส่งค่าออกมาป้อนแรงดันที่อินเวอร์เตอร์เพื่อทำการปรับความถี่ โดยค่าที่เราส่งไปนั้นจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานที่กระแสพิกัดได้ และเมื่อความเร็วต้นกำลังตกลงจนถึงจุดที่ไม่สามารถทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานที่ความถี่ต่ำได้แล้ว เราจะทำการตัดวงจรออกไม่ให้งานเพราะจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานในโหมดของมอเตอร์แทน และถ้าความเร็วของต้นกำลังถึงจุดที่เหมาะสมอีกครั้งก็จะสามารถสั่งให้เริ่มทำงานได้อีกครั้ง

โครงการนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่ที่ว่าต้นกำลังนั้นเป็นต้นกำลังมาจากมอเตอร์ที่เรานำมาขับให้ ตัวโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งถ้าในกรณีใช้กังหันลมจริงเป็นต้นกำลังที่ต่อเข้ากับโรเตอร์ แล้วนั้นจะทำให้ระบบเราเปลี่ยนแปลงเร็วมาก ซึ่งต้องพิจารณาในเรื่องของโครงสร้างของกังหันลมอีกทำให้ในการออกแบบหลักการของพีซีของระบบต้องมีการพิจารณาให้ละเอียดมากขึ้น

โครงการนี้สามารถนำมาทำการศึกษาในกรณีของการผลิตกำลังไฟฟ้าจากกังหันลมได้ ตลอดช่วงของความเร็วได้ แต่จะต้องมีการพิจารณา ลักษณะของกังหันลม ขนาดของพิกัดกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ขนาดพิกัดกำลังของอินเวอร์เตอร์ และกำลังงานลมมีมากเพียงพอ เพื่อจะทำให้เราสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าจากกำลังลมได้ที่เหมาะสมที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรนี้ ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จากท่านผู้มีพระคุณต่อไปนี้

1. ผศ. พิชิต ถ้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ ของโครงการทุก ๆ เรื่อง ทั้งคอยแนะนำสิ่งต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่อไปในอนาคตภายภาคหน้า
2. รศ.ดร. กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้และคำปรึกษาเกี่ยวกับพีชชี ลอจิก เป็นอย่างมาก
3. ผศ.ดร. ปิติเชต สุรักษา อาจารย์ประจำภาคเทคนิคอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับพีชชี ลอจิก เป็นอย่างมาก
4. นายวรชาติ แซ่ก๊ก นักศึกษาปริญญาโทคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ที่สามารถแนะนำได้
5. นายเฉลิมชัย คงมันประกอบกิจ นักศึกษาปริญญาโทคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ที่สามารถแนะนำได้

ศูนย์พัฒนาวิศวกรรมที่คอยให้ความช่วยเหลือในการให้เบิกอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ ไปใช้งาน สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณทุกๆท่านที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงอีกมากมาย

เอกสารอ้างอิง

- [1] พิษิต ถ้ายอง, “เครื่องกลไฟฟ้า 1” , ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] พิษิต ถ้ายอง, “เครื่องกลไฟฟ้า 2” , ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] รัชชชัย อรรถวิบูลย์กุล, “เครื่องกลไฟฟ้า 2” , สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ , 2536
- [4] นิमित บุญภิรม, “การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวควบคุมพีซีแบบปรับตัวเอง” , วิทยานิพนธ์ , 2541 , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 192 หน้า.
- [5] Stephen D. Chapman , “ Electric Machinery Fundamentals ,” Second Edition , McGralhill , Inc , 1991
- [6] IEEE, “IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motor and Generatorm ,” IEEE Standard 112 – 1996
- [7] Ronald R. Yager , Dimitar P. Filev, “Essentials of Fuzzy Modeling and Control ,” John Wiley & Sons Inc , 1994
- [8] Jun Yan , Michael Ryan , and James power , “Using Fuzzy logic ,” Prentice Hall, International (UK) Limited, 1994
- [9] Marcelo Godoy Simões , Bimal K. Bose and Ronald J. Spieegel, “Fuzzy Logic Based Intelligent Control of a Variable Speed Cage Machine Wind Generation System, ” IEEE Transactions on Power Electronics. Vol.12 , No. 1 . January 1997

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NAME PLATE THREE PHASE INDUCTION MOTOR

1 HP 4 POLE

TYPE SF - JR

HERTZ	50			FRAME	80 M
VOLT	220	380		RATING	CONT
AMP	3.4	2.0		INS CLASS	B
RPM		1400		AMB.TEMP	40 C
JIS	C	4004		BEARING	6204-6203 ZZ
JP	44	JP	4	SERIAL	999

3 HP 4 POLE

TYPE SF - JR

HERTZ	50	60		FRAME	100L	
VOLT	220	380	220	380	RATING	CONT
AMP	8.7	5.0	8.3	4.8	INS CLASS	F
RPM		1420		1710	AMB.TEMP	40 C
JIS	C	4004		WEIGHT	24 KGS	
JP	44			BEARING		
JC	4			6206ZZ		
SERIAL	999			6205ZZ		

5 HP 4 POLE

TYPE SF - JR

HERTZ	50	60		FRAME	100L	
VOLT	220	380	220	380	RATING	CONT
AMP	13.7	7.9	13.7	7.9	INS CLASS	F
RPM		1420		1710	AMB.TEMP	40 C
JIS	C	4004		WEIGHT	33 KGS	
JP	44			BEARING		
JC	4			6207ZZ		
SERIAL	799			6206ZZ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุม TABLEIG4

```
# include<stdio.h>
# include<conio.h>
# include<dos.h>

void select ();
void select2();

float E,CE,CE1,CU,CU1,cu, errorx ,error1 ,error2,fs,fs1,Nr,Nr1,Iac,DF1,DF,fs2 ;

float A,i,s1,s2,B,j,Kc,Kcc,Kcu;

unsigned char Iac1 ;

int rl,r2,c1,c2,k,l,m,n;

main()
{
float TABLE_IG[21][21]=
{-0.8750,-0.8750,-0.8750,-0.6700,-0.6300,-0.8750,-0.6300,-0.6700,-0.6700,-0.6300,-0.8750,-0.5643,-0.5056,-0.3450,-0.0050,0.4375,0.1950,0.0550,0.0000,0.0000,0.0000,
-0.8750,-0.8750,-0.8750,-0.6700,-0.6300,-0.8750,-0.6300,-0.6700,-0.6700,-0.6300,-0.8750,-0.5643,-0.5056,-0.3450,-0.0050,0.4375,0.1950,0.0550,0.0000,0.0000,0.0000,
-0.8750,-0.8750,-0.8750,-0.6700,-0.6300,-0.8750,-0.6300,-0.6700,-0.6700,-0.6300,-0.8750,-0.5643,-0.5056,-0.3450,-0.0050,0.4375,0.1950,0.0550,0.0000,0.0000,0.0000,
-0.6700,-0.6700,-0.6700,-0.6357,-0.6071,-0.6700,-0.5875,-0.6125,-0.5944,-0.5722,-0.6333,-0.4955,-0.4654,-0.2821,-0.0393,0.2800,0.1393,0.0393,0.0000,0.0000,0.0000,
-0.6300,-0.6300,-0.6300,-0.6071,-0.6167,-0.6300,-0.5773,-0.5300,-0.5227,-0.4873,-0.5250,-0.4500,-0.3885,-0.2107,-0.1000,0.1200,0.0667,0.0393,0.0000,0.0000,0.0000,
-0.8750,-0.8750,-0.8750,-0.6700,-0.6300,-0.8750,-0.5643,-0.5056,-0.5000,-0.5000,-0.5000,-0.4000,-0.3000,-0.2000,-0.1000,0.0000,0.0000,0.0000,0.0000,0.0000,0.0000,
-0.6300,-0.6300,-0.6300,-0.5875,-0.5773,-0.5643,-0.4633,-0.4269,-0.3929,-0.3889,-0.4000,-0.2778,-0.2143,-0.0714,0.0000,0.1000,0.1667,0.1786,0.2000,0.2000,0.2000,
-0.6700,-0.6700,-0.6700,-0.6125,-0.5300,-0.5056,-0.4269,-0.3500,-0.3214,-0.3214,-0.3000,-0.2143,-0.1429,-0.0000,0.0714,0.2000,0.2500,0.3214,0.4000,0.4000,0.4000,
-0.6700,-0.6700,-0.6700,-0.5944,-0.5227,-0.5000,-0.3929,-0.3214,-0.2143,-0.2143,-0.2000,-0.0714,-0.0000,0.1429,0.2143,0.3000,0.3885,0.4654,0.5056,0.5056,0.5056,
-0.6300,-0.6300,-0.6300,-0.5722,-0.5286,-0.5000,-0.3889,-0.3214,-0.2143,-0.1667,-0.1000,0.0000,0.0714,0.2143,0.2778,0.4000,0.4500,0.4955,0.5643,0.5643,0.5643,
-0.8750,-0.8750,-0.8750,-0.6333,-0.5250,-0.5000,-0.4000,-0.3000,-0.2000,-0.1000,-0.0000,0.1000,0.2000,0.3000,0.4000,0.5000,0.5250,0.6333,0.8750,0.8750,0.8750,
-0.5643,-0.5643,-0.5643,-0.4955,-0.4500,-0.4000,-0.2778,-0.2143,-0.0714,-0.0000,0.1000,0.1667,0.2143,0.3214,0.3889,0.5000,0.5286,0.5722,0.6300,0.6300,0.6300,
-0.5056,-0.5056,-0.5056,-0.4654,-0.3885,-0.3000,-0.2143,-0.1429,-0.0000,0.0714,0.2000,0.2143,0.2143,0.3214,0.3929,0.5000,0.5227,0.5944,0.6700,0.6700,0.6700,
-0.4500,-0.4500,-0.4500,-0.3571,-0.2857,-0.2000,-0.0714,-0.0000,0.1429,0.2143,0.3000,0.3214,0.3214,0.3500,0.4269,0.5056,0.5300,0.6125,0.6700,0.6700,0.6700,
-0.3500,-0.3500,-0.3500,-0.2857,-0.2222,-0.1000,-0.0000,0.0714,0.2143,0.2778,0.4000,0.3889,0.3929,0.4269,0.4633,0.5643,0.5773,0.5875,0.6300,0.6300,0.6300,
-0.2500,-0.2500,-0.2500,-0.2000,-0.1000,-0.0000,0.1000,0.2000,0.3000,0.4000,0.5000,0.5000,0.5000,0.5056,0.5643,0.8750,0.6300,0.6700,0.8750,0.8700,0.8750,
-0.1500,-0.1500,-0.1500,-0.0714,0.0000,0.1000,0.2222,0.2857,0.3885,0.4500,0.5250,0.5286,0.5227,0.5300,0.5773,0.6300,0.6167,0.6071,0.6300,0.6300,0.6300,
-0.0500,-0.0500,-0.0500,0.0000,0.0714,0.2000,0.2857,0.3571,0.4654,0.4955,0.6333,0.5722,0.5944,0.6215,0.5875,0.6700,0.6071,0.6357,0.6700,0.6700,0.6700,
0.0000,0.0000,0.0000,0.5000,0.1500,0.2500,0.3500,0.4500,0.5056,0.5643,0.8750,0.6300,0.6700,0.6700,0.6300,0.8750,0.6300,0.6700,0.8750,0.8750,0.8750,
0.0000,0.0000,0.0000,0.5000,0.1500,0.2500,0.3500,0.4500,0.5056,0.5643,0.8750,0.6300,0.6700,0.6700,0.6300,0.8750,0.6300,0.6700,0.8750,0.8750,0.8750,
0.0000,0.0000,0.0000,0.5000,0.1500,0.2500,0.3500,0.4500,0.5056,0.5643,0.8750,0.6300,0.6700,0.6700,0.6300,0.8750,0.6300,0.6700,0.8750,0.8750,0.8750
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clrscr();
for ( i=1; i<129 ; i++ )
{
    output(0x309,i);
    gotoxy(4,4);
    printf("Data Output =[%.3d] step\n",i);
    gotoxy(4,5);
    printf("Data Output =[%.3f] Hz\n",i*0.19607843);
    delay(200);
}

fs1=25 ;
fs=i;
error1=0.0;
output(0x309,fs);
getch();
do {
    Iac1=inport(0x30a);
    Iac=Iac1*0.0096; /*255step make to 0-4 A */
    gotoxy(35,16);
    printf("Data Iac = %.3f",Iac);
    errorx=2-Iac;
    error2=errorx;
    CE1=error2-error1;
    error1=error2;
    if ( (errorx<0.6&&errorx>-0.6) && (CE1<0.6&&CE1>-0.6) )
    { Ke = 0.6;
      Kce = 0.6;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    Kcu = 0.8; }
else
    { Ke=3;
      Kce=3;
      Kcu=2.5; }
E=errorx / Ke ;                               /*KE = 1/ Ke */
CE=CE1 / Kce ;
A=E;
select();
r1=k , r2=1 , s1=1 ;
A=CE;
select();
c1=k , c2=1 , s2=1 ;
gotoxy (40,9);
printf ( " mcl=%d  c2=%d " ,c1,c2 );
if ((E==1.0||E==0.9||E==0.8||E==0.7||E==0.6||E==0.5||E==0.4||
    E==0.3||E==0.2||E==0.1||E==0.0||E==0.1||E==0.2||E==0.3||
    E==0.4||E==0.5||E==0.6||E==0.7||E==0.8||E==0.9||E==1.0)
    && (CE==1.0||CE==0.9||CE==0.8||CE==0.7||CE==0.6||CE==0.5||
    CE==0.4||CE==0.3||CE==0.2||CE==0.1||CE==0.0||CE==0.1||
    CE==0.2||CE==0.3||CE==0.4||CE==0.5||CE==0.6||CE==0.7||CE==0.8||
    CE==0.9||CE==1.0))
    n=r1,m=c1;
else
    { if (E>s1)
        n = r1;
      else
        n = r2 ;
    }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    if (CE>s2)
        m=c1;
    else
        m=c2;
}

CU = TABLE_IG[m][n];
DF = CU*Kcu;
Gotoxy (35 , 18 );
Printf ( " Data DF = %.5f " , DF );
fs2 = fs1- DF;
fs1 = fs2;
fs=fs2*5.1; /*50Hz make to 255 step */
gotoxy (35,17);
printf ( " Data fs = %.4f " , fs2 );
outport ( 0x309 , fs );
delay ( 150 );

}while ( !kbhit() );
outport ( 0x309 , 0 );
}

void select()
{
if (A>=0.9||A==1.0)
    k=20,l=19,i=0.95;
else if (A>0.8)
    k=19,l=18,i=0.85;
else if (A>0.7)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

k=18,l=17,i=0.75;
else if (A>0.6)
k=17,l=16,i=0.65;
else if (A>0.5)
k=16,l=15,i=0.55;
else if (A>0.4)
k=15,l=14,i=0.45;
else if (A>0.3)
k=14,l=13,i=0.35;
else if (A>0.2)
k=13,l=12,i=0.25;
else if (A>0.1)
k=12,l=11,i=0.15;
else if (A>0.0)
k=11,l=10,i=0.5;
else if (A>-0.1)
k=10,l=9,i=(-0.5);
else if (A>-0.2)
k=9,l=8,i=(-0.15);
else if (A>-0.3)
k=8,l=7,i=(-0.25);
else if (A>-0.4)
k=7,l=6,i=(-0.35);
else if (A>-0.5)
k=6,l=5,i=(-0.45);
else if (A>-0.6)
k=5,l=4,i=(-0.55);

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
else if (A>-0.7)
    k=4,l=3,i=(-0.65);
else if (A>-0.8)
    k=3,l=2,i=(-0.75);
else if (A>-0.9)
    k=2,l=1,i=(-0.85);
else if (A>-1.0)
    k=1,l=0,i=(-0.95);
else if (A==1.0)
    k=0,l=0,i=0;
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้