

รายงานการวิจัย

เรื่อง

เครื่องประหยัดพลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส

Energy Saver of 3 Phase Induction Motor

ผู้ดำเนินการวิจัย

อนุวัฒน์ อางวนิชเลิศ
ประภาส ไพรสวรรณา
สุรเชษฐ เดชฟุ้ง

ภายใต้การสนับสนุนจากหมวดเงินอุดหนุนการวิจัย

ประจำปีงบประมาณ 2541

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพฯ ฯ

รายงานการวิจัย

เรื่อง

เครื่องประหยัดพลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส

Energy Saver of 3 Phase Induction Motor

ผู้ดำเนินการวิจัย

อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

ประภาส ไพโรสุวรรณ

สุรเชษฐ เดชฟุ้ง

RCH

TK

2785

๑๒๒๖

๒๖.๒

เลขหมู่.....

64392

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี. 1 1 ก.ย. 2549

b. 11105956
i.

ภายใต้การสนับสนุนจากหมวดเงินอุดหนุนการวิจัย

ประจำปีงบประมาณ 2541

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพ ฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากหมวดเงินทุนอุดหนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2541 คณะผู้จัดทำการวิจัยใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องประหยัดพลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส

Energy Saver of Three-Phase Induction Motor

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนออุปกรณ์ควบคุมพลังงานโดยวิธีการควบคุมสลลิป ที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพและค่าตัวประกอบกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ชนิดกรงกระรอก มีค่าสูงขึ้น โดยใช้หลักการของการลดแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ด้วยวิธีการควบคุมมุมจุดชนวนของ เอสซีอาร์ และใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) ซึ่งรับสัญญาณมาจากอุปกรณ์ตรวจจับความเร็วมอเตอร์เป็นตัวควบคุมมุมจุดชนวน เพื่อให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบที่เต็มพิกัดตลอดเวลาและทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าเท่ากับตัวประกอบกำลังที่พิกัด ทำให้มอเตอร์ได้รับพลังงานเหมาะสมกับโหลดที่มันขับเคลื่อน ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานที่จ่ายให้มอเตอร์และเป็นการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ไปพร้อม ๆ กัน พร้อมกับได้มีการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความผิดเพี้ยนรวมถึงได้คำนวณและติดตั้งรีแอกเตอร์เพื่อลดแฟกเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยนของแหล่งจ่ายไฟที่เกิดจากวงจรควบคุมแรงดันด้วย จึงทำให้สมรรถนะของแหล่งจ่ายไฟและมอเตอร์ดีขึ้น ดังนั้นการควบคุมด้วยวิธีนี้จึงเหมาะที่จะใช้งานจริง โดยได้ทดสอบกับมอเตอร์ 2 ขนาด คือ 1500 วัตต์ และ 300 วัตต์ ซึ่งผลการทดสอบสามารถประหยัดพลังงานได้ดีในช่วงมอเตอร์ทำงานที่ 0-60% ของพิกัดมอเตอร์

Abstract

This research presents the energy controller by slip control method with an adaptive efficiency and power factor of three-phase and two horsepower squirrel cage induction motor. It is implemented by the principle of decreasing voltage to stator winding of motor for controlling the firing angle of SCR and using the digital signal processing (DSP) that receives motor' speed detector for controlled firing angle. The speed of motor maintains nearly a full load slip and full load power factor as possible. However, the motor still properly works as normal. This enables suitable power to the three-phase induction motor and its load to save the power motor and to improve the power factor. Then, there are the analyzing of distortion factor, calculating, and installing reactor to decrease distortion factor of AC source due to AC voltage controller. These cause a better AC source and motor performance; therefore, this energy controller is really practical. There is a test with 1500 W motor and 300 W motor. The findings reveal that the energy controller can save the energy at 0-60% rate of motor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	II
บทคัดย่อ	III
Abstract	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VI
บทนำ	1
คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	2
การทำงานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์	4
ผลการทดลอง	10
สรุป	19
เอกสารอ้างอิง	20
ภาคผนวก	
ประวัติผู้ทำวิจัย	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญัตราง

ตารางที่	หน้า
1. ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน	11
2. อุปกรณ์ควบคุมพลังงานและไม่ติดตั้ง L	12
3. ขณะมอเตอร์มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงานที่ติดตั้งอุปกรณ์ลดแรงดันที่ม ความผิดเพี้ยน $L = 1.0 H$	13
4. เปรียบเทียบแรงดันที่มความผิดเพี้ยน	13
5. ทดสอบมอเตอร์ขนาด 300 วัตต์ โดยไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน	14
6. ทดสอบมอเตอร์ขนาด 300 วัตต์ ขณะมีอุปกรณ์ควบคุมพลังงานและไม่ติดตั้ง L	14
7. ทดสอบมอเตอร์ขนาด 300 วัตต์ ขณะมีอุปกรณ์ควบคุมพลังงานและติดตั้ง L	15
8. เปรียบเทียบค่าแรงดันที่มความผิดเพี้ยนหรือค่า THD ที่แหล่งจ่าย	16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ทุกวันนี้การประหยัดพลังงานนับว่าเป็นเรื่องสำคัญเรื่องหนึ่ง ที่มีการรณรงค์กันอย่างจริงจังทั่วโลก พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีปัญหามากเพราะกำลังการผลิตมีจำกัดและแนวโน้มที่จะขยายกำลังการผลิตยังต้องใช้เวลาอีกนาน เพราะฉะนั้นการแก้ปัญหาในขณะนี้ที่ดีที่สุดคือ ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัดและทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์หลักที่ต้องใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อทำงานในสภาวะโหลดเต็มกำลัง (Full Load) แต่ถ้ามอเตอร์ถูกใช้งานในสภาวะโหลดต่ำ (Light Load) หรือไม่มีโหลด (No Load) ก็จะทำให้มีพลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียโดยไม่มีประโยชน์ และยังทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำมากอีกด้วย จึงทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (reactive power) มีค่ามากตามไปด้วย [1] ดังนั้นถ้าเราควบคุมพลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธีการควบคุมความเร็วหรือสลีปเฟรมมอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบเข้าใกล้ความเร็วรอบที่พิกัด ก็จะทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพและค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้น เมื่อมอเตอร์ถูกใช้งานในสภาวะไม่มีโหลด หรือ สภาวะโหลดต่ำ ก็จะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มาก นั้นหมายถึงสมรรถนะของมอเตอร์สูงขึ้นด้วย การควบคุมโดยวิธีนี้ยังช่วยลดการกระชากของกระแสด้านเข้าและลดการกระชากของแรงบิดของมอเตอร์ในขณะที่เริ่มเดินมอเตอร์ แต่วงจรควบคุมแรงดันที่ใช้จะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของกระแสด้านเข้ามอเตอร์ซึ่งจะทำให้คุณภาพของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของระบบลดลง จึงต้องมีการติดตั้งรีแอกเตอร์เพื่อลดความผิดเพี้ยนดังกล่าว [2]

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ต้องการนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพ และค่าตัวประกอบกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส และยังนำเสนอแนวทางในการควบคุมมอเตอร์ให้ได้รับพลังงานที่เหมาะสมกับโหลดที่มอเตอร์ขับอยู่ และออกแบบให้มีการสตาร์ทมอเตอร์แบบนุ่มนวลไว้ด้วย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1	2
2	4
3	5
4	5
5	6
6	6
7	7
8	8
9	10
10	17
11	17
12	18

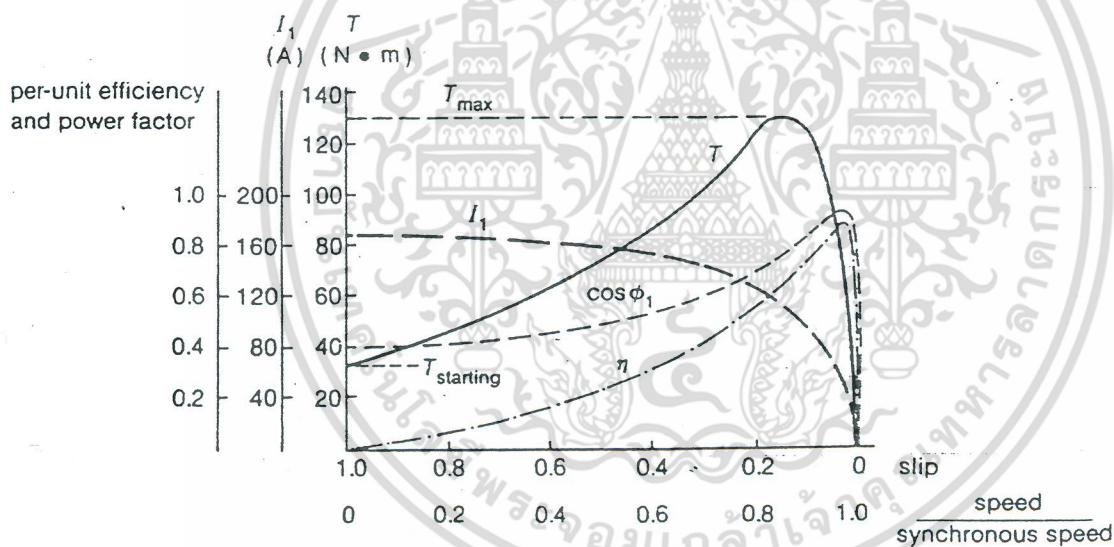
2. คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

2.1 หลักการเบื้องต้น

ด้วยลักษณะสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำตามรูปที่ 1 [5] จะพบว่ากระแสไฟฟ้าเริ่มหมุนนั้นจะมีค่ามากกว่ากระแสที่พิกัดหลายเท่า ส่วนตัวมอเตอร์เองจะถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพและตัวประกอบกำลังสูง เมื่อทำงานในสถานะเต็มกำลัง ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น แต่พลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไม่ว่าจะในภาวะเต็มกำลัง ครึ่งกำลัง หรือแม้แต่ภาวะไม่มีโหลด แทบจะไม่แตกต่างกันมากนักสำหรับมอเตอร์ขนาดเล็ก เรายังคงต้องจ่ายพลังงานให้แก่มอเตอร์ด้วยปริมาณที่ค่อนข้างจะคงที่

2.2 หลักการที่นำเสนอ

หลักการที่ต้องการนำเสนอคือ ใช้การควบคุมมอเตอร์โดยการควบคุมพลังงานที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ ให้มีปริมาณพอเหมาะกับการทำงานของมอเตอร์ โดยการตรวจสอบค่าตัวประกอบกำลัง หรือความเร็วรอบโรเตอร์ของมอเตอร์ [1]



รูปที่ 1 คุณลักษณะการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

แต่ในกรณีดังกล่าวนี้จะเกิดความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากกระแสที่ถูกตรวจสอบนั้นเป็นกระแสฮาร์โมนิก (Harmonics) ซึ่งเกิดจากวงจรควบคุมแรงดัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการตรวจสอบสลิปของมอเตอร์แทนเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว จากคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อไม่มีโหลดจะมีความเร็วรอบโรเตอร์ประมาณ 1,495 รอบต่อนาที สำหรับมอเตอร์ขนาด 1,500 วัตต์ 4 ขั้ว 50 เฮิรตซ์ และเมื่อมอเตอร์ขับโหลดเต็มที่ที่มีความเร็วโรเตอร์ประมาณ 1,400 รอบต่อนาที จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้ส่วนควบคุมทราบว่ ขณะนี้มอเตอร์ต้องการพลังงานในการขับโหลดมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยเพียงใด โดยส่วนควบคุมนี้จะใช้หลักการของการลดแรงดันที่ป้อนให้กับสเตเตอร์ของมอเตอร์ ด้วยวิธีควบคุมมุมจุดชนวนของเอสซีอาร์ โดยใช้เงื่อนไขคือ ควบคุมให้มอเตอร์มีความเร็วโรเตอร์ เข้าใกล้ความเร็วเมื่อขับโหลดเต็มพิกัด (1,400 รอบต่อนาที) แต่มีข้อแม้ว่ามอเตอร์ต้องไม่มีการสั่น นั้นหมายถึงเมื่อลดแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์แล้ว มอเตอร์จะต้องหมุนได้อย่างปกติ โดยไม่เป็นอันตรายต่อตัวเองและโหลดที่ต่ออยู่ จากการควบคุมโดยวิธีนี้จะทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สูงขึ้น เพราะว่า สลิป จะเข้าใกล้เต็มพิกัดในทุกโหลด ดังนั้นพลังงานที่เกิดขึ้น จะใช้ในงานที่เป็นประโยชน์มากเหมือนกับในกรณีที่มอเตอร์แบกภาระเต็มพิกัด แต่แรงดันที่ป้อนเข้ามีค่าน้อยลงเป็นผลทำให้มีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้

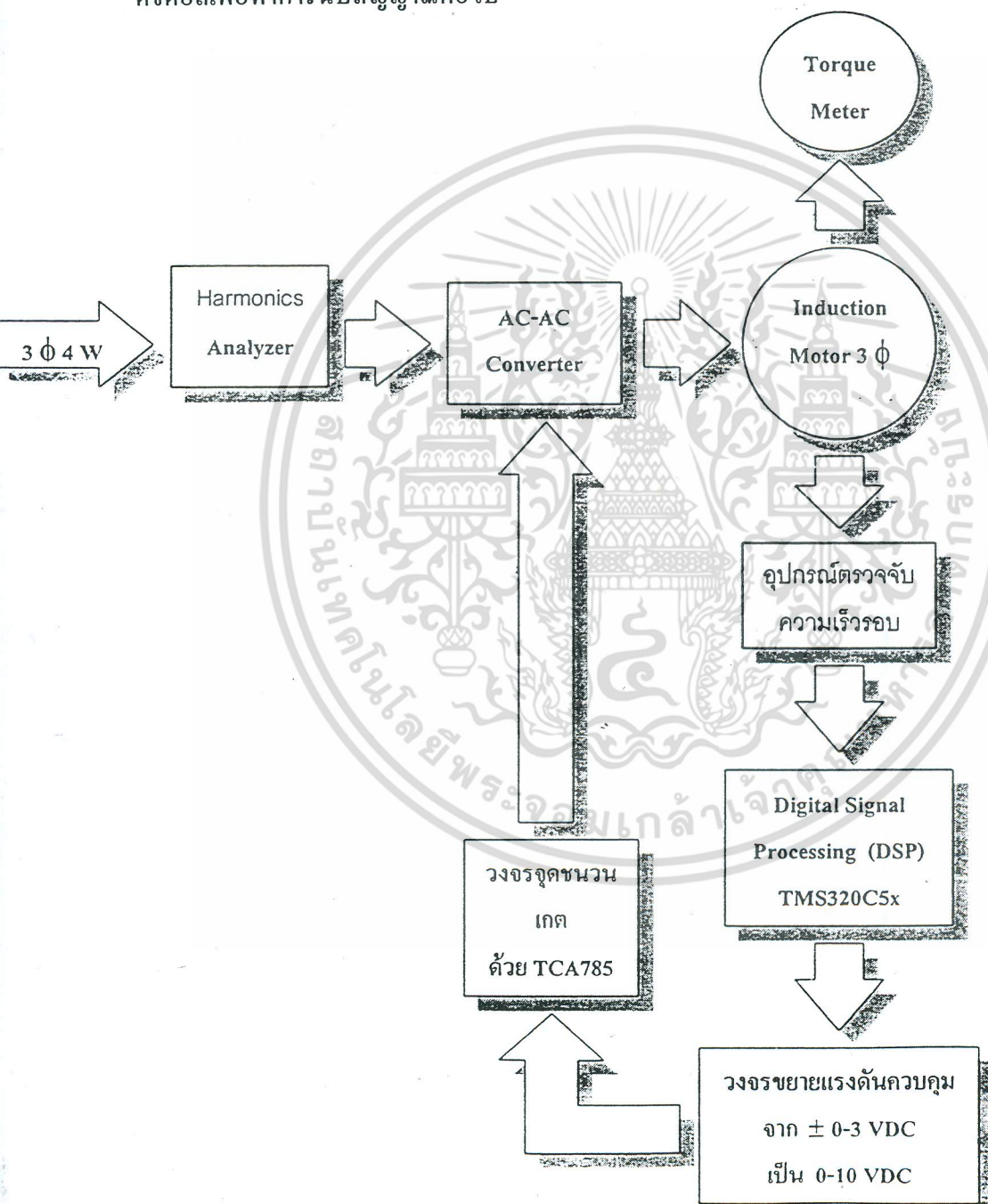


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทำงานของฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์

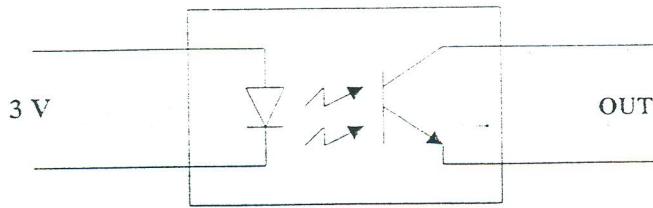
3.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

รายละเอียดในส่วนของฮาร์ดแวร์ โดยรวมเป็นดังในรูปที่ 2 มีอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณความเร็วรอบที่ใช้จะเป็น ออปโตเซนเซอร์ (Opto Sensor) ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งรับสัญญาณมาจากแผ่นกั้นแสงซึ่งติดอยู่กับแกนโรเตอร์ของมอเตอร์แล้วส่งไปยังตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเพื่อทำการนับสัญญาณต่อไป



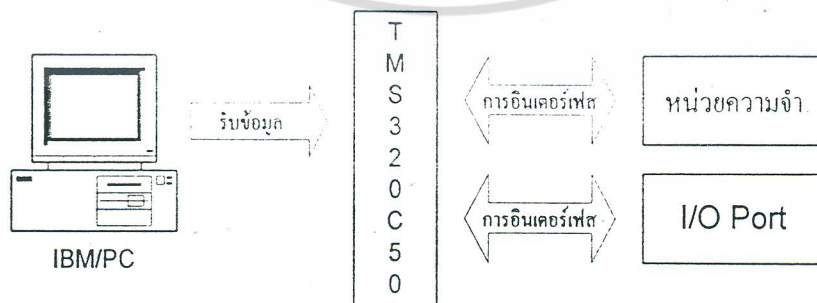
รูปที่ 2 แผนภาพการทำงานในส่วนของฮาร์ดแวร์โดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



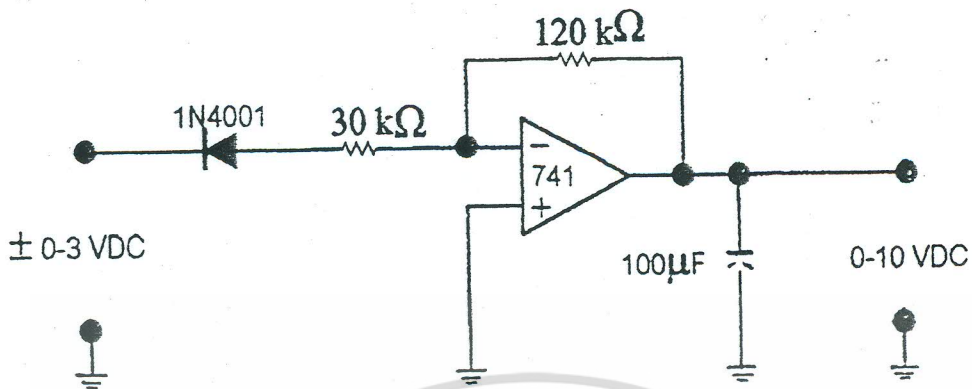
รูปที่ 3 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณความเร็วรอบแบบออปโตเซนเซอร์

บอร์ด TMS320C50 DSP [3] ซึ่งจะนำไปใช้งานด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่ต้องการความเร็วสูง โดยจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือส่วนของฮาร์ดแวร์ซึ่งเป็นส่วนของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ และส่วนของซอฟต์แวร์ซึ่งเป็นโปรแกรมในหน่วยความจำ โครงสร้างโดยรวมของการออกแบบและหลักการทำงานของบอร์ด TMS320C50 ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4 เนื่องจากสัญญาณนาฬิกาเอาต์พุต ของบอร์ด TMS320C50 มีค่าอยู่ระหว่าง 0-30 VDC จึงต้องนำมาขยายแรงดันโดยใช้ไอซีออปโต เบอร์ 741 ให้ได้แรงดันอยู่ระหว่าง 0-10 VDC แล้วจึงนำแรงดันนี้ส่งไปยังขา 11 (Control Voltage) ของไอซีเบอร์ TCA785 เพื่อควบคุมมุมจุดชนวนเอสซีอาร์ ให้ทำงานได้ตามที่ได้วางแนวทางไว้เบื้องต้น วงจรขยายแรงดันนั้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 5 ส่วนวงจุดชนวนแอกต์โดยใช้ไอซี TCA785 3 ตัว ดังรูปที่ 6 [4] โดยแต่ละตัวทำงานควบคุมเอสซีอาร์แต่ละเฟส เฟสละ 2 ตัว โดยใช้ TCA785 ที่รับแรงดัน V_{syn} จากสายเฟส R, S และ T จะจ่ายพัลส์จุดชนวนให้กับเอสซีอาร์ที่ทำงานบนเฟส R, S, และ T โดยแรงดันควบคุม (V_{11}) ที่ให้กับวงจรรวมทั้งสามตัวนั้น จะรับมาจากวงจรขยายแรงดันในรูปที่ 5 ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว

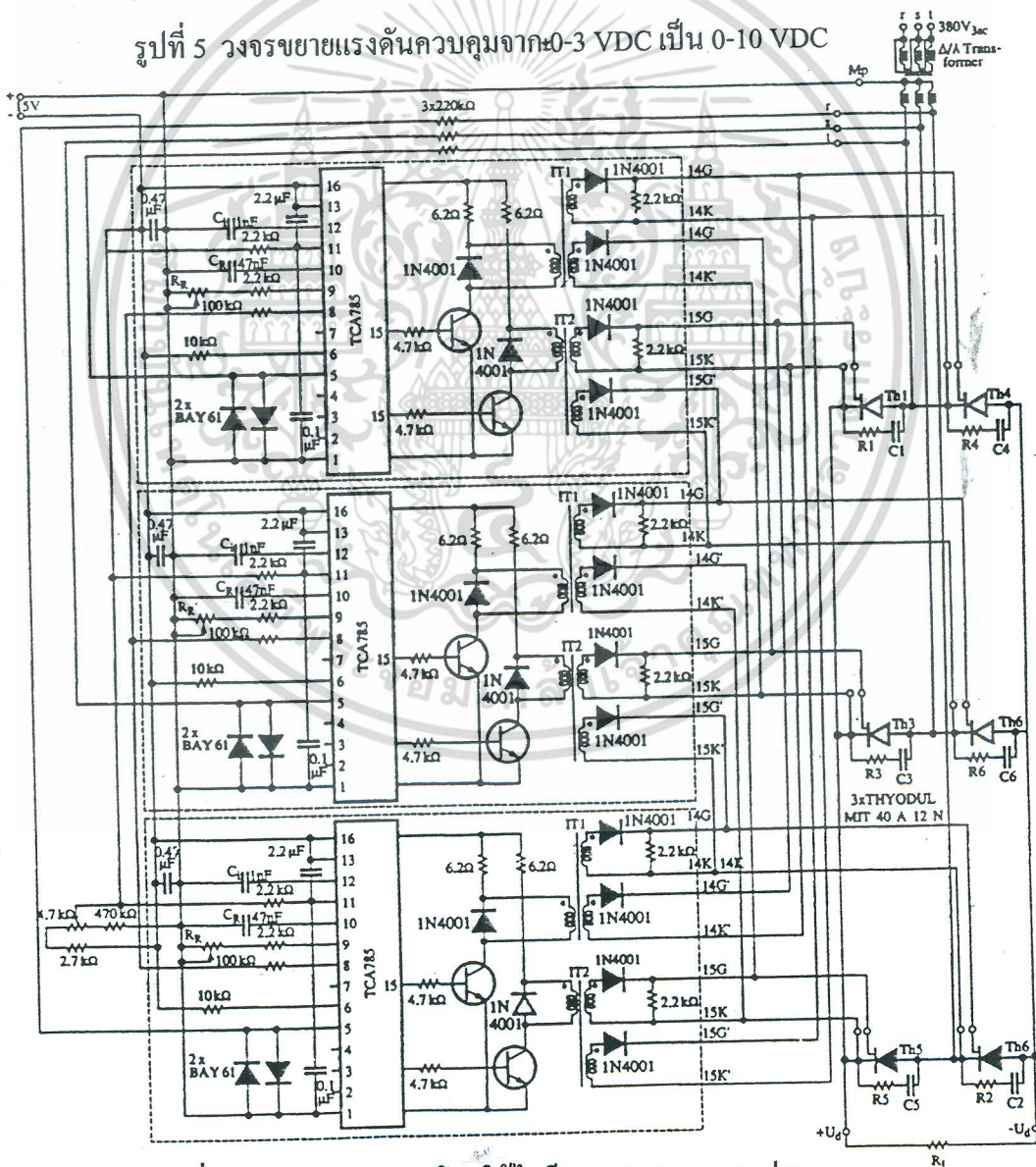


รูปที่ 4 หลักการทำงานของบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 วงจรขยายแรงดันคั่นควมจาก $\pm 0-3 \text{ VDC}$ เป็น $0-10 \text{ VDC}$

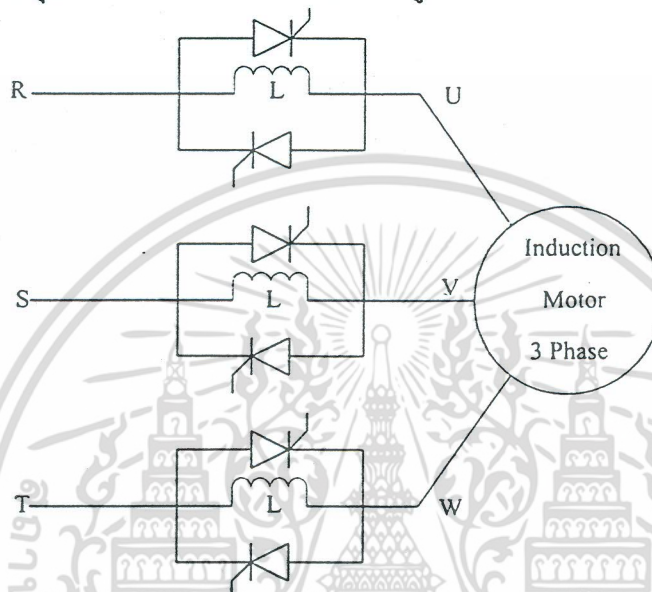


รูปที่ 6 วงจรจุดชนวนเกตโดยใช้ไอซี TCA785 แบบ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

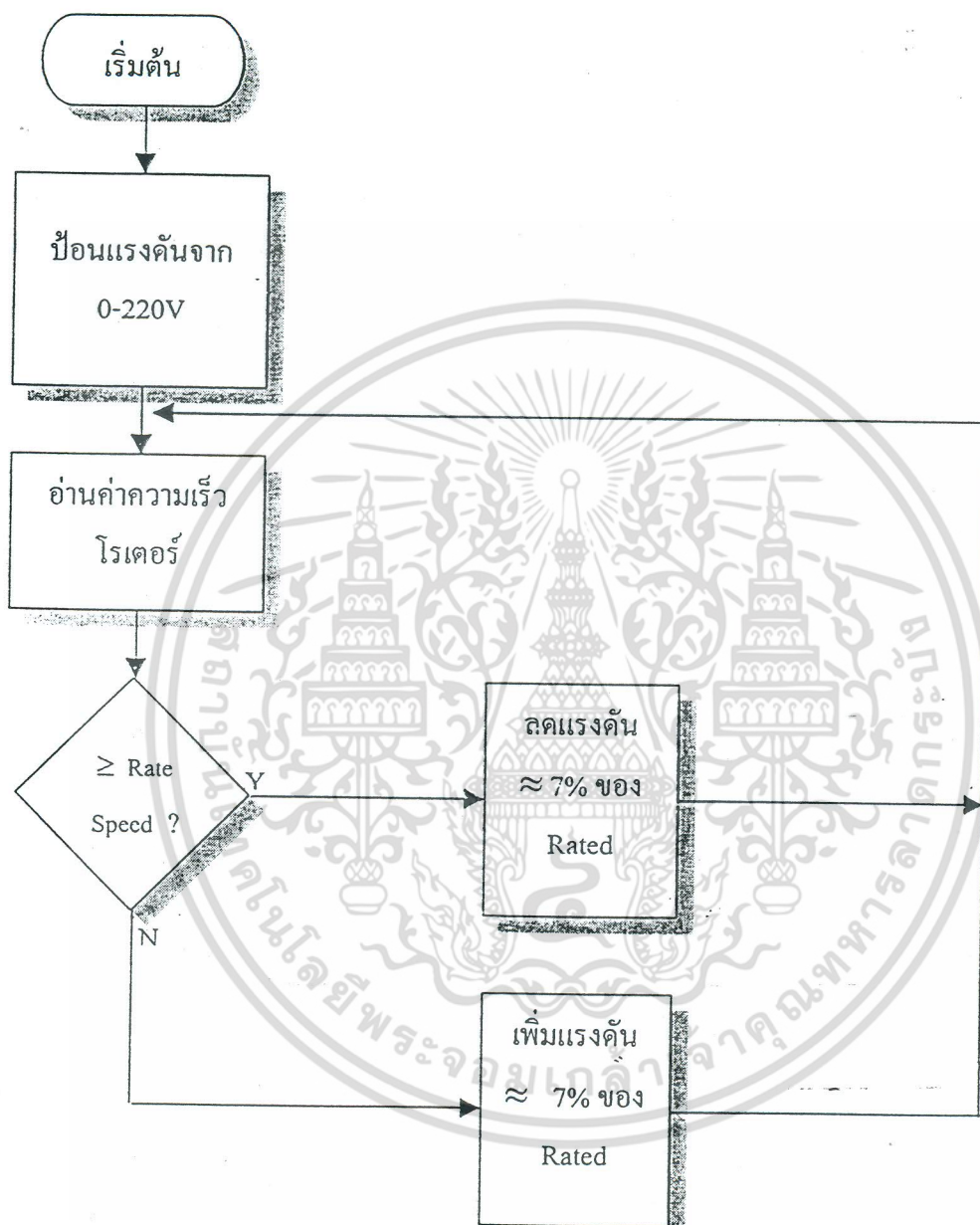
3.2 ฮาร์ดแวร์ในส่วนของอุปกรณ์ลดปัจจัยที่มีความผิดเพี้ยน

เนื่องจากการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยใช้เฟสคอนโทรลนั้นจะเกิดฮาร์มอนิก เข้ารบกวนในระบบไฟฟ้าโดยส่วนรวมและมีผลทำให้รูปคลื่นกระแสเข้ามอเตอร์ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์มาก ซึ่งทำให้คุณภาพของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของระบบลดลง ดังนั้นจึงต้องทำการลดฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้น โดยการใส่ L (รีแอกเตอร์) เข้าไปขนานกับเอสซีอาร์ ซึ่งต่อกลับหลังกันอยู่ในวงจรควบคุมแรงดันแบบ 3 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การต่อ L 1.0 H เข้าไปในวงจรควบคุมแรงดันเพื่อลดค่า THD
(Total Harmonic Distortion)

จากรูปที่ 7 การต่อ L เข้าไปที่ตำแหน่งดังกล่าวก็เพื่อในขณะที่เอสซีอาร์นำกระแสจะไม่มีกระแสผ่าน L (ไม่มีผลต่อวงจรควบคุมแรงดัน) แต่เมื่อเอสซีอาร์หยุดนำกระแสจะมีกระแสไหลผ่าน L โดยใช้คุณสมบัติของโหลด L (กระแสจะล่าหลังแรงดัน) ยึดกระแสที่ไม่ต่อเนื่องออกไปนั่นคือกระแสจะเป็นกระแสต่อเนื่องมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ความผิดเพี้ยนของกระแสลดลง เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จึงทำการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ก่อน แล้วนำค่าที่ได้มาทำการทดลองจริง โดยจะทำการใส่ค่า L 4 ค่า คือ 0.5 , 1.0 , 2.0 , 3.0 H ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าค่า L ยิ่งน้อยเท่าใดค่าของกระแสฮาร์มอนิกจะยิ่งลดลงเท่านั้นแต่มีข้อจำกัดว่า ถ้าค่า L ต่ำมาก ๆ จะมีผลทำให้เอสซีอาร์ไม่หยุดนำกระแสหรือนำกระแสค้าง ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของ L และ เอสซีอาร์ นั่นเอง ส่งผลให้วงจรควบคุมแรงดันไม่มีผลในการปรับแรงดันด้านเข้าของมอเตอร์ ค่า L ที่ใช้ได้ดีที่สุดจากการทดลองคือค่า $L = 1.0 \text{ H}$



รูปที่ 8 โฟลว์ชาร์ตการทำงานในส่วนของซอฟต์แวร์

จากรูปที่ 8 เป็นส่วนของซอฟต์แวร์ที่จะเขียนให้ DSP ทำงานโดยจะเริ่มจากการเดินมอเตอร์ด้วยวิธีค่อย ๆ เพิ่มแรงดันเข้าทางสเตเตอร์อย่างช้า ๆ จาก 0-220 โวลต์ ต่อเฟส เพื่อลดกระแสตอนเริ่มเดินของมอเตอร์พร้อมกับวัดสัญญาณความเร็วรอบ แล้วประมาณผลว่าความเร็วรอบมากกว่าความเร็วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

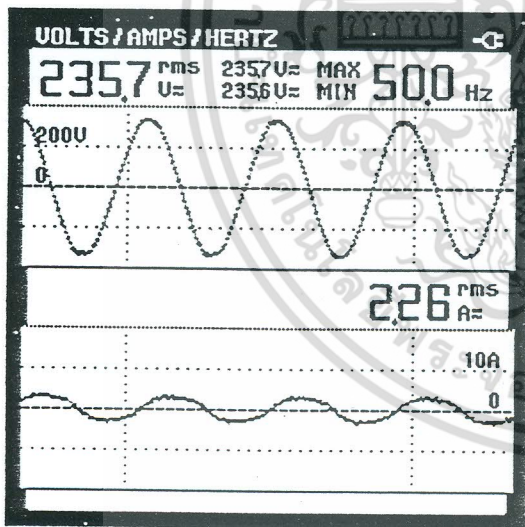
รอบที่พิกัดหรือไม่ ถ้ามากกว่า DSP ก็จะสั่งให้ลดแรงดันด้านเข้าสเตเตอร์ลงประมาณ 15 โวลต์ ซึ่งแรงดันสเต็ป (step) ละ 15 โวลต์นั้นเกิดจากการทดลองซึ่งถ้ามากกว่านี้ทำให้มอเตอร์เกิดการกระตุกได้เมื่อเวลาเพิ่มหรือลดแรงดัน แต่ถ้าน้อยกว่านี้จะต้องเขียนซอฟต์แวร์ มากขึ้นทำให้ต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของแรงดันก็จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด นั่นคือ เมื่อโหลดเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันมอเตอร์ไม่สามารถทำงานได้ตามแนวคิดที่วางไว้ นั่นเอง แล้วตรวจสอบต่อไปว่ามอเตอร์สั่นหรือไม่ การตรวจสอบในขั้นตอนนี้จะใช้ประโยชน์จากความเร็วของ DSP นั่นคือ ถ้ามอเตอร์สั่นเนื่องมาจากแรงดันด้านเข้าสเตเตอร์ต่ำมากจนมอเตอร์ไม่สามารถหมุนได้อย่างปกติ DSP จะสั่งให้วงจรควบคุมแรงดันเพิ่มแรงดันขึ้น 15 โวลต์ ทันทีแล้วจึงกลับไปตรวจจับสัญญาณความเร็วรอบอีกครั้ง แต่ถ้าความเร็วรอบน้อยกว่าความเร็วรอบที่พิกัดเนื่องจากโหลดมาก DSP จะสั่งให้วงจรควบคุมแรงดันเพิ่มแรงดันขึ้น 15 โวลต์ ทันทีแล้วจึงกลับไปตรวจจับสัญญาณความเร็วรอบอีกครั้ง จากการเขียนซอฟต์แวร์ ในลักษณะนี้จะทำให้อุปกรณ์ควบคุมพลังงานตัวนี้ทำงานได้ตามแนวคิดที่วางไว้ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะอยู่ในหัวข้อที่ 4



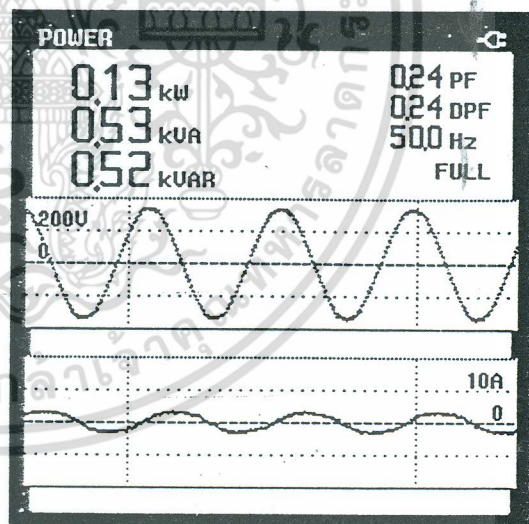
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลการทดลอง

เมื่อนำวงจรที่ได้มาต่อกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 380/220 V 50 Hz แบบกรงกระรอกขนาด 2 แรงม้า ต่อแบบสตาร์และเริ่มเดินมอเตอร์แบบต่อตรงทำการเปรียบเทียบค่าของพลังงานที่เข้ามอเตอร์ ขณะที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงานกับขณะที่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน และเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อความผิดเพี้ยนขณะที่ไม่ติดตั้ง L 1.0 H และติดตั้ง L 1.0 H เพื่อศึกษาว่ามีอุปกรณ์ลดแฟลคเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยนนี้จะช่วยประหยัดพลังงานและลดแฟลคเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยน ได้มากน้อยเท่าไร เมื่อเปรียบเทียบกับขณะที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน โดยมอเตอร์จ่ายโหลดที่ค่า ๆ หนึ่งเท่ากับ 8 ค่า เพื่อจะได้เปรียบเทียบพลังงานที่เข้ามอเตอร์ว่าแตกต่างกันอย่างไร โดยมอเตอร์จะต่อคัลป์ปลิ่ง (Coupling) อยู่กับ Torque Meter เพื่อวัดค่าแรงบิดของมอเตอร์และวัดค่าแรงดันกระแส กำลังงานอินพุต ค่าตัวประกอบกำลัง และค่าผลรวมของความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแส (THD) ด้วยเครื่องมือวัด Fluke 43 ค้างแสดงในรูปที่ 9 ค่าที่วัดได้จะเป็นค่า TRUE RMS โดยทำการบันทึกและเปรียบเทียบค่าแบบนี้ไปทุก ๆ ค่า ได้ผลการทดลองออกมาดังแสดงในตารางที่ 1,2 ,3 และ 4 สำหรับมอเตอร์ 1500 วัตต์ และตารางที่ 5,6,7 และ 8 สำหรับมอเตอร์ 300 วัตต์ ตามลำดับ



ก)



ข)

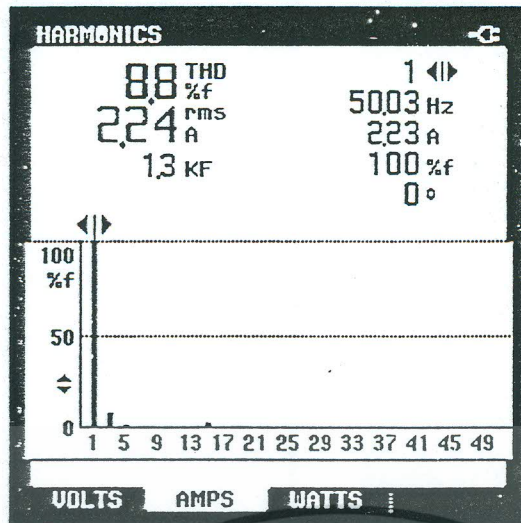
รูปที่ 9 ผลการวัดที่ได้จากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับอุปกรณ์ควบคุม

พลังงานของมอเตอร์ โดย Fluke 43 (Power Quality Analyzer)

ก) Volt/Amp/Hz

ข) Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 ผลการวัดที่ได้จากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับอุปกรณ์ควบคุม

พลังงานมอเตอร์ โดย Fluke 43 (Power Quality Analyzer)

ค) Harmonics

ตารางที่ 1 ขณะมอเตอร์ที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

Torque (%)	Output Power (W)	V _{phase} ที่แหล่งจ่าย (V) หรือ V _{phase} ของมอเตอร์	I _{phase} motor (A)	Input Power (W)	Speed (rpm)	%η	Power factor ของมอเตอร์ (W)	Reactive power ของมอเตอร์ (VAR)
5	78.23	235.7	2.26	390	1495	20.0	0.24	1560
10	156.40	234.5	2.21	480	1495	32.6	0.30	1470
20	311.27	234.6	2.23	630	1487	49.4	0.40	1440
30	464.09	234.2	2.27	780	1478	59.5	0.49	1410
40	614.18	234.6	2.34	930	1467	66.0	0.56	1380
50	764.06	234.7	2.44	1080	1460	70.7	0.63	1350
60	911.86	234.6	2.57	1230	1452	74.1	0.68	1320
70	1058.70	234.7	2.71	1380	1445	76.7	0.73	1320
80	1204.92	234.8	2.86	1530	1439	78.7	0.76	1320
90	1342.35	235.0	3.03	1680	1425	79.9	0.80	1290
100	1481.03	234.9	3.24	1800	1415	82.2	0.82	1290

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ขณะมอเตอร์มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงานที่ไม่ติดตั้ง L

T (%)	Output power ของมอเตอร์ (W)	Vphase ที่แหล่งจ่าย (V)	Vphase ที่มอเตอร์ (V)	Iphase ของมอเตอร์ (A)	Input Power ของมอเตอร์ (W)	Speed (rpm)	% η	Power factor ของมอเตอร์	Reactive Power มอเตอร์ (VAR)
5	75.93	80.7	80.7	1.12	210	1450	36.1	0.27	750
10	151.84	97.4	97.4	1.36	300	1450	50.6	0.33	900
20	303.68	152.5	152.5	1.72	510	1450	59.5	0.42	1080
30	455.52	154.9	154.9	1.96	690	1450	66.0	0.50	1080
40	606.53	174.6	174.6	2.30	870	1448	69.7	0.56	1260
50	758.17	198.6	198.6	2.36	990	1448	76.5	0.62	1260
60	909.80	220.1	220.1	2.50	1170	1448	77.7	0.67	1320
70	1061.43	235.3	235.3	2.79	1380	1448	76.9	0.69	1350
80	1210.56	234.9	234.9	2.99	1590	1445	76.1	0.75	1380
90	1356.22	234.9	234.9	3.17	1770	1439	76.6	0.79	1380
100	1494.35	234.0	234.0	3.33	1920	1427	77.8	0.81	1380

ตารางที่ 3 ขณะมอเตอร์มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงานที่ติดตั้งอุปกรณ์ลคแพคเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยน L = 1.0 H

Torque (%)	Output power ของมอเตอร์ (W)	Vphase ที่แหล่งจ่าย (V)	Vphase ที่มอเตอร์ (V)	Iphase ของมอเตอร์ (A)	Input Power ของมอเตอร์ (W)	Speed (rpm)	% η	Power factor ของมอเตอร์	Reactive Power มอเตอร์ (VAR)
5	75.92	80.4	80.4	1.03	210	1450	42.1	0.27	720
10	151.84	97.8	97.8	1.07	270	1450	56.2	0.37	690
20	303.68	151.9	151.9	1.51	480	1450	63.2	0.46	930
30	455.52	155.0	155.0	1.84	660	1450	66.0	0.52	1110
40	606.53	175.2	175.2	1.93	870	1448	69.7	0.58	1200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Torque (%)	Output power ของมอเตอร์ (W)	Vphase ที่แหล่งจ่าย (V)	Vphase ที่มอเตอร์ (V)	Iphase ของมอเตอร์ (A)	Input Power ของมอเตอร์ (W)	Speed (rpm)	%η	Power factor ของมอเตอร์	Reactive Power มอเตอร์ (VAR)
50	758.17	198.6	198.6	2.27	1020	1448	74.3	0.63	1290
60	909.80	220.3	220.3	2.48	1200	1448	75.8	0.69	1260
70	1061.43	235.3	235.3	2.76	1380	1448	76.9	0.74	1290
80	1210.56	234.6	234.6	2.98	1560	1445	77.6	0.76	1350
90	1356.22	234.8	234.8	3.13	1710	1439	79.3	0.79	1350
100	1494.35	234.5	234.5	3.29	1860	1427	80.3	0.82	1350

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบแฟคเตอร์ที่มึ่ความผิดเพี้ยน

Torque (%)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ค่า %THD ขณะไม่ติดตั้ง L	100.5	88.7	80.1	61.5	54.8	42.3	29.9	8.1	5.0	5.2	6.4
ค่า %THD ขณะติดตั้ง L	49.6	50.0	52.5	47.2	48.0	38.5	23.9	7.6	4.9	4.8	6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ทดสอบมอเตอร์ขนาด 300 วัตต์ โดยไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

Torque (%)	Output power ของมอเตอร์ (W)	Vphase ที่แหล่งจ่าย (V)	Iphase ของมอเตอร์ (A)	Input Power ของมอเตอร์ (W)	Speed (rpm)	% η	Power factor ของมอเตอร์	Reactive Power (VAR)
5	15.62	230.5	0.58	120	1492	13.0	0.29	360
10	31.18	230.4	0.58	120	1489	25.9	0.31	360
20	62.07	230.2	0.58	150	1482	41.3	0.38	360
30	92.61	230.3	0.59	180	1474	51.4	0.45	360
40	122.89	230.0	0.60	210	1467	58.5	0.49	330
50	152.99	222.9	0.62	240	1461	63.7	0.57	330
60	182.33	230.0	0.64	270	1451	67.5	0.60	330
70	211.26	229.9	0.67	300	1441	70.4	0.68	330
80	239.59	230.2	0.70	330	1430	72.6	0.70	330
90	267.28	230.5	0.74	360	1418	74.2	0.77	300
100	294.47	230.4	0.79	370	1406	75.5	0.80	300

ตารางที่ 6 ทดสอบมอเตอร์ขนาด 300 วัตต์ ขณะมีอุปกรณ์ควบคุมพลังงานและไม่ติดตั้ง L

Torque (%)	Output Power ของมอเตอร์ (W)	Vphase ที่มอเตอร์ (V)	Iphase ของมอเตอร์ (A)	Power Input ของมอเตอร์กับอุปกรณ์ (W)	Speed (RPM)	% η	Power Factor ของมอเตอร์กับอุปกรณ์ (W)	Reactive Power ของมอเตอร์กับอุปกรณ์ (W)
5	15.18	89.4	0.31	60	1450	25.3	0.31	150
10	30.36	111.7	0.36	90	1450	33.7	0.35	180
20	60.69	140.4	0.41	120	1449	50.5	0.41	210
30	91.04	163.0	0.46	150	1449	60.6	0.48	240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Torque (%)	Output Power ของมอเตอร์ (W)	Vphase ที่ มอเตอร์ (V)	Iphase ของ มอเตอร์ (A)	Power Input ของ มอเตอร์ กับ อุปกรณ์ (W)	Speed (RPM)	% η	Power Factor ของ มอเตอร์ กับ อุปกรณ์ (W)	Reactive Power ของ มอเตอร์ กับ อุปกรณ์ (W)
40	121.39	186.6	0.53	180	1449	67.4	0.51	300
50	151.73	204.7	0.57	225	1449	67.4	0.56	310
60	182.08	225.5	0.62	270	1449	67.4	0.58	360
70	212.26	233.7	0.65	300	1441	70.7	0.61	360
80	240.10	233.7	0.69	330	1433	72.7	0.64	360
90	267.85	231.9	0.73	360	1421	74.4	0.72	360
100	294.26	229.4	0.77	390	1405	75.4	0.74	360

ตารางที่ 7 ทดสอบมอเตอร์ขนาด 300 วัตต์ ขณะมีอุปกรณ์ควบคุมพลังงานและติดตั้ง L

T (%)	Output power ของ มอเตอร์ (W)	Vphase ที่แหล่งจ่าย (V)	Iphase ของ มอเตอร์ (A)	Input Power ของ มอเตอร์ (W)	Speed (rpm)	% η	Power factor ของ มอเตอร์	Reactive Power (VAR)
5	15.18	84.3	0.19	45	1492	33.7	0.40	120
10	30.36	104.9	0.26	75	1450	40.4	0.42	150
20	60.69	142.4	0.34	105	1449	57.8	0.44	180
30	91.04	166.5	0.43	141	1449	64.5	0.50	240
40	121.39	192.1	0.50	174	1449	69.7	0.52	270
50	151.73	212.2	0.55	210	1449	72.2	0.58	300
60	182.08	231.4	0.60	252	1449	72.2	0.60	300
70	212.26	237.4	0.65	300	1441	70.7	0.68	330
80	240.26	236.8	0.68	330	1434	72.8	0.69	330
90	268.41	235.4	0.70	360	1424	74.5	0.77	330
100	295.10	233.8	0.77	390	1409	75.6	0.80	330

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยนหรือค่า THD ที่แหล่งจ่าย

Torque (%)	ไม่มีอุปกรณ์	มีอุปกรณ์แต่ยังไม่ได้ติดตั้ง L	มีอุปกรณ์ และติดตั้ง L
5	8.7	104.0	43.7
10	8.5	93.1	41.8
20	8.1	72.2	38.6
30	7.2	58.7	37.1
40	6.5	45.0	33.1
50	6.1	32.5	24.5
60	5.7	15.8	10.8
70	5.0	8.8	9.0
80	4.5	8.4	8.5
90	4.4	7.7	3.3
100	4.1	8.3	4.3

ในการวัดค่าให้ถือว่าแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส สมดุล

ค่าแรงบิด (Torque) ได้มาจากการวัดจาก Torque Meter ของชุดทดลอง Terco

ค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพ (% η) หาได้จากสมการที่ 1

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{T\omega}{3VpI_p} = \frac{T \cdot (2\pi Nr / 60)}{3Win} \quad (1)$$

โดยที่ T แรงบิด

ω ความเร็วเชิงมุม

$\cos\phi$ ค่าแฟกเตอร์การขจัด (Displacement Power factor)

Win ค่าที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัด Fluke 43

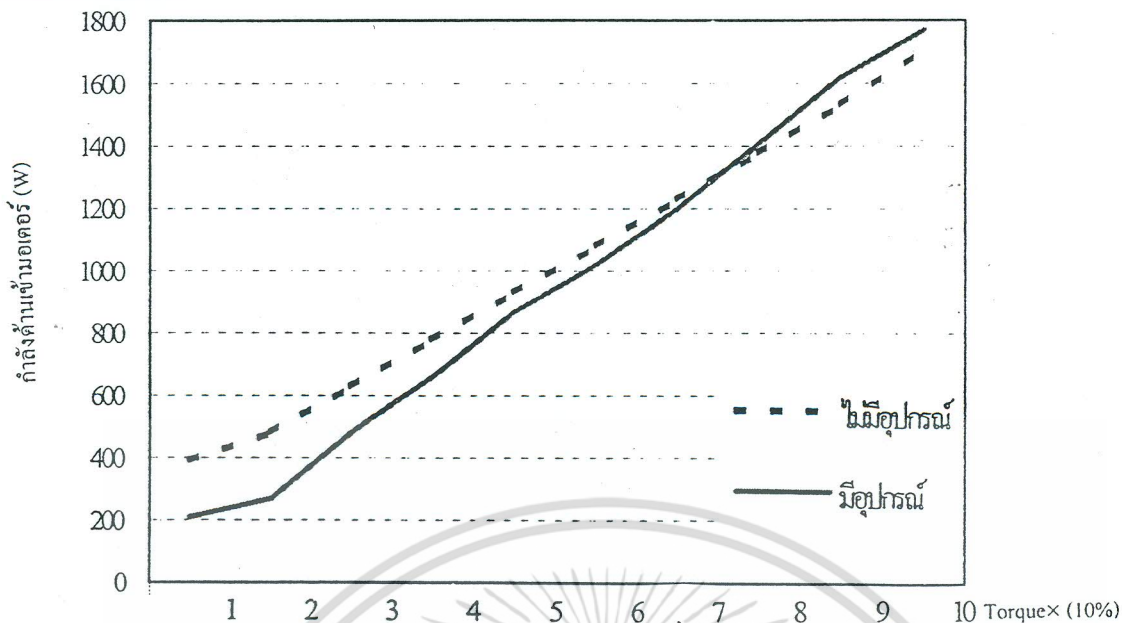
Nr ความเร็วรอบของเตอร์

วิจารณ์ผลการทดลอง

เนื่องจากแนวโน้มผลการทดลองของการทดสอบมอเตอร์ 1500 วัตต์ และ 300 วัตต์ มีลักษณะคล้ายกัน ดังนั้นจะขอสรุปผลการทดลองให้ชัดเจนขึ้น โดยแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างมีเครื่องประหยัคพลังงานรวม L และ ไม่มีเครื่องประหยัคพลังงาน ของมอเตอร์ 1500 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

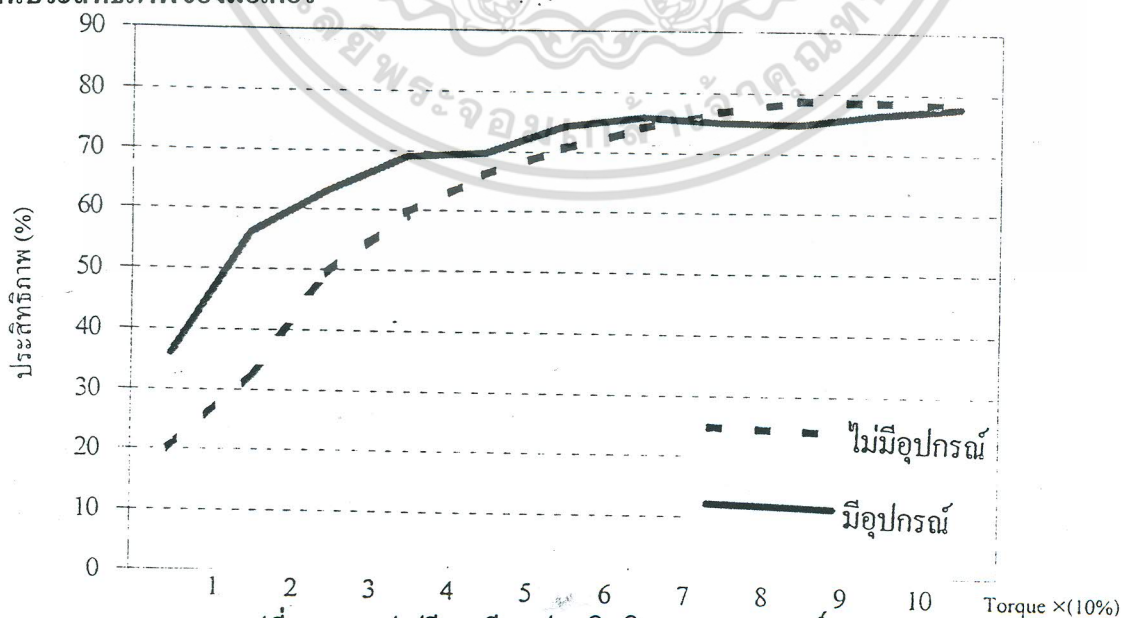
ด้านกำลังด้านเข้า



รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังงานด้านเข้าของมอเตอร์

จะพบว่าค่ากำลังงานด้านเข้าของมอเตอร์จะลดลงมากพอสมควรในขณะที่มีโหลดต่ำ หรือไม่มีโหลด แต่เมื่อมอเตอร์ได้รับโหลดมากขึ้นจะแตกต่างของค่ากำลังงานด้านเข้ามากขึ้น จนมอเตอร์รับโหลดเข้าใกล้ที่เต็มพิกัด จะพบว่าค่ากำลังงานด้านเข้าในขณะที่ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมพลังงานจะมากกว่าที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน ทั้งนี้เนื่องจากมาจากค่าสูญเสียในอุปกรณ์ควบคุมพลังงานนั่นเอง

ด้านประสิทธิภาพของมอเตอร์

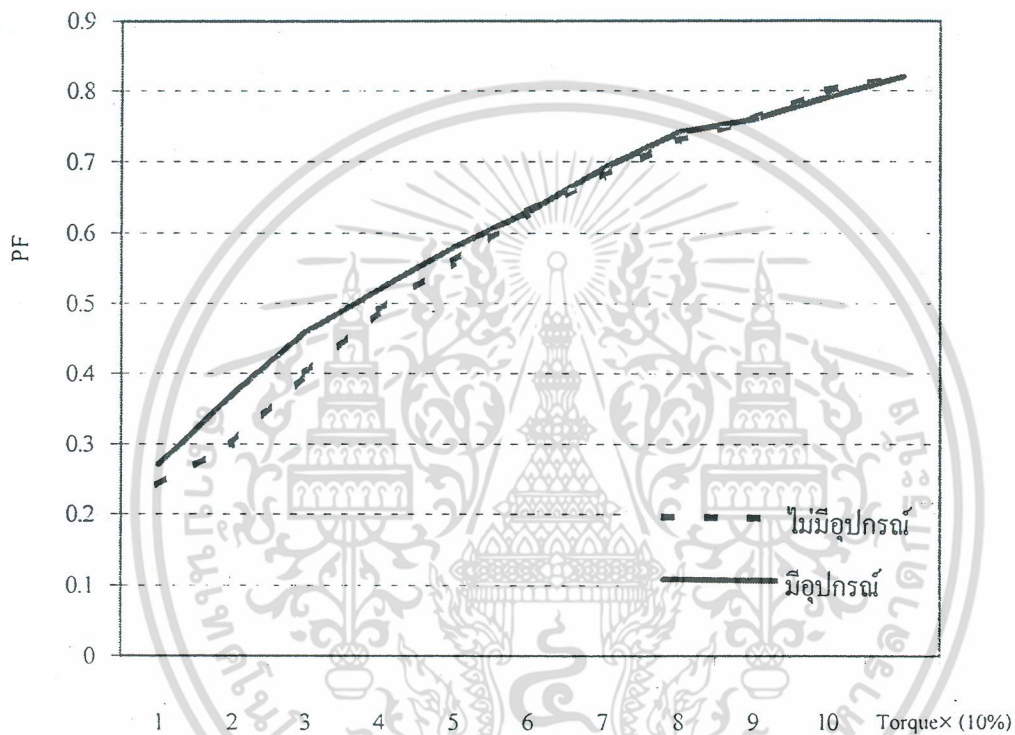


รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง **64392** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบว่าค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นมากพอสมควรในขณะที่โหลดต่ำ หรือไม่มีโหลด แต่เมื่อมอเตอร์รับโหลดมากขึ้นจะไม่เห็นความแตกต่างของประสิทธิภาพมากนัก จนมอเตอร์รับโหลดเข้าใกล้ที่เต็มพิกัด จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพในขณะที่ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมพลังงานจะน้อยกว่าที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าสูญเสียในอุปกรณ์ควบคุมพลังงานนั่นเอง

ด้านค่าตัวประกอบกำลังของมอเตอร์



รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบค่าตัวประกอบกำลังของมอเตอร์

จะพบว่า ค่าตัวประกอบกำลังของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในขณะที่มีโหลดต่ำ หรือไม่มีโหลด แต่เมื่อมอเตอร์รับโหลดมากขึ้นจะไม่เห็นความแตกต่างของค่าตัวประกอบกำลังเลย จนมอเตอร์รับโหลดเข้าใกล้ที่เต็มพิกัด จะเห็นว่า ค่าตัวประกอบกำลังในขณะที่ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมพลังงานจะน้อยกว่าที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมพลังงานอีก ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าสูญเสียในอุปกรณ์ควบคุมพลังงานนั่นเอง

5) สรุป

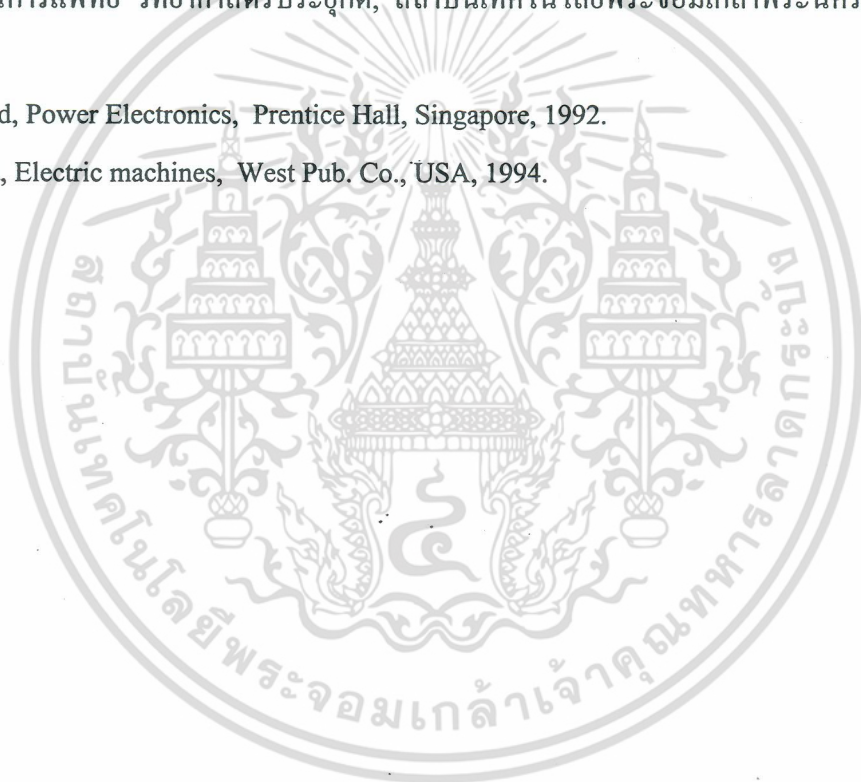
- 1) ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของ ประสิทธิภาพ และค่าตัวประกอบกำลัง ในขณะที่มอเตอร์ทำงานที่โหลดต่ำ(0-60% ของพิกัด)
- 2) ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าการใส่ L เข้าไปขนานกับเอสซีอาร์ ซึ่งต่อกลับหลังกันอยู่ในวงจรควบคุมแรงดันสามารถลด THD ได้มากในขณะที่โหลดต่ำ แต่ขณะที่โหลดสูงจะไม่เห็นผลแตกต่างกัน เพราะเอสซีอาร์จะทำงานที่มุมจุกชนวนต่ำ ทำให้แรงดันตกคร่อมเอสซีอาร์น้อยลง จึงทำให้กระแสไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายเป็นแบบต่อเนื่องมากขึ้น
- 3) ผลจากการคำนวณ และจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ อีกทั้งทำการทดลองพบว่า ค่า L ที่ใส่เข้าไปเพื่อลดค่า THD นั้น ถ้าค่า L ยิ่งมากขึ้น จะทำให้กระแสของมอเตอร์เป็นแบบต่อเนื่องมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่า THD ลดลงมากตามไปด้วย แต่มีข้อจำกัดว่าแรงดันตกคร่อมมอเตอร์ในขณะที่เอสซีอาร์ไม่ทำงาน จะต้องไม่มากกว่าแรงดันที่ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนด้วยตัวเองได้ ซึ่งถ้ามอเตอร์หมุนด้วยตัวเองได้ก็จะทำให้ไม่ว่าสามารถที่จะควบคุมพลังงานด้านเข้าได้
- 4) ความสูญเสียในวงจรควบคุมแรงดันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพรวมที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าไม่มาก
- 5) ลักษณะของการใช้วงจรควบคุมแรงดันแบบนี้ ยังให้ถึงการเริ่มเดินมอเตอร์อย่างนุ่มนวลด้วย

การประยุกต์การใช้งาน

- 1) อุปกรณ์นี้จะทำให้ประหยัดพลังงาน และเหมาะกับงานไม่มีโหลดหรือโหลดเบา เช่น งานเจียร์ ระบบสะพาน บันไดเลื่อน เป็นต้น
- 2) หลักการนี้ใช้ได้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ทุกขนาดแรงม้า และทุกชนิดความเร็วรอบ แต่ก็ต้องเลือกค่าของ L ที่ใส่เข้าไปเพื่อลดค่า THD ให้เหมาะสมกับตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปรากฏ ไพรสุวรรณ, สุทธิไชย รังสิโรดมโกมล และ นพปฎล ชะนะ." อุปกรณ์ประหยัดพลังงานและปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ " เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 19 มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า PW1-PW6, 2539.
- [2] ปรากฏ ไพรสุวรรณ, อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ และ สุรเชษฐ เดชฟุ้ง. "อุปกรณ์ควบคุมพลังงานและปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธีการควบคุมสลิปที่ติดตั้งอุปกรณ์ลดแฟคเตอร์ที่มีความคิดเห็น" วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ ฉบับที่ 1. หน้า 1 -6 , 2543.
- [3] มิ่งขวัญ จุลเจริญ และ ศิริโรจน์ แซ่อึ้ง. "การสร้างตัวกรองคิิตอลด้วยตัวประมวลผลสัญญาณคิิตอล TMS320C50." ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์อุตสาหกรรมและอุปกรณ์การแพทย์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2542.
- [4] M.H. Rashid, Power Electronics, Prentice Hall, Singapore, 1992.
- [5] M.S. Sarma, Electric machines, West Pub. Co., USA, 1994.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

วารสารที่ตีพิมพ์เรื่อง

" อุปกรณ์ควบคุมพลังงานและปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ
โดยวิธีการควบคุมสลิปที่ติดตั้งอุปกรณ์ลดแพคเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยน "

วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มีนาคม 2543, หน้า 1-6.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ควบคุมพลังงานและปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของ

มอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธีการควบคุมสลลิป

ที่ติดตั้งอุปกรณ์ลดแฟคเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยน

Energy Controller for Induction Motor and Improvement

of Power Factor by Slip Control Method

with Installing Devices for Reducing Distortion Factor

ประภษา ไพธสุวรรณ อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ สุรเชษฐ เคชพึ้ง
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอถึงอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน โดยวิธีการควบคุมสลลิปที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ชนิดกรงกระรอก ขนาด 2 แรงม้า โดยใช้หลักการของการลดแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ด้วยวิธีควบคุมมุมจุดชนวนของ SCR และใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) ซึ่งรับสัญญาณมาจากอุปกรณ์ตรวจจับความเร็วมอเตอร์เป็นตัวควบคุมมุมจุดชนวน เพื่อให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบที่เต็มพิกัดตลอดเวลาและทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่าเท่ากับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่พิกัด ทำให้มอเตอร์ได้รับพลังงานเหมาะสมกับโหลดที่มันขับอยู่ ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานที่จ่ายให้มอเตอร์และเป็นการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ไปพร้อม ๆ กัน พร้อมกับได้มีการวิเคราะห์แฟคเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยนรวมถึงได้คำนวณและติดตั้งรีแอกเตอร์เพื่อลดแฟคเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยนของแหล่งจ่ายไฟที่เกิดจากวงจรควบคุมแรงดันด้วย จึงทำให้สมรรถนะของแหล่งจ่ายไฟและมอเตอร์ดีขึ้น ดังนั้นการควบคุมด้วยวิธีนี้จึงเหมาะที่จะใช้งานจริง

Abstract

This paper proposes the energy controller by slip control method with an adaptive efficiency and power factor of three phase and 2 horsepower squirrel cage induction motor by using the principle of decreasing voltage to stator winding of motor for controlling the firing angle of SCR and using the digital signal processing (DSP) that receives motor's speed detector for controlled firing angle. The speed of motor maintains a full load slip and full load power factor. This enables suitable power to the three phase induction motor and its load to save the power motor and to improve the power factor. Then, there were the analyzing of the distortion factor, calculating and installing reactor to decrease distortion factor of AC source due to AC voltage controller. These caused a better AC source and motor performance. Therefore, this energy controller is really practical.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์หลักที่ต้องใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อทำงานในสภาวะโหลดเต็มกำลัง (Full load) แต่ถ้ามอเตอร์ถูกใช้งานในสภาวะโหลดต่ำ (Light load) หรือไม่มีโหลด (No load) ก็จะทำให้มีพลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียโดยไม่มีประโยชน์ และยังทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำมากอีกด้วย จึงทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive power) มีค่ามากตามไปด้วย [1] ดังนั้นถ้าเราควบคุมพลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธีการควบคุมความเร็วหรือสลลิปเพื่่อมอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบเข้าใกล้ความเร็วรอบที่พิกัด ก็จะทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สูงขึ้นเมื่อมอเตอร์ถูกใช้งานในสภาวะไม่มีโหลด (No load) หรือสภาวะโหลดต่ำ (Light load) ก็จะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มาก นั้นหมายถึงสมรรถนะของมอเตอร์สูงขึ้นด้วย การควบคุมโดยวิธีนี้ยังช่วยลดการกระชากของกระแสด้านเข้าและลดการกระชากของแรงบิดของมอเตอร์ในขณะที่เริ่มเดินมอเตอร์ แต่วงจรควบคุมแรงดันที่ใช้จะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของกระแสด้านเข้ามอเตอร์ซึ่งจะทำให้คุณภาพของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของระบบลดลง จึงต้องมีการติดตั้งรีแอคเตอร์เพื่อลดความผิดเพี้ยนดังกล่าว

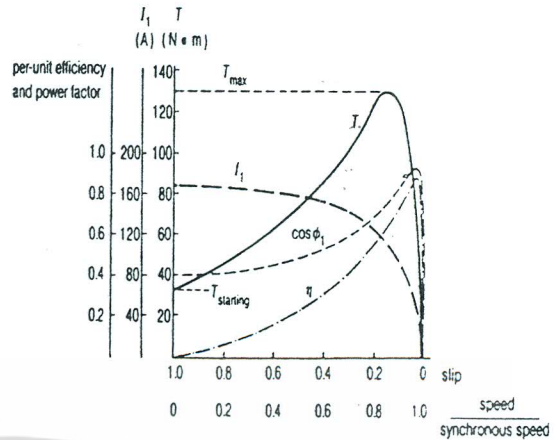
2. คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

2.1 หลักการเบื้องต้น

ด้วยลักษณะสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำตามรูปที่ 1 [3] นั้นจะพบว่ากระแสไฟฟ้าเริ่มหมุนนั้นจะมีค่ามากกว่ากระแสที่พิกัดหลายเท่า ส่วนตัวมอเตอร์เองจะถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพและเพาเวอร์แฟคเตอร์สูงเมื่อทำงานในสภาวะเต็มกำลัง (Full load) ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น แต่พลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไม่ว่าจะในภาวะเต็มกำลัง ครึ่งกำลัง หรือแม้แต่ว่าไม่มีโหลด แทบจะไม่แตกต่างกันมากนักสำหรับมอเตอร์ขนาดเล็ก นั้นหมายความว่าไม่ว่าเราจะได้งานหรือไม่ได้งานจากมอเตอร์ เรายังคงต้องจ่ายพลังงานให้แก่มอเตอร์ด้วยปริมาณที่ค่อนข้างจะคงที่

2.2 หลักการใหม่ที่น่าสนใจ

หลักการใหม่ที่นำเสนอในการควบคุมมอเตอร์ คือ การควบคุมพลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ให้มีปริมาณพอเหมาะ

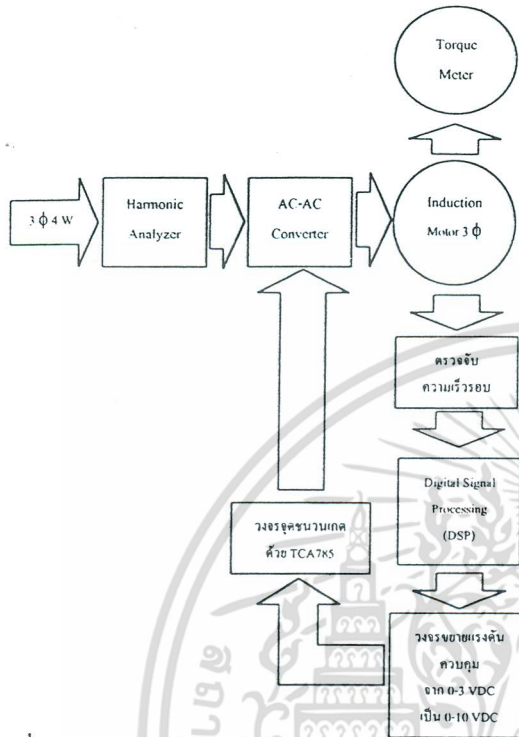


รูปที่ 1 คุณสมบัติการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส กับสภาวะการทำงานของมอเตอร์ โดยการตรวจสอบค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ [1] หรือความเร็วรอบโรเตอร์ของมอเตอร์ แต่ในกรณีแรกนั้นจะเกิดความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากกระแสที่ถูกตรวจสอบนั้นเป็นกระแสฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) ซึ่งเกิดจากวงจรควบคุมแรงดัน ดังนั้นในบทความนี้จึงใช้วิธีการตรวจสอบสลลิปของมอเตอร์แทนเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว จากคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อไม่มีโหลดจะมีความเร็วรอบโรเตอร์ประมาณ 1,495 rpm (สำหรับมอเตอร์ขนาด 1,500 วัตต์ 4 ขั้ว 50 Hz) และเมื่อมอเตอร์ขับโหลดเต็มที่จะมีความเร็วโรเตอร์ประมาณ 1,400 rpm จากคุณสมบัติตรงนี้เองทำให้ส่วนควบคุมทราบว่าขณะนี้มอเตอร์ต้องการพลังงานในการขับโหลดมากขึ้นเรื่อยๆ โดยส่วนควบคุมนี้จะใช้หลักการของการลดแรงดันที่ป้อนให้กับสเตเตอร์ของมอเตอร์ ด้วยวิธีควบคุมมุมจุดชนวน SCR โดยใช้เงื่อนไขคือ ควบคุมให้มอเตอร์มีความเร็วโรเตอร์เข้าใกล้ความเร็วเมื่อขับโหลดเต็มพิกัด (1,400 rpm) แต่มีข้อแม้ที่ว่ามอเตอร์จะต้องไม่มีอาการสั่น นั้นหมายถึงเมื่อลดแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์แล้วมอเตอร์จะต้องหมุนไปได้ปกติ โดยไม่เป็นอันตรายต่อตัวเองและโหลดที่ต่ออยู่ จากการควบคุมโดยวิธีนี้จะทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สูงขึ้นเพราะว่าค่า “สลลิป” จะเข้าใกล้ค่าสลลิปเต็มพิกัดในทุกโหลด เพราะฉะนั้นพลังงานที่เกิดขึ้นจะเข้าไปในงานที่เป็นประโยชน์มากเหมือนกับในกรณีที่มอเตอร์แบกภาระเต็มพิกัด แต่แรงดันที่ป้อนเข้ามีค่าน้อยลงเป็นผลทำให้มีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทำงานของ Hardware และ Software

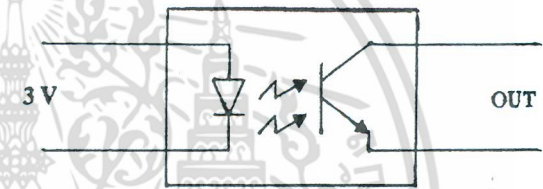
3.1 Hardware โดยรวม



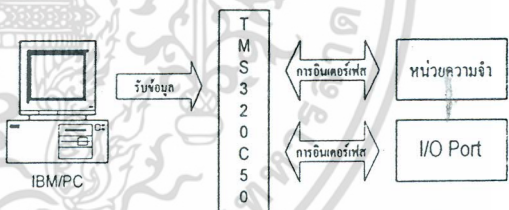
รูปที่ 2 แผนภาพการทำงานในส่วนของ Hardware โดยรวม

รายละเอียดในส่วนของ Hardware โดยรวมในรูปที่ 2 มีดังนี้ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณความเร็วรอบที่ใช้จะเป็น Opto Sensor ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งรับสัญญาณมาจากแผ่นกันแสงซึ่งติดอยู่ที่แกนโรเตอร์ของมอเตอร์แล้วส่งไปยังตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเพื่อทำการนับสัญญาณต่อไปบอร์ด TMS320C50 Digital Signal Processing (DSP) ซึ่งจะนำไปใช้งานด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่ต้องการความเร็วสูง โดยจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ซึ่งเป็นส่วนของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ และส่วนของซอฟต์แวร์ซึ่งเป็นโปรแกรมในหน่วยความจำ โครงสร้างโดยรวมของการออกแบบและหลักการการทำงานของบอร์ด TMS320C50 ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4 เนื่องจากสัญญาณ Analog Output ของบอร์ด TMS320C50 มีค่าอยู่ระหว่าง $\pm 0-3$ VDC จึงต้องนำมาขยายแรงดันโดยใช้ IC OP-AMP เบอร์ 741 ให้ได้แรงดันอยู่ระหว่าง 0-10 VDC แล้วจึงนำแรงดันนี้ส่งไปยังขา 11 (Control Voltage) ของ IC เบอร์ TCA785 เพื่อควบคุมมุมจุดชนวน SCR ให้ทำงาน

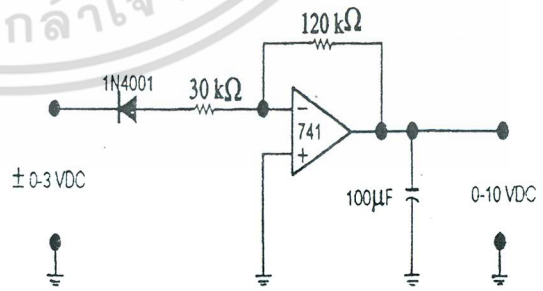
ได้ตามที่ได้วางแนวทางไว้เบื้องต้น วงจรขยายแรงดันนั้นก็ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5 ส่วนวงจรจุดชนวนเกตด้วย TCA785 แบบ 1 เฟส นั้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 6 [2] ซึ่งวงจรจุดชนวนเกตด้วย TCA785 แบบ 3 เฟส ที่ใช้ในบทความนี้จะใช้วงจรจุดชนวนวงจรถือเดียวกัน แต่จะมีไทรสเตอร์ทำงานบนสายไฟสลับ 3 เฟส เฟสละ 2 ตัว ลักษณะของวงจรถือจุดชนวนจะใช้วงจรรวม TCA785 3 ตัว แต่ละตัวทำงานควบคุมไทรสเตอร์ 1 เฟส (เฟสละ 2 ตัว) โดย TCA785 ที่รับแรงดัน V_{syn} จากสายเฟส R จะจ่ายพัลส์จุดชนวนให้กับไทรสเตอร์ที่ทำงานบนเฟส R และสำหรับเฟส S และ T ก็เช่นเดียวกัน โดยแรงดันควบคุม (V_{T1}) ที่ให้กับวงจรรวมทั้ง 3 ตัวนั้นจะรับมาจากวงจรถือจุดชนวนในรูปที่ 5 ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว



รูปที่ 3 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณความเร็วรอบแบบ Opto Sensor

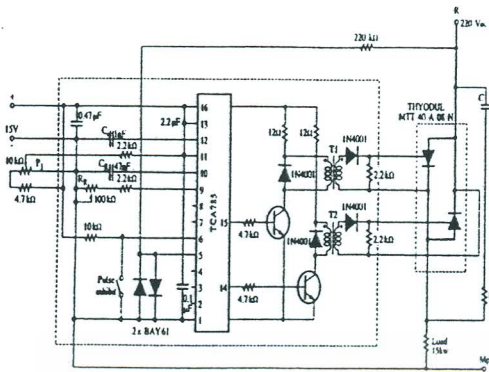


รูปที่ 4 แสดงหลักการการทำงานของบอร์ด



รูปที่ 5 แสดงวงจรถือจุดชนวนขยายแรงดันควบคุมจาก $\pm 0-3$ VDC เป็น 0-10 VDC

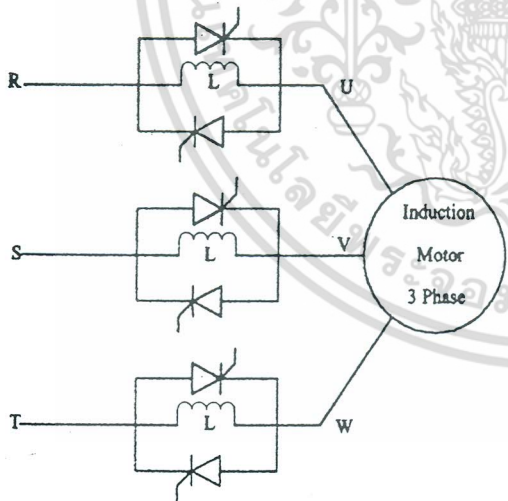
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 วงจรจุดชนวนเกตด้วย TCA785 แบบ 1 เฟส

3.2 Hardware ในส่วนของอุปกรณ์ลดแฟคเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยน

เนื่องจากการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าของมอเตอร์โดยใช้เฟสคอนโทรลนั้นจะเกิดฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) เข้ามารบกวนในระบบไฟฟ้าโดยส่วนรวมและมีผลทำให้รูปคลื่นกระแสเข้ามอเตอร์ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์มก ซึ่งทำให้คุณภาพของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของระบบลดลง ดังนั้นจึงต้องทำการลดฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้น โดยการใส่ L เข้าไปขนานกับไทรสเตอร์ซึ่งต่อกลับหลังกันอยู่ในวงจรควบคุมแรงดันแบบสามเฟส ดังแสดงในรูปที่ 7



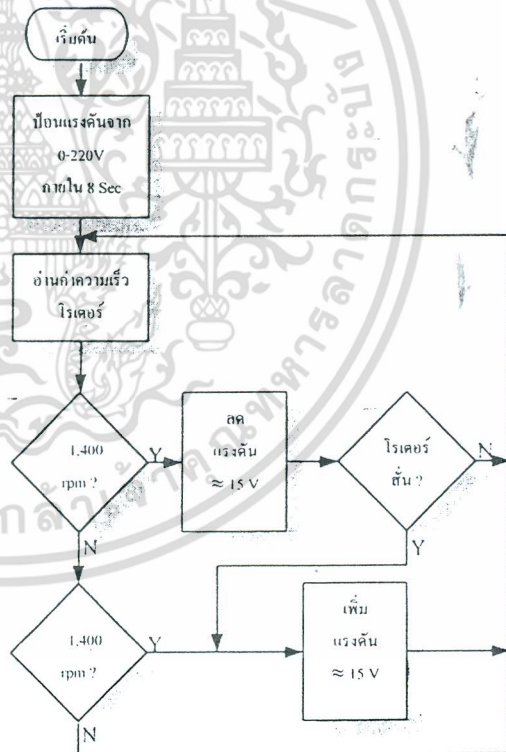
รูปที่ 7 แสดงการต่อ L 1.0 H เข้าไปในวงจรควบคุมแรงดัน เพื่อลดค่า THD (Total Harmonic Distortion)

จากรูปที่ 7 การต่อ L เข้าไปที่ตำแหน่งดังกล่าวก็เพื่อในขณะที่ SCR นำกระแสจะไม่มีการแสไหลผ่าน L (ไม่มีผลต่อวงจรควบคุมแรงดัน) แต่เมื่อ SCR หยุดนำกระแสจะมีกระแสไหลผ่าน L โดยจะใช้คุณสมบัติของไหลล L

(กระแสจะล้าหลังแรงดัน) ยึดกระแสที่ไม่ต่อเนื่องออกไป นั่นคือกระแสจะเป็นกระแสแบบต่อเนื่องมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ความผิดเพี้ยนของกระแสลดลง เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จึงทำการจำลองระบบโดยการเปลี่ยนค่า L ที่ใส่เข้าไป 4 ค่า คือ 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 H ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าค่า L ยิ่งน้อยเท่าไรค่าของกระแสฮาร์โมนิกส์จะยิ่งลดลงเท่านั้นแต่มีข้อจำกัดว่าถ้าค่า L ต่ำมาก ๆ จะมีผลทำให้ SCR ไม่หยุดนำกระแสหรือนำกระแสค้าง ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของ L และ SCR นั้นเอง ส่งผลให้วงจรควบคุมแรงดันไม่มีผลในการปรับแรงดันด้านเข้าของมอเตอร์ ค่า L ที่ใช้ได้ดีที่สุดจากการทดลองคือค่า L=1.0 H

3.3 Software

การทำงานในส่วนของ Software ได้แสดงให้เห็นดังในรูปที่ 8 ซึ่งได้มีการเขียนโปรแกรมให้กับ DSP เพื่อให้มันทำงานตามแนวคิดที่วางไว้ข้างต้น



รูปที่ 8 แผนภาพแสดงการทำงานในส่วนของ Software

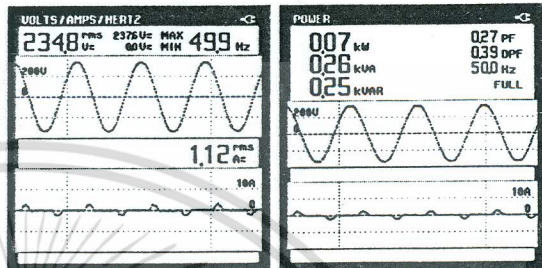
จากภาพที่ 8 เป็นส่วนของ Software ที่จะเขียนให้ DSP ทำงานโดยจะเริ่มจากการเริ่มเดินมอเตอร์ด้วยวิธีค่อยๆ เพิ่มแรงดันเข้าทางสเตเตอร์อย่างช้าๆ จาก 0-220V ต่อเฟส เพื่อลดกระแสตอนเริ่มเดินของมอเตอร์พร้อมกับวัดสัญญาณ

ความเร็วรอบ แล้วประมวลผลว่าความเร็วรอบมากกว่าความเร็วรอบที่พิกัดหรือไม่ ถ้ามากกว่า DSP ก็จะสั่งให้ลดแรงดันด้านเข้าสเตรเตอร์ลงประมาณ 15 V ซึ่งแรงดัน Step ละ 15 V นั้นเกิดจากการทดลองซึ่งถ้ามากกว่านี้ทำให้มอเตอร์เกิดการกระตุกได้เมื่อเวลาเพิ่มหรือลดแรงดัน แต่ถ้าน้อยกว่านี้จะต้องเขียน Software มากขึ้นทำให้ต้องใช้เวลานานในการประมวลผลมากขึ้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของแรงดันก็จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดนั่นคือเมื่อโหลดเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันมอเตอร์ไม่สามารถทำงานได้ตามแนวคิดที่วางไว้นั่นเอง แล้วตรวจสอบต่อไปว่ามอเตอร์วิ่งสั่นหรือไม่ การตรวจสอบในขั้นตอนนี้จะใช้ประโยชน์จากความเร็วของ DSP นั่นคือถ้ามอเตอร์สั่นเนื่องจากแรงดันด้านเข้าสเตรเตอร์ต่ำจนมอเตอร์ไม่สามารถหมุนได้อย่างปกติ DSP จะรู้เสมือนว่ามอเตอร์ความเร็วรอบลดลงแล้ว DSP จะสั่งให้วงจรควบคุมแรงดันเพิ่มแรงดันขึ้น 15 V ทันทีแล้วจึงกลับไปตรวจจับสัญญาณความเร็วรอบอีกครั้ง แต่ถ้าความเร็วรอบน้อยกว่าความเร็วรอบที่พิกัดเนื่องจากโหลดมาก DSP จะสั่งให้วงจรควบคุมแรงดันเพิ่มแรงดันขึ้น 15 V ทันทีแล้วจึงกลับไปตรวจจับสัญญาณความเร็วรอบอีกครั้ง จากการเขียน Software ในลักษณะนี้จะทำให้อุปกรณ์ควบคุมพลังงานตัวนี้ทำงานได้ตามแนวคิดที่วางไว้ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะอยู่ในหัวข้อต่อไป

4. ผลการทดลอง

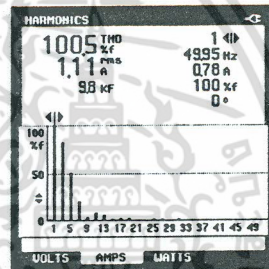
เมื่อนำวงจรที่ได้มาต่อกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 380/220V 50 Hz แบบกรงกระรอกขนาด 2 แรงม้าต่อแบบสคาร์และเริ่มเดินมอเตอร์แบบต่อตรงทำการเปรียบเทียบค่าของพลังงานที่เข้ามอเตอร์ ขณะที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน กับขณะที่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน และเปรียบเทียบแฟลคเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยนขณะไม่ติดตั้ง L 1.0 H และติดตั้ง L 1.0 H เพื่อศึกษาว่ามีอุปกรณ์ควบคุมพลังงานที่ติดตั้ง อุปกรณ์ลดแฟลคเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยนนี้จะช่วยประหยัดพลังงานและลดแฟลคเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยน ได้มากน้อยเท่าใด เมื่อเปรียบเทียบกับขณะที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงานพลังงาน โดยให้มอเตอร์จ่ายโหลดที่ค่า ๆ หนึ่งเท่านั้น 8 ค่า เพื่อจะได้เปรียบเทียบพลังงานที่เข้ามอเตอร์ว่าแตกต่างกันอย่างไร โดยมอเตอร์จะต่อ Coupling อยู่กับ Torque Meter

เพื่อวัดค่าแรงบิดของมอเตอร์และวัดค่า แรงดัน , กระแส , กำลังงานอินพุท , ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ และค่าผลรวมของความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแส (THD) ด้วยเครื่องมือวัด Fluke 43 ค่าที่ได้จะเป็นค่า True RMS โดยทำการบันทึกและเปรียบเทียบค่าแบบนี้ไปทุก ๆ ค่า ได้ผลการทดลองออกมาดังแสดงในตารางที่ 1,2 และ 3 ตามลำดับ



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างผลการวัดที่ได้จากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับอุปกรณ์ควบคุมพลังงานมอเตอร์ โดย Fluke 43 (Power Quality Analyzer)

(ก) Volt/Amp/Hz (ข) power (ค) harmonics

- ในการวัดให้ถือว่าเป็น 3 เฟสสมดุลย์
 - ค่า Torque ได้มาจากการวัดจาก Torque Meter ของชุดทดลอง Terco
 - ค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพ (% η) หาได้จากสมการ
- $$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{T \cdot \omega}{3V_p I_p \cos \phi} = \frac{T \cdot (2\pi N_r / 60)}{3W_m}$$

ซึ่ง W_m ได้มาจากเครื่องมือวัด Fluke 43

N_r คือ ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)

5. บทสรุป

จากตารางที่ 1, 2 และ 3 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- 1) ผลจากการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในขณะที่มอเตอร์ทำงานที่โหลดต่ำ แต่ถ้าเทียบกับ [1] จะพบว่าไม่ได้เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ขณะมอเตอร์ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

Torque (N-m)	กำลังงาน O/P ของมอเตอร์ (W)	แรงดัน ต่อเฟสที่แหล่งจ่าย (V)	แรงดัน ต่อเฟสที่มอเตอร์ (V)	กระแสเฟสของมอเตอร์ (A)	กำลังงาน I/P ของมอเตอร์ (W)	ความเร็วโรเตอร์ (rpm)	ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%)	ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์	กำลังไฟฟ้าเสมือนของมอเตอร์ (VAR)
0.5	78.23	235.7	235.7	2.26	390	1495	20.0	0.24	1560
1	156.40	234.5	234.5	2.21	480	1495	32.6	0.30	1470
2	311.27	234.6	234.6	2.23	630	1487	49.4	0.40	1440
3	464.09	234.2	234.2	2.27	780	1478	59.5	0.49	1410
4	614.18	234.6	234.6	2.34	930	1467	66.0	0.56	1380
5	764.06	234.7	234.7	2.44	1080	1460	70.7	0.63	1350
6	911.86	234.6	234.6	2.57	1230	1452	74.1	0.68	1320
7	1058.70	234.7	234.7	2.71	1380	1445	76.7	0.73	1320

ตารางที่ 2 ขณะมอเตอร์มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงานที่ติดตั้งอุปกรณ์ลดแฟกเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยน 1.0 H

Torque (N-m)	กำลังงาน O/P ของมอเตอร์ (W)	แรงดัน ต่อเฟสที่แหล่งจ่าย (V)	แรงดัน ต่อเฟสที่มอเตอร์ (V)	กระแสเฟสของมอเตอร์ (A)	กำลังงาน I/P ของมอเตอร์ (W)	ความเร็วโรเตอร์ (rpm)	ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%)	ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์	กำลังไฟฟ้าเสมือนของมอเตอร์ (VAR)
0.5	75.93	236.9	115.6	1.03	210	1450	36.1	0.27	720
1	151.84	237.1	110.7	1.07	270	1450	56.2	0.37	690
2	303.68	236.9	141.6	1.51	480	1450	63.2	0.46	930
3	455.52	237.3	172.6	1.84	660	1450	68.9	0.52	1110
4	606.53	237.0	195.2	1.93	870	1448	69.6	0.58	1200
5	758.17	237.3	197.6	2.27	1020	1448	74.3	0.63	1290
6	909.80	232.6	224.6	2.48	1200	1448	75.7	0.69	1260
7	1061.43	232.1	234.8	2.76	1410	1448	75.2	0.74	1290

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบแฟกเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยน

Torque (N-m)	0.5	1	2	3	4	5	6	7
ค่า %THD ขณะไม่ติดตั้ง L	100.5	88.7	80.1	61.5	54.8	42.3	29.9	8.1
ค่า %THD ขณะติดตั้ง L 1.0 H	49.6	50.0	52.5	47.2	48.0	38.5	23.9	7.6

แต่ความจริงแล้วค่าที่วัดได้ในบทความนี้วัดจากเครื่องมือวัดที่เป็นค่าจริงนั่นคือวัดทุก harmonics แต่ [1] วัดเฉพาะที่ความถี่มูลฐานเท่านั้น จึงทำให้บทความนี้เห็นค่าดังกล่าวต่ำกว่า [1] แต่ค่าได้ในบทความนี้เป็นค่า True RMS

2) ผลจากการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าการใส่ L เข้าไปขนานกับไทรสเตอร์ซึ่งต่อกลับหลังกันอยู่ในวงจรควบคุมแรงดันสามารถลด %THD ได้มากในขณะที่โหลดต่ำ แต่ขณะที่โหลดสูงจะไม่เห็นผลแตกต่างกันมากนัก เพราะว่า SCR จะทำงานที่มุมจุดขนานต่ำ (แรงดันตกคร่อม SCR น้อยลง) จึงทำให้กระแสไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายเป็นแบบต่อเนื่องมากขึ้น

3) ความสูญเสียในวงจรควบคุมแรงดันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพรวมทั้งเพิ่มขึ้นจะมีค่าไม่มาก

4) ลักษณะของการใช้วงจรควบคุมแรงดันแบบ นี้

นี้ยังให้ถึงการเริ่มเดินมอเตอร์อย่างนุ่มนวลด้วย

5) หลักการนี้ใช้ได้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำทุกขนาดแรงม้าและทุกชนิดของความเร็วรอบ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ประภาส ไพรสุวรรณ , สุทธิไชย รังสิโรดมโกมล และ นพปฎล ชะนะ “อุปกรณ์ประหยัดพลังงานและปรับค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 19 , ขอนแก่น, หน้า PW1-PW6, 7-8, พฤศจิกายน 2539.
- [2] ชัยยงค์ แก้วมงคล และ นภัทร วังเทพินทร์ “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1” , กรุงเทพฯ, หน้า 318 , 2540.
- [3] M. S. Sarma , “Electric machines” , West Pub. Co., U.S.A. ,1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย

นาย อนุวัฒน์ งามวนิชเลิศ สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2533 และวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2537 รับราชการในตำแหน่งอาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปี พ.ศ. 2538 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 6

นาย ประภาส ไพรสุวรรณ สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) ปีการศึกษา 2523 และวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) ปีการศึกษา 2526 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง รับราชการในตำแหน่งอาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปี พ.ศ. 2524 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 8

นาย สุรเชษฐ เดชฟู่ง สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง) จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปีการศึกษา 2537 เริ่มรับราชการในปี พ.ศ. 2538 ในตำแหน่งอาจารย์ 1 ระดับ 3 สังกัดสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครเหนือ และปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ 1 ระดับ 4 สังกัดสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครเหนือ



หนังสือเป็นสมบัติของท่าน
โปรดช่วยกันรักษา

www.lib.kmitl.ac.th

นักหอสมุดกลาง โทร. 0 2739 2221