

อุปกรณ์ควบคุมการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธีปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง
ENERGY CONTROLLER BY IMPROVING POWER FACTOR
OF INDUCTION MOTOR



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดมหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

เลขหน้.....สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขทะเบียน.....28902

พ.ศ.2540

วัน, เดือน, ปี 1 1 พ.ย. 2540

ISBN 974-621-813-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ENERGY CONTROLLER BY IMPROVING POWER FACTOR
OF INDUCTION MOTOR**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1997

ISBN 974-621-813-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อุปกรณ์ควบคุมการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ
โดยวิธีปรับปรุ่่งค่าตัวประกอบกำลัง

ชื่อนักศึกษา

ร.อ. นพปฎล ชะนะ (ร.น.)

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณ

ระดับการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.

2540

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพ และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power factor) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (Induction motor) โดยใช้หลักการของการลดแรงดันด้วยวิธีการควบคุมมุมจุดชนวนของ SCR ที่ป้อนให้กับขดลวดมอเตอร์และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นตัวควบคุมทำให้มอเตอร์ได้รับพลังงานที่เหมาะสมกับโหลด (Load) ที่มอเตอร์ขับอยู่ การปรับค่าแรงดันด้านเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธีควบคุมเฟสสามารถปรับปรุงสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ในสภาวะโหลดต่ำ งานวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อควบคุมมอเตอร์ให้มีค่ามุมล้าหลังต่ำที่สุด จากการควบคุมโดยวิธีนี้นอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์ และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แล้วยังช่วยลดการกระชากของกระแสด้านเข้า รวมถึงการกระชากของแรงบิดของมอเตอร์ โดยวิธีการควบคุมมุมจุดชนวนของ SCR แบบเชิงเส้น เพื่อเพิ่มแรงดันด้านเข้าอย่างช้า ๆ สามารถกล่าวได้ว่าวิธีนี้เป็นวิธีประหยัดพลังงานเข้ามอเตอร์เหนี่ยวนำอีกวิธีหนึ่ง

THESIS TITLE	Energy controller by Improving Power factor of Induction Motor
STUDENT	Lt. Noppadol Chana
THESIS ADVISOR	Assit. Prof. Praphas Prisuwanna
LEVEL OF STUDENT	Master of Engineering in Electrical Engineering
DEPARTMENT	Electrical Engineering King Mongkut's institute of technology Ladkrabang
YEAR	1997

Abstract

This thesis propose an adaptive efficiency and power factor of induction motor by using microcontroller control the firing angle of SCR to decrease voltage that apply to the induction motor. The results to deliver suitable power to the induction motor and its load. The performance of induction motor at partial load can be improve by using AC voltage controller drive. This thesis shows that the efficiency of induction motor is made higher, when control the motor at lower lagging angle. This control method can reduce surge current and surge torque by slowly increasing applied voltage through phase control. It is a method to save energy flow into the induction motor.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาจากท่าน อาจารย์ ศศ.ประภาส ไพรสุวรรณ น.อ. สุทธิชัย รังสิโรดมโกมล ที่ได้ให้การประสิทธิ์ประสาทวิชาให้คำแนะนำปรึกษาแก่ผู้วิจัยตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านกรรมการสอบทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่า ขอบพระคุณ น.ต. พิเชษฐ ธีระเดชชาติ และเจ้าหน้าที่กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โรงเรียนนายเรือ ทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ทดลองต่าง ๆ ขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณวรรณมา ที่ได้ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้

นอกจากนี้ขอขอบคุณ โครงการทุนอุดหนุนทำการวิจัยภายในประเทศ ที่ได้ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นพปฎล ชะนะ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่	
1. บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
2. ทฤษฎีเบื้องต้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	3
โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	3
หลักการทํางาน.....	3
ความเร็วสลลิป และความเร็วโรเตอร์.....	4
แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และความถี่ในโรเตอร์.....	4
กำลังและกระแสที่โรเตอร์.....	5
วงจรมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	5
คุณลักษณะ.....	8
กำลังและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	9
แรงบิดเริ่มหมุน.....	14
แรงบิดเมื่อมอเตอร์ทํางาน.....	14
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดเมื่อโหลดเต็มพิกัดและแรงบิดสูงสุด.....	15
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดเริ่มหมุนและแรงบิดสูงสุด.....	16
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสลลิป.....	17
การสมดุลของสมการกำลัง.....	19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
กำลังกลเอาต์พุทสูงสุด.....	20
ค่าสลิปที่กำลังกลเอาต์พุทสูงสุด.....	22
การควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	23
ทำไมจึงต้องควบคุมความเร็วของมอเตอร์.....	23
การควบคุมความเร็วทางด้านสเตเตอร์.....	23
การเปลี่ยนแรงดัน ไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์.....	23
การเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็ก.....	24
การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ โดยการเปลี่ยนแปลงความถี่.....	25
ผลดีและผลเสียของการควบคุมความเร็ว โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดัน ไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์.....	25
3. กำลังไฟฟ้าและการแก้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์.....	28
กำลังไฟฟ้า.....	28
คำจำกัดความของเพาเวอร์แฟคเตอร์.....	29
ข้อดีของการปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์.....	30
การเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์.....	35
ความคิดเทียบของรูปคลื่นกระแส.....	35
กำลังไฟฟ้าและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์.....	37
4. ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	39
ความสัมพันธ์พื้นฐานของแรงดัน ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า.....	39
แนวคิดและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	42
แนวคิดในการตรวจจับสัญญาณมุมล้าหลัง.....	44
เทคนิคในการค้นหามุมล้าหลังต่ำสุด.....	45
การทำงานของ SOFTWARE.....	46

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5. ส่วนฮาร์ดแวร์ของตัวควบคุมอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	48
การทำงานของส่วนฮาร์ดแวร์โดยรวม.....	48
การทำงานของส่วนต่างๆ.....	50
6. การทดสอบและผลการทดลอง.....	55
ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์.....	63
7. บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	77
บรรณานุกรม.....	83
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	84
ภาคผนวก ก. โปรแกรมควบคุม.....	85
ภาคผนวก ข. ข้อมูลผลการทดลองที่ได้จากเครื่องมือวัด.....	92
ภาคผนวก ค. ข้อมูลเฉพาะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ในการทำงานวิจัย.....	201
ประวัติผู้เขียน.....	251

สารบัญภาพ

หน้า

1. แสดงวงจรสมมูลย์ของสเตเตอร์และโรเตอร์ (ขณะอยู่กับที่).....	6
2. แสดงวงจรสมมูลย์แบบไค์เคียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	7
3. แสดงกำลังและการสูญเสียในส่วนต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	10
4. แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสลิป เมื่อมีค่าความต้านทาน ของโรเตอร์ R_2 ค่าต่างๆ กัน.....	17
5. แสดงเส้นกราฟ แรงบิด-ความเร็วรอบ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบบโรเตอร์ กรงกระรอก.....	18
6. แสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงบิด และกระแสโรเตอร์/ความเร็วโรเตอร์ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบบโรเตอร์กรงกระรอก.....	19
7. แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อ ไม่คิดค่า I_0 และให้ค่า $K = 1$	21
8. แสดงการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์.....	24
9. แสดงกราฟแรงบิด-ความเร็ว ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส, 15HP, 460V, 60Hz.....	25
10. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสลิป เมื่อแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์เปลี่ยนแปลง	26
11. แสดงสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า.....	28
12. แสดงสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าเมื่อรวมโหลดทั้งหมด.....	29
13. แสดงความสัมพันธ์ของกระแสและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์.....	31
14. แสดงการลดลงของกำลังงานสูญเสียในสายไฟเมื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ให้มีค่าสูงขึ้น.....	32
15. แสดงความสามารถของสายส่งในการส่งกำลังงาน ไฟฟ้าที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ระหว่าง 0.5 ถึง 1.0.....	33
16. แสดงเพาเวอร์-โพลว์ ไดอะแกรม.....	34
17. แสดงความคิดเหี้ยนของกระแสไปจากรูปไซน์.....	35
18. แสดงคุณสมบัติของโหลดทางไฟฟ้า.....	39
19. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า กับกระแสไฟฟ้า.....	40
20. แสดงกราฟคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	41

VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

21. แสดงวงจรสมมูลย์โดยประมาณของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	42
22. แสดงวงจรสมมูลย์ฮาร์โมนิก ต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	43
23. แสดงโพลาร์กราฟขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	46
24. แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของฮาร์ดแวร์.....	48
25. แสดงวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแส.....	50
26. แสดงสัญญาณในส่วนต่างๆ ของวงจรควบคุมอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	52
27. แสดงวงจรส่วนควบคุมและสร้างพัลส์จุดชนวน.....	53
28. แสดงรูปที่ใช้ทดลองอุปกรณ์ควบคุมพลังงานกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	55
29. แสดง TORQUE METER ใช้วัดแรงบิดมอเตอร์.....	56
30. แสดงอุปกรณ์ควบคุมพลังงานนำมาแสดงในงานนิทรรศการของลาดกระบัง.....	56
31. แสดงส่วนควบคุมอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	57
32. แสดงส่วนจุดชนวน SCR ของอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	57
33. แสดงมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 1,500 W ที่ใช้ในการทดลอง.....	58
34. แสดงโหลดความต้านทานที่ใช้ในการทดลอง.....	58
35. แสดงการต่อเครื่องมือวัด Harmonics Analyzer กับมอเตอร์.....	59
36. แสดงการต่อเครื่องมือวัด Harmonics Analyzer กับมอเตอร์.....	60
37. แสดงการต่อเครื่องมือวัด Harmonics Analyzer กับมอเตอร์.....	61
38. แสดงกราฟคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากผลการทดลองขณะที่ไม่มี อุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	63
39. แสดงกราฟคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากผลการทดลองขณะที่มี อุปกรณ์ควบคุมพลังงาน และต่อเครื่องมือวัดก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	64
40. แสดงกราฟคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากผลการทดลองขณะที่มี อุปกรณ์ควบคุมพลังงาน และต่อเครื่องมือวัดหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	64
41. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะโหลด 7 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

42. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะโหลด 7 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	65
43. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะโหลด 6 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	66
44. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะโหลด 6 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	66
45. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะโหลด 5 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	67
46. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะโหลด 5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	67
47. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะโหลด 4 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	68
48. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะโหลด 4 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	68
49. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะโหลด 3 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	69
50. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะโหลด 3 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	69
51. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะโหลด 2 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	70
52. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะโหลด 2 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	70
53. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะโหลด 1 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	71
54. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะโหลด 1 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

55. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะ No-load ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	72
56. แสดงสัญญาณแรงดันเทียบกับกระแสขณะ No-load มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน.....	72
57. แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 เทียบกับ G2K2 ขณะโหลด 7 N-m.....	73
58. แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 เทียบกับ G2K2 ขณะโหลด 6 N-m.....	73
59. แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 เทียบกับ G2K2 ขณะโหลด 5 N-m.....	74
60. แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 เทียบกับ G2K2 ขณะโหลด 4 N-m.....	74
61. แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 เทียบกับ G2K2 ขณะโหลด 3 N-m.....	75
62. แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 เทียบกับ G2K2 ขณะโหลด 2 N-m.....	75
63. แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 เทียบกับ G2K2 ขณะโหลด 1 N-m.....	76
64. แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 เทียบกับ G2K2 ขณะ No-load.....	76
65. แสดงกราฟกำลังงานอินพุท.....	79
66. แสดงกราฟกำลังงาน ไฟฟ้าเสมือน.....	80
67. แสดงกราฟประสิทธิภาพ.....	81
68. แสดงกราฟเพาเวอร์แฟคเตอร์.....	81

บทที่ 1

บทนำ

ทุกวันนี้การประหยัดพลังงานนับว่าเป็นเรื่องสำคัญเรื่องหนึ่ง ที่มีการรณรงค์กันอย่างจริงจังทั่วโลก พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีปัญหาหลากหลายเพราะกำลังการผลิตมีจำกัดและแนวโน้มที่จะขยายกำลังการผลิตยังต้องใช้เวลาอีกนาน เพราะฉะนั้นการแก้ปัญหาในขณะนี้ที่ดีที่สุดคือใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัดและทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด มอเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักที่ต้องใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อทำงานในสภาวะเต็มกำลัง (Full load) แต่ตามลักษณะการใช้งานจริงๆ บ่อยครั้งที่มอเตอร์จะถูกใช้งานในสภาวะโหลดต่ำ (Light load) หรือไม่มีโหลด (No load) ซึ่งตรงจุดนี้เองทำให้มีพลังงานส่วนหนึ่งที่สูญเสียโดยไม่มีประโยชน์ ที่เรียกว่ารีแอกทีฟเพาเวอร์ (Reactive power) ถ้าเราสามารถปรับปรุงสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อถูกใช้งานที่สภาวะโหลดต่ำหรือไม่มีโหลดให้สูงขึ้นได้ ก็จะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มาก

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ต้องการนำเสนอ แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพ และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ซึ่งปกติมอเตอร์จะมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ค่อนข้างต่ำ เมื่อถูกใช้งานที่สภาวะโหลดต่ำหรือไม่มีโหลด และการสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่แต่ละครั้งจะทำให้เกิดการรบกวนในระบบไฟฟ้าโดยรวม ในความเป็นจริงแล้วบ่อยครั้งที่มอเตอร์จะถูกใช้งานในสภาวะโหลดต่ำหรือไม่มีโหลด ซึ่งจะทำให้มีพลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ที่เรียกว่า รีแอกทีฟเพาเวอร์ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอแนวทางในการควบคุมมอเตอร์ให้ได้รับพลังงานที่เหมาะสมกับโหลดที่มอเตอร์ขับอยู่ โดยใช้เงื่อนไขให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานที่มุมล้าหลังต่ำสุดในแต่ละโหลดของมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์มีความเร็วในการตอบสนองต่อโหลดที่เปลี่ยนแปลงสูง จากการควบคุม โดยวิธีนี้จึงไม่มีความจำเป็นต้องทราบค่ามุมต่างเฟสของกระแสกับแรงดันไฟฟ้าที่ถูกต้อง เพียงแต่ขอให้ค่ามุมต่างเฟสที่ตรวจจับได้มีส่วนสอดคล้องกับสภาวะการทำงานของมอเตอร์ ทำให้การออกแบบส่วนควบคุมง่าย และตัดขั้นตอนการคำนวณของระบบที่ยุ่งยากออกไปซึ่งเป็นผลทำให้ระบบควบคุมทำงานด้วยความเร็วสูง

และทำให้ใช้ขนาดของหน่วยความจำน้อยลงมาก การศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ในส่วนของกรวิจัยได้เสนอเงื่อนไขที่เหมาะสมในการควบคุมมอเตอร์ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้ระบบมีการทำงานทันต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่มอเตอร์ได้รับ และมอเตอร์ได้รับพลังงานที่เหมาะสมกับโหลดตลอดเวลา รายละเอียดของการวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้จัดแบ่งออกเป็น 7 บท

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงวัตถุประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 เป็นทฤษฎีเบื้องต้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ในบทนี้ได้กล่าวถึงโครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการทำงานของมอเตอร์ ข้อดีและข้อเสียของมอเตอร์ที่ต้องปรับปรุงแก้ไข หลักการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน กล่าวถึงเหตุผลที่ต้องควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และการควบคุมความเร็วทางด้านสเตรเตอร์ โดยเน้นการเปลี่ยนแปลงแรงดัน ไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ เพราะใช้ในงานวิจัยนี้

บทที่ 3 เป็นการกล่าวถึงกำลังไฟฟ้าและการแก้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ จำจำกัดความของเพาเวอร์แฟคเตอร์ และข้อดีของการปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์

บทที่ 4 เป็นการอธิบายหลักการที่ใช้ในการควบคุม และการทำงานของโปรแกรม

บทที่ 5 เป็นการอธิบายการทำงานของฮาร์ดแวร์ของระบบทั้งหมด วิธีการปรับแต่งส่วนต่างๆ ของวงจร

บทที่ 6 เป็นการกล่าวถึงผลการทดลอง และวงจรที่ใช้ในการทดลอง

บทที่ 7 เป็นบทสรุปงานวิจัยพร้อมทั้งปัญหาของงานวิจัย และข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนาต่อไปเพื่อให้สามารถใช้งานได้ดีขึ้น

ภาคผนวก ก. ได้กล่าวถึงโปรแกรมที่ใช้ในการทำวิจัยทั้งหมด

ภาคผนวก ข. เป็นข้อมูลผลการทดลองที่ได้จากเครื่องมือวัด FLUKE41 Harmonics Analyzer

ภาคผนวก ค. เป็น data sheet ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้น

โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ ส่วนอยู่กับที่ (Stator) และ ส่วนหมุน (Rotor)

-สเตเตอร์มีหน้าที่ขี้ดขลวคอาร์เมเจอร์ที่บรรจุอยู่ในสล๊อต

-โรเตอร์แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. แบบกรงกระรอก (Squirrel cage) แกนโรเตอร์ทำด้วยเหล็กแผ่นลามิเนทเจาะรูค้ำนนอกให้เป็นร่องโดยรอบ เรียกว่า สล๊อต ตรงกลางแผ่นจะเจาะรูสำหรับสอดเพลลา เมื่อนำแผ่นเหล่านี้มาอัดเข้าด้วยกันจะได้แกนโรเตอร์ นำแกนโรเตอร์ไปวางในพิมพ์เพื่อฉีคลูมิเนี่ยมเหลวเข้าไปจะได้ลูมิเนี่ยมอัดแผ่นอยู่ในร่องสล๊อต และมีครีบยื่นออกไปสองข้างเพื่อใช้เป็นใบพัดระบายความร้อน

2. แบบขดลวดพันรอบโรเตอร์(Wound rotor) โรเตอร์แบบนี้แตกต่างกับแบบกรงกระรอกคือมีขลวคทองแดงพันรอบโรเตอร์ ส่วนปลายของขลวคนี้จะต่อกับสลัปรังซึ่งมีแปรงถ่านอยู่ มีข้อจำกัดคือ โรเตอร์ต้องมีจำนวนขั้วเท่ากับจำนวนขั้วที่เกิดจากสเตเตอร์

หลักการทํางาน

เมื่อจ่ายไฟกระแสสลับ 3 เฟส ให้ขลวคอาร์เมเจอร์ที่สเตเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุน เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กของสนามแม่เหล็กหมุนเคลื่อนตัวตัดตัวนำที่ฝังอยู่ในโรเตอร์จะเกิดการเหนี่ยวนำ และเนื่องจากโรเตอร์ถูกลัดวงจรจึงเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และแรงบิดเป็นผลให้โรเตอร์หมุนไปในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุน กล่าวคือ

สนามแม่เหล็กหมุนดังกล่าวจะหมุนด้วยความเร็ว ซิงโครนัส (N_s) ซึ่งหาค่าได้จาก

$$N_s = \frac{120 f_e}{P} \quad (2.1)$$

เมื่อ f_e = ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์

P = จำนวนขั้วของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วสลลิป และความเร็วโรเตอร์

โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะหมุนไปทางเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุนของสเตเตอร์ แต่ไม่ได้หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส ความแตกต่างระหว่างความเร็วซิงโครนัส (N_s) กับความเร็วโรเตอร์ (N_r) เรียกว่าความเร็วสลลิป (N_{slip}) หาค่าได้จาก

$$N_{slip} = N_s - N_r \quad (2.2)$$

อัตราส่วนระหว่าง N_{slip} ต่อ N_s เรียกว่า สลลิป (S) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$S = \frac{N_{slip}}{N_s} \times 100\% \quad (2.3)$$

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \quad (2.4)$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและความถี่ในโรเตอร์

เมื่อจ่ายแรงดัน ไฟฟ้าให้ขดลวดอาร์เมเจอร์ขณะโรเตอร์อยู่กับที่ ฟลักแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กหมุนจะกวาดผ่านขดลวดของโรเตอร์และสเตเตอร์ด้วยความเร็วสูงสุด(ความเร็วซิงโครนัส) แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในตัวนำนั้นจะมีค่าสูงสุด และขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดในโรเตอร์และสเตเตอร์ ดังนั้นความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งสองส่วนนี้จึงมีลักษณะคล้ายกับหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิ ขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดทั้งสอง

ขณะโรเตอร์อยู่กับที่ ($N_r = 0$) ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในโรเตอร์จะเท่ากับความถี่ของสาย กรณีนี้อัตรา สลลิป เท่ากับ 1 หรือ 100% และเมื่อโรเตอร์หมุนอัตราที่ฟลักแม่เหล็กกวาดผ่านตัวนำจะช้าลงค่าสลลิปจึงลดลงด้วย ในสภาพเช่นนี้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของโรเตอร์จะลดลงเป็นสัดส่วนกับค่า สลลิป เขียนสมการได้ดังนี้

$$E_r = SE_2 \quad (2.5)$$

$$X_r = SX_2 \quad (2.6)$$

ในการทำงานเดียวกันความถี่ของโรเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามค่า สลลิป ดังนั้น

$$f_r = Sf_c \quad (2.7)$$

- เมื่อ E_r = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของโรเตอร์ขณะทำงานปกติ
 E_2 = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของโรเตอร์ขณะอยู่กับที่
 X_r = ค่ารีแอกแตนซ์ต่อเฟสของโรเตอร์อยู่กับที่
 f_r = ความถี่ของโรเตอร์
 f_c = ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์

กำลังและกระแสที่โรเตอร์

การเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังกลของมอเตอร์ไฟฟ้าจะเกิดขึ้นที่โรเตอร์ ในมอเตอร์เหนี่ยวนำกำลังอินพุทของโรเตอร์ไม่ได้เกิดจากการจ่ายไฟฟ้าให้กับโรเตอร์โดยตรง แต่เป็นการถ่ายทอดกำลังผ่านช่องว่างอากาศ (Air gap) ด้วยการเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า และความถี่ขึ้นในโรเตอร์ ซึ่งค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟสก็คือ $E_r = SE_2$ ถ้าเอาแรงเคลื่อนจำนวนนี้หารด้วยค่าอิมพีแดนซ์ต่อเฟสที่โรเตอร์ (Z_2) ก็จะได้กระแสโรเตอร์ต่อเฟส (I_2) ไหลอยู่ในโรเตอร์เมื่อมอเตอร์ทำงานอยู่ที่ค่าสลิปใด ๆ ได้ดังนี้

$$I_2 = \frac{SE_2}{Z_2} \quad (2.8)$$

$$\text{หรือ } I_2 = \frac{SE_2}{R_2 + jSX_2} \quad (2.9)$$

จากสมการที่ 2.9 ใช้คำนวณหาค่ากระแสโรเตอร์ได้ทั้งขณะมอเตอร์เริ่มหมุน (Start) และเมื่อหมุนอยู่ที่ค่าสลิปใดๆ ก็ได้ โดยขณะเริ่มหมุนให้แทนค่า สลิป $S = 1$ ลงในสมการ 2.9 จะได้กระแสโรเตอร์ขณะมอเตอร์เริ่มหมุนดังนี้

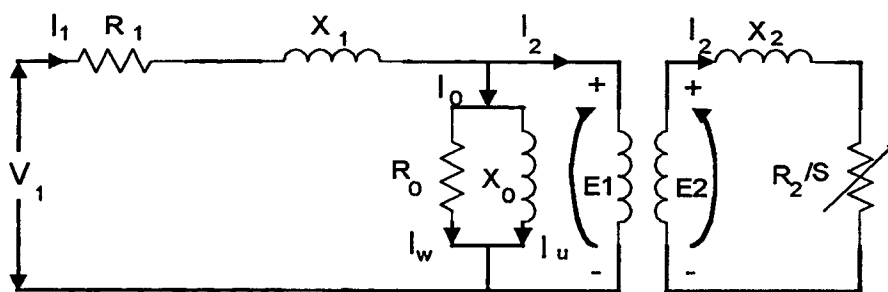
$$I_2 = \frac{E_2}{R_2 + jX_2} \quad (2.10)$$

วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เนื่องจากว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำนี้อาศัยหลักการการทำงานเช่นเดียวกับหม้อแปลงจะต่างกันก็ตรงที่มอเตอร์มีส่วนที่สอง (Secondary) เคลื่อนที่หรือหมุนได้ ดังนั้นจึงเขียนวงจรสมมูลย์ได้เช่นเดียวกับหม้อแปลงแบบธรรมดา ดังภาพที่ 1 ซึ่งเป็นวงจรสมมูลย์ต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 1



แสดงวงจรสมมูลของสเตเตอร์และโรเตอร์ (ขณะอยู่กับที่)

วงจรสมมูลของสเตเตอร์ เหมือนกับวงจรสมมูลด้านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า คือประกอบด้วยความต้านทานของสเตเตอร์ (R_1) , รีแอกแตนซ์รั่วไหลของสเตเตอร์ (X_1) และค่าต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของสาขาที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (Magnetizing branch) ได้แก่ R_0 (ความต้านทานของแกนเหล็ก) , X_0 (รีแอกแตนซ์ที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก) , I_w (กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดกำลังสูญเสียในแกนเหล็ก) , I_u (กระแสไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก)

จากภาพที่ 1 กระแส I_0 ไหลในขดลวดสเตเตอร์เป็นกระแสส่วนที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) และการสูญเสียในขดลวด (Copper loss) จะเปลี่ยนแปลงค่าน้อยมาก ไม่ว่าโหลดของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงอย่างไรก็ตาม ดังนั้นถ้าย้ายวงจรขนานที่ I_0 ไหลผ่านมาไว้ที่ด้านทางของวงจรสมมูลจะทำให้วิเคราะห์ทฤษฎีเกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำง่ายขึ้น โดยมีเหตุผลดังนี้คือ

1. การย้ายวงจรขนานที่กระแส I_0 ไหลผ่านนี้จะทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย เพราะ R_1 และ X_1 มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับ X_0 แต่จะได้วงจรสมมูลที่พิจารณาได้ง่าย

2. วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดจะไม่คิดค่า I_0 ซึ่งเป็นส่วนประกอบเล็กๆ เมื่อเทียบกับกระแสไฟฟ้าที่พิกัด แต่ในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำทำเช่นนั้นไม่ได้ เพราะค่า I_0 มีค่าถึง 30% - 50% ของกระแสไฟฟ้าที่พิกัด ทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม X_0 เป็นจำนวนมาก จึงต้องคงค่า X_0 ไว้ในวงจรสมมูล

วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถย้ายด้านรวมกันได้ ถ้าทราบค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิกับขดลวดทุติยภูมิ ในทำนองเดียวกันถ้าทราบอัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของขดลวดที่สเตเตอร์กับโรเตอร์ (Turn ratio ; a) ก็จะย้ายค่าในวงจรสมมูลของขดลวดทั้งสองมารวมกันได้เช่นกัน

ในที่นี้ต้องการย้ายค่าของวงจรถียบเคียงโรเตอร์มายังวงจรถียบเคียงสเตเตอร์ซึ่งหาค่าต่างๆ ของวงจรมวลย์ได้ดังนี้คือ

$$E'_2 = aE_2 = E_1 \quad (2.11)$$

เมื่อ $E'_2 =$ แรงดันไฟฟ้าขั้วของโรเตอร์อยู่กับที่ที่ย้ายค่ามายังด้านสเตเตอร์

$$I_2 = \frac{I_2}{a} \quad (2.12)$$

เมื่อ $I'_2 =$ กระแสไฟฟ้าของโรเตอร์ที่ย้ายค่ามายังด้านสเตเตอร์

$$R'_2 = a^2 R_2 \quad (2.13)$$

$$X'_2 = a^2 X_2 \quad (2.14)$$

เมื่อ $R'_2 =$ ความต้านทานของโรเตอร์ที่ย้ายค่ามายังด้านสเตเตอร์

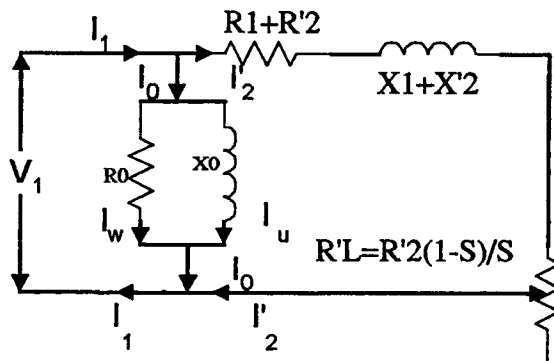
$X'_2 =$ รีแอกแตนซ์ของโรเตอร์ที่ย้ายค่ามายังด้านสเตเตอร์

จากภาพที่ 1 ค่าของ R_2/S สามารถแยกเทอมออกได้ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} \frac{R_2}{S} &= R_2 + \frac{R_2}{S} - R_2 \\ &= R_2 + R_2 \frac{(1-S)}{S} \end{aligned} \quad (2.15)$$

นำค่าที่ได้จากสมการที่ 2.11 ถึงสมการที่ 2.14 เขียนวงจรมวลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2



แสดงวงจรมวลย์แบบใกล้เคียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2 ค่าความต้านสมมูลย์และรีแอกแตนซ์สมมูลย์จะมีค่าดังนี้

$$R_{01} = R_1 + R'_2$$

$$\text{และ } X_{01} = X_1 + X'_2$$

ส่วนโหลดความต้านทาน R'_L ยังมีค่าเท่าเดิมคือ

$$R'_L = R'_2 \frac{(1-S)}{S}$$

เมื่อ R_2 คือค่าความต้านทานในวงจรโรเตอร์
 R'_L คือโหลดทางกลของมอเตอร์

คุณลักษณะ

มอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากแล้วจะเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เพราะมอเตอร์ชนิดนี้มีราคาไม่แพงมากนัก, ต้องการการดูแลรักษาน้อย และมีความเร็วเกือบคงที่ คือความเร็วจะลดลงจากสภาวะไม่มีโหลดจนกระทั่งขับโหลดเต็มทีเพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์ แต่มีข้อเสียคือ

- 1) ควบคุมความเร็วได้ยาก
- 2) ขณะที่โหลดน้อยจะมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ
- 3) กระแสไฟฟ้าเริ่มหมุน มักจะเป็น 5 เท่า หรือ 7 เท่า ของกระแสไฟฟ้าที่พิกัด

มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ วาวด์โรเตอร์ (Wound rotor) กับแบบกรงกระรอกมีโครงสร้างของโรเตอร์ต่างกัน แต่มีโครงสร้างของสเตเตอร์เหมือนกัน

มอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอกมีข้อจำกัดคือ ขณะที่ทำงานสภาพปกติความต้านทานของโรเตอร์คงที่ ถ้าต้องการให้มอเตอร์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงจึงจำเป็นต้องออกแบบให้โรเตอร์มีความต้านทานต่ำ(เพื่อลด P_c) แต่จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าเริ่มหมุนสูงจึงส่งผลให้แรงบิดเริ่มหมุนของมอเตอร์ชนิดนี้ต่ำ มอเตอร์แบบนี้จะใช้กับงานที่ต้องการ กำลังกลค่อนข้างคงที่ และเริ่มต้นหมุนไม่บ่อยนัก เช่น มอเตอร์ที่ใช้ขับปั๊ม , เครื่องเป่าอากาศ , พัดลม เป็นต้น

ส่วนในกรณีของโรเตอร์ของมอเตอร์แบบ วาวด์โรเตอร์ จะต่ออยู่กับ สลิปริง ซึ่งต่ออยู่กับแปรงถ่านดังนั้นจึงต่อความต้านทานจากภายนอกอนุกรมกับโรเตอร์ได้ และถ้าเราเพิ่มความต้านทานขณะมอเตอร์เริ่มต้นหมุนกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนจะลดลง ส่งผลให้แรงบิดเริ่มต้นหมุนเพิ่มขึ้น มอเตอร์แบบนี้จะนำไปใช้กับโหลดที่ต้องการเริ่มหมุนบ่อยๆ เช่น ปั่นจั่น เป็นต้น

กำลังและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

การสูญเสียและกำลังในส่วนต่างๆ

กำลังอินพุทของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส หมายถึงกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าสามเฟสที่จ่ายให้ขดลวดสเตเตอร์ คือ

$$P_{in} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta \quad (2.16)$$

การสูญเสียที่สเตเตอร์ประกอบด้วย การสูญเสียที่แกนเหล็ก (Core loss) ซึ่งหมายถึง Eddy current และ Hysteresis ที่แกนเหล็กสเตเตอร์ และการสูญเสียเนื่องจาก I^2R ในขดลวดสเตเตอร์ เรียกว่า การสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ (Stator copper loss)

กำลังส่วนที่เหลือหลังจากสูญเสียที่สเตเตอร์แล้ว เรียกว่า กำลังเอาต์พุทของสเตเตอร์ (Stator power output) กำลังเอาต์พุทของสเตเตอร์นี้จะถ่ายทอดกำลังผ่านช่องว่างอากาศไปยังโรเตอร์โดยอาศัยการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นกำลังอินพุทของโรเตอร์ (Rotor power input) จึงเท่ากับกำลังเอาต์พุทของสเตเตอร์ (Stator power output)

ดังนั้น $P_2 =$ กำลังเอาต์พุทของสเตเตอร์ $=$ กำลังอินพุทของโรเตอร์

$$P_2 = P_{in} - \text{Stator losses} \quad (2.17)$$

กำลังอินพุทของโรเตอร์จะให้กำลังเอาต์พุทออกมาในรูปของกำลังกล (Mechanical power developed) ความแตกต่างระหว่างกำลังอินพุทของโรเตอร์กับกำลังกลเอาต์พุทของโรเตอร์ คือการสูญเสียในขดลวดโรเตอร์ (Rotor copper loss) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_c = P_2 - P_m$$

$$\text{หรือ} \quad P_m = P_2 - P_c \quad (2.18)$$

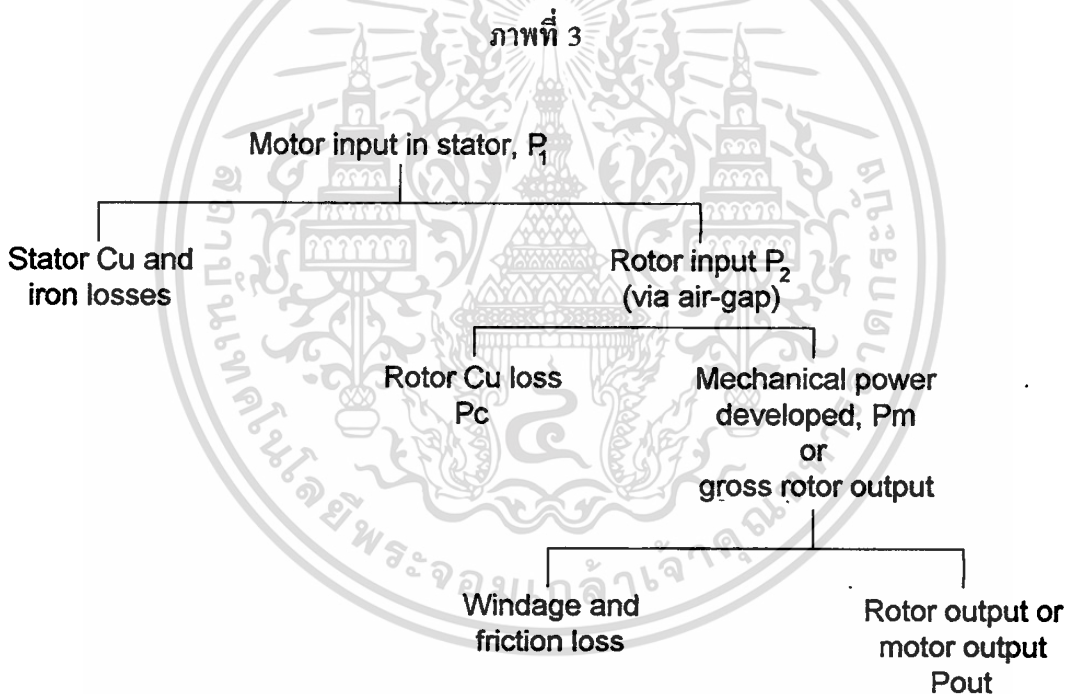
กำลังอินพุทของโรเตอร์ (P_2) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ากำลังผ่านช่องว่างอากาศ (Air gap power) ทำให้เกิดแรงบิดเป็นซิงโครนัสวัตต์ หรือ T_g (Gross torque) ขึ้นที่โรเตอร์ ซึ่งจะขอกว่าภายหลัง

ในทำนองเดียวกันกำลังกลเอาต์พุทของโรเตอร์ (P_m) คือกำลังไฟฟ้าส่วนที่เปลี่ยนรูปเป็นกำลังกล ทำให้เกิดแรงบิด T_g (Gross torque) ขึ้นที่โรเตอร์โดยมีค่าเท่ากับ T_g ที่เกิดจากกำลังอินพุทของโรเตอร์ (P_2) เช่นเดียวกัน

นอกจากนั้นขณะที่โรเตอร์หมุน ยังมีการสูญเสียเนื่องจากความฝืดและแรงต้านจากลม (Friction and windage losses) เกิดขึ้นอีกด้วย อันเป็นสาเหตุให้เอาต์พุทของโรเตอร์ (P_{out}) ลดลง ไปอีกดังสมการ

$$P_{out} = P_m - \text{Friction and windage losses}$$

เอาต์พุทของโรเตอร์ (P_{out}) ขณะนี้จะอยู่ในรูปของกำลังกลทำให้เกิดแรงบิดที่ปลายเพลลา T_{sh} (Shaft torque) เป็นแรงบิดที่ใช้ขับโหลดทางกลที่ต่ออยู่กับเพลลาของมอเตอร์
กำลังส่วนต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น นำมาเขียนเป็น เพาเวอร์-โฟลว์ไดอะแกรม (Power flow diagram) ได้ดังภาพที่ 3



แสดงกำลังและการสูญเสียในส่วนต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ให้ T_g = แรงบิดทั้งหมด (Gross torque) เกิดขึ้นที่โรเตอร์ เป็น นิวตัน-เมตร

N_1 = ความเร็วซิงโครนัส เป็น รอบต่อวินาที

จากสูตร กำลังกล (วัตต์) = แรงบิด (นิวตัน-เมตร) \times ความเร็ว (เรเดียน/วินาที)

ดังนั้นกำลังเอาต์พุทของสเตเตอร์ที่ส่งผ่านช่องว่างอากาศไปยังโรเตอร์ คือ

$$P_2 = 2\pi T_g N_1 \text{ จูล/วินาที หรือ วัตต์} \quad (2.19)$$

ให้ N_2 = ความเร็วโรเตอร์ เป็น รอบต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าส่วนที่เปลี่ยนรูปเป็นกำลังกลบนโรเตอร์ คือ

$$P_m = 2\pi T_g N_2 \text{ จูล/วินาที หรือ วัตต์} \quad (2.20)$$

จาก Power flow diagram ในภาพที่ 3

การสูญเสียในขดลวดโรเตอร์ (Rotor copper loss)

$$\begin{aligned} P_c &= P_2 - P_m \\ &= 2\pi T_g N_1 - 2\pi T_g N_2 \end{aligned}$$

$$P_c = 2\pi T_g (N_1 - N_2) \quad (2.21)$$

$$(2.21)/(2.19) \frac{P_c}{P_2} = \frac{N_1 - N_2}{N_1} = S$$

เพราะฉะนั้น $P_c = SP_2$ (2.22)

จาก Power flow diagram

$$\begin{aligned} P_m &= P_2 - P_c \\ &= P_2 - SP_2 \\ P_m &= (1 - S) P_2 \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned} \frac{P_m}{P_2} &= (1 - S) \\ &= 1 - \left[\frac{N_1 - N_2}{N_1} \right] = \frac{N_1 - N_1 + N_2}{N_1} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น $\frac{P_m}{P_2} = \frac{N_2}{N_1} =$ ความเร็วโรเตอร์หารด้วยความเร็วซิงโครนัส

เพราะฉะนั้น ประสิทธิภาพของโรเตอร์ (Rotor efficiency)

$$= \frac{N_2}{N_1} \quad (2.24)$$

$$(2.22)/(2.23) \frac{P_c}{P_m} = \frac{S}{1 - S} \quad (2.25)$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง P_2 , P_c และ P_m กับค่าของสลิป S สามารถนำมาเขียนสมการได้ดังนี้

$$P_2 : P_c : P_m = 1 : S : (1 - S)$$

จากสมการที่ 2.15 เมื่อเอากระแสโรเตอร์ I_2^2 คูณตลอด จะได้

$$I_2^2 R_2/S = I_2^2 R_2 + I_2^2 R_2 \frac{(1-S)}{S} \quad (2.26)$$

เมื่อ $I_2^2 R_2/S =$ กำลังอินพุทของโรเตอร์ต่อเฟส (P_2/Phase)

$I_2^2 R_2 =$ กำลังสูญเสียในขดโรเตอร์ต่อเฟส (P_c/Phase)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$I_2^2 R_2 \frac{(1-S)}{S}$ = กำลังไฟฟ้าส่วนที่เปลี่ยนรูปเป็นกำลังกล หรือ อาจจะเรียกว่า กำลังกลที่เกิดขึ้น (Mechanical power developed) ในโรเตอร์ ต่อเฟส (P_m /Phase)

จากสมการที่ 2.26

$$I_2^2 R_2/S = I_2^2 R_2 + I_2^2 R_2 \frac{(1-S)}{S}$$

เมื่อ $P_c = I_2^2 R_2$ วัตต์/เฟส

$P_2 = I_2^2 R_2/S$ วัตต์/เฟส

$P_2 = \frac{P_c}{S}$

หรือ $P_c = SP_2$

ตรงกับสมการที่ 2.22

$P_m = I_2^2 R_2 \frac{(1-S)}{S}$ วัตต์/เฟส

$= P_c \frac{S}{(1-S)}$

เพราะฉะนั้น $\frac{P_c}{P_m} = \frac{S}{(1-S)}$

ตรงกับสมการที่ 2.25

การสูญเสียในขดลวดโรเตอร์ (Rotor copper loss) ของทั้ง 3 เฟส

$P_c = 3I_2^2 R_2$ วัตต์ (2.27)

จากสมการที่ 2.9 กระแสที่โรเตอร์

$$I_2 = \frac{SE_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}}$$

แทนค่า I_2 ลงในสมการ 2.27

$P_c = \frac{3S^2 E_2^2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$ วัตต์ (2.28)

จากสมการที่ 2.22 กำลังอินพุทของโรเตอร์

$P_2 = P_c/S$

$P_2 = \frac{3SE_2^2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$ วัตต์ (2.29)

จากสมการที่ 2.23 กำลังกลเอาต์พุทของโรเตอร์

$P_m = (1-S)P_2$

$P_m = \frac{3S(1-S)E_2^2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$ วัตต์ (2.30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.20 แรงบิดทั้งหมด (Gross torque) บนโรเตอร์

$$T_g = \frac{P_m}{2\pi N_2} \text{ นิวตัน-เมตร } (N_2 = \text{ความเร็วโรเตอร์ เป็น รอบ/วินาที})$$

แต่ $N_2 = N_r/60$ (เมื่อ $N_r = \text{ความเร็วโรเตอร์ เป็น รอบ/นาที}$)

เพราะฉะนั้น $T_g = \frac{P_m}{2\pi N_r / 60}$ นิวตัน-เมตร (2.31)

$$T_g = \frac{P_m}{2\pi(1-S)N_s / 60} \text{ นิวตัน-เมตร} \quad (2.32)$$

นำสมการ 2.30 แทนค่าลงในสมการ 2.32

$$T_g = \frac{1}{2\pi N_s / 60} \times \frac{3SE_2^2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2} \text{ นิวตัน-เมตร} \quad (2.33)$$

หรือ $T_g = \frac{K_1 SE_2^2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$ นิวตัน-เมตร (2.34)

เมื่อ $K_1 = \frac{3 \times 60}{2\pi N_s} =$ ค่าคงที่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

นอกจากนั้น แรงบิดทั้งหมด (Gross torque) บนโรเตอร์ T_g ยังหาได้จากสมการ 2.19

$$T_g = \frac{P_2}{2\pi N_1} \text{ เมื่อ } N_1 = \text{ความเร็วซิงโครนัส เป็นรอบ/วินาที}$$

หรือ $T_g = \frac{P_2}{2\pi N_s / 60}$ นิวตัน-เมตร (2.35)

เมื่อ $N_s =$ ความเร็วซิงโครนัส เป็นรอบต่อนาที

หรือ $T_g = \frac{3I_2^2 R_2 / S}{2\pi N_s / 60}$ นิวตัน-เมตร (2.36)

แรงบิดทั้งหมด (Gross torque) มีหน่วยเป็นซิงโครนัสวัตต์ (Synchronous watt)

หมายถึงกำลังที่ส่งข้ามช่องว่างอากาศจากสเตเตอร์ไปยังโรเตอร์

ดังนั้น แรงบิด เป็นซิงโครนัสวัตต์

$$T_g = P_2 = 3I_2^2 R_2 / S \text{ ซิงโครนัสวัตต์} \quad (2.37)$$

หรือ $P_2 = P_m / (1-S)$ ซิงโครนัสวัตต์ (2.38)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยทางวิศวกรรมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงบิดเริ่มหมุน (T_g)

ขณะสตาร์ทมอเตอร์ โรเตอร์ยังอยู่กับที่ (at standstill) ความเร็วโรเตอร์ $N_r = 0$

ค่าของสลิป $s = 1$

ดังนั้น ถ้าแทนค่า $s = 1$ ลงในสมการที่ 2.34 จะได้แรงบิดเริ่มหมุน

$$T_g = \frac{K_1 E_2^2 R_2}{R_2^2 + X_2^2} \quad (2.39)$$

เมื่อความต้านทานในวงจรรอเตอร์เปลี่ยนแปลงค่าได้ เช่นมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ "วาวด์โรเตอร์" ถ้าต้องการทราบว่าต้องใช้ค่า R_2 ขนาดเท่าใดมอเตอร์จะให้แรงบิดเริ่มหมุนสูงสุด

(Maximum starting torque) ทำได้โดยให้ $\frac{dT_g}{dR_2} = 0$

$$\begin{aligned} \frac{dT_g}{dR_2} &= \frac{K_1 [(R_2^2 + X_2^2) E_2^2 - E_2^2 R_2 \times 2R_2]}{(R_2^2 + X_2^2)^2} = 0 \\ R_2^2 + X_2^2 &= 2R_2^2 \\ X_2^2 &= R_2^2 \\ \therefore R_2 &= X_2 \end{aligned} \quad (2.40)$$

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แรงบิดเริ่มหมุนของมอเตอร์จะมีค่าสูงสุดเมื่อความต้านทานในวงจรรอเตอร์ R_2 มีค่าเท่ากับค่ารีแอกแตนซ์ในโรเตอร์ (Standstill reactance) X_2 นั่นคือแรงบิดเริ่มหมุนสูงสุด (Maximum starting torque) จะมีสมการดังนี้

$$\begin{aligned} T_g (\text{Max}) &= \frac{K_1 E_2^2 R_2}{R_2^2 + R_2^2} \\ &= \frac{K_1 E_2^2}{2R_2} = \frac{K_1 E_2^2}{2X_2} \end{aligned} \quad (2.41)$$

แรงบิดเมื่อมอเตอร์ทำงาน

หลังจากมอเตอร์เริ่มหมุนแล้ว ความเร็วรอบของโรเตอร์จะสูงหรือต่ำกว่าพิกัด (Rated speed) ขึ้นอยู่กับขนาดของโหลดที่ปลายเพลลา สมมุติว่ามอเตอร์ทำงานที่ความเร็วค่าหนึ่งซึ่งมีสลิป $= s$ แรงบิดที่ใช้ขับโหลดขณะนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.34

$$T_g = \frac{K_1 S E_2^2 R_2}{R_2^2 + (S X_2)^2}$$

ถ้าต้องการหาค่าสูงสุดของแรงบิดเมื่อมอเตอร์ทำงาน (Maximum running torque) ทำได้

โดยให้ $\frac{dT}{dS} = 0$

$$\frac{dT}{dS} = \frac{K_1 [(R_2^2 + (S X_2)^2) E_2^2 R_2 - S E_2^2 R_2 \times 2 S X_2^2]}{[R_2^2 + (S X_2)^2]^2} = 0$$

$$[R_2^2 + (S X_2)^2] E_2^2 R_2 = S E_2^2 R_2 \times 2 S X_2^2$$

$$R_2^2 + (S X_2)^2 = 2 S^2 X_2^2$$

$$R_2^2 = S^2 X_2^2$$

$$R_2 = S X_2 \quad (2.42)$$

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แรงบิดเมื่อมอเตอร์ทำงานจะมีค่าสูงสุด เมื่อ $R_2 = S X_2$
หรืออาจกล่าวอีกทางหนึ่งว่า ค่าของสลลิปที่ให้แรงบิดสูงสุดคือ $S = R_2 / X_2$

ถ้าแทนค่า $R_2 = S X_2$ ลงในสมการที่ 2.34 จะได้

$$T_{\max} = \frac{K_1 S E_2^2 R_2}{R_2^2 + R_2^2}$$

$$= \frac{K_1 S E_2^2}{2 R_2}$$

$$= \frac{K_1 E_2^2}{2 X_2} \quad (2.43)$$

จะสังเกตเห็นว่าสมการที่ 2.43 จะตรงกับสมการที่ 2.41

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดเมื่อโหลดเต็มพิกัดและแรงบิดสูงสุด

แรงบิดเมื่อโหลดเต็มพิกัด (Full-load torque) หมายถึงแรงบิดเมื่อมอเตอร์ทำงานขับโหลดเต็มพิกัด โดยกินกระแสเท่ากับกระแสเต็มพิกัด (Rated current) บนแผ่นป้าย (Name plate) ให้ความเร็วโรเตอร์เท่ากับความเร็วเต็มพิกัด (Rated speed) ค่าของสลลิปขณะนี้เรียกว่า สลลิปที่โหลดเต็มพิกัด (Full-load slip) ใช้ตัวย่อ S_f

จากสมการ 2.34 แรงบิดเมื่อโหลดเต็มพิกัด

$$T_f = \frac{K_1 S_f E_2^2 R_2}{R_2^2 + (S_f X_2)^2}$$

เมื่อ $S_f =$ สลลิปที่โหลดเต็มพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงบิดสูงสุด (Maximum torque) หมายถึงค่าสูงสุดของแรงบิด ขณะมอเตอร์ทำงาน
ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อค่าสลิป $s = R_2/X_2$

จากสมการที่ 2.41 และ 2.43

$$\begin{aligned} T_{\max} &= \frac{K_1 E_2^2}{2X_2} \\ \therefore T_f/T_{\max} &= \frac{K_1 S_f E_2^2 R_2}{R_2^2 + (S_f X_2)^2} \times \frac{2X_2}{K_1 E_2^2} \\ &= \frac{2S_f R_2 X_2}{R_2^2 + (S_f X_2)^2} \end{aligned}$$

เอา X_2^2 หารทั้งเศษและส่วนจะได้

$$\begin{aligned} T_f/T_{\max} &= \frac{2S_f R_2 / X_2}{(R_2 / X_2)^2 + S_f^2} \\ \therefore T_f/T_{\max} &= \frac{2aS_f}{a^2 + S_f^2} \end{aligned} \tag{2.44}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } a &= R_2/X_2 \\ &= S_m = \text{ค่าสลิปที่แรงบิดสูงสุด} \end{aligned}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดเริ่มหมุนและแรงบิดสูงสุด

จากสมการที่ 2.39 แรงบิดเริ่มหมุน

$$T_s = \frac{K_1 E_2^2 R_2}{R_2^2 + X_2^2}$$

จากสมการที่ 2.41 และ 2.43 แรงบิดสูงสุด

$$\begin{aligned} T_{\max} &= \frac{K_1 E_2^2}{2X_2} \\ T_f/T_{\max} &= \frac{K_1 E_2^2 R_2}{R_2^2 + X_2^2} \times \frac{2X_2}{K_1 E_2^2} \\ &= \frac{2R_2 X_2}{R_2^2 + X_2^2} \end{aligned}$$

เอา X_2^2 หารทั้งเศษและส่วนจะได้

$$\begin{aligned} T_f/T_{\max} &= \frac{2R_2 / X_2}{R_2^2 / X_2^2 + 1} \\ T_f/T_{\max} &= \frac{2a}{a^2 + 1} \\ \text{เมื่อ } a &= R_2/X_2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก=ใช้งาน S_mคือการคื=ษาเท่าค่าสลิปที่แรงบิดสูงสุด ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสลลิป

ถ้าพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของแรงบิดกับสลลิป ดังนั้นค่าอื่นๆ ให้เป็นค่าคงที่ จากสมการที่ 2.34

$$T = \frac{K_1 SE_2^2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$$

ถ้าแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ V มีค่าคงที่ \emptyset และ E_2 จะคงที่ด้วย

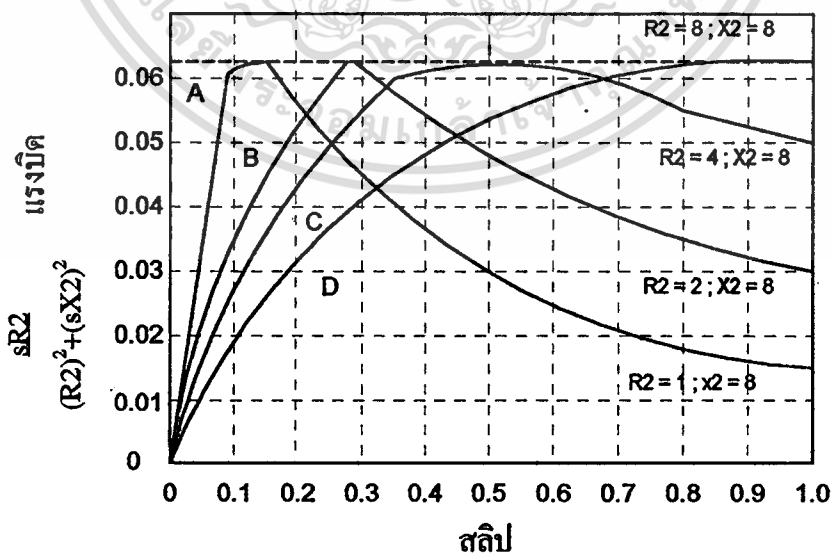
$$\text{ดังนั้น } T \propto \frac{SR_2}{R_2^2 + (SX_2)^2} \quad (2.46)$$

ตามปกติค่ารีแอกแตนซ์ของโรเตอร์ขณะอยู่กับที่ (Standstill reactance) X_2 จะมากกว่า ความต้านทานของโรเตอร์ R_2 หลายเท่า ดังนั้น

สมมติให้ $R_2 = 1$ โอห์ม และ $X_2 = 8$ โอห์ม แล้วคำนวณหาค่าแรงบิด T จากสมการที่ 2.46 โดยใช้ค่าสลลิปต่างๆ กัน จาก $s = 0$ จนกระทั่งถึง $s = 1$ แล้วนำค่าของแรงบิดที่คำนวณได้ กับค่าสลลิปไปเขียนกราฟ จะได้เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสลลิป (Torque/slip curve) ดังเส้นกราฟ A ในภาพที่ 4

จากภาพที่ 4 ถ้าสมมติให้ $R_2 = 2$ โอห์ม และ $X_2 = 8$ โอห์ม ตามเดิมแล้วคำนวณหาแรงบิด โดยใช้ค่าสลลิปจาก $s = 0-1$ แล้วนำไปเขียนกราฟ จะได้เส้นกราฟ B ในทำนองเดียวกันถ้าสมมติให้ $R_2 = 4$ โอห์ม จะได้เส้นกราฟ C และถ้าสมมติให้ $R_2 = 8$ จะได้เส้นกราฟ D

ภาพที่ 4

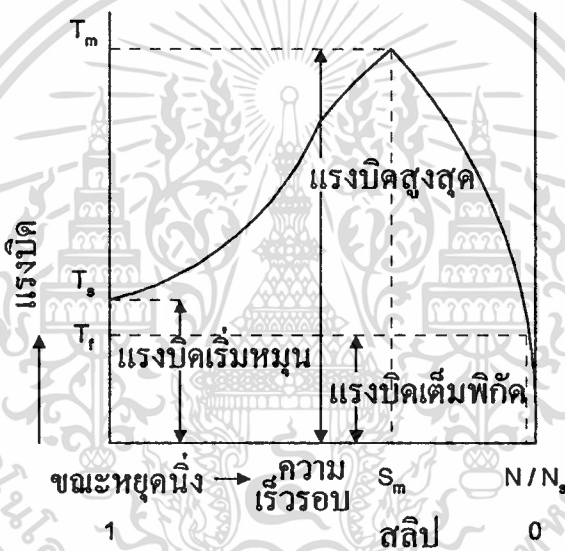


แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสลลิป (Torque/slip curve) เมื่อมีค่าความต้านทานของโรเตอร์ R_2 ต่าง ๆ กัน

จากเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสลลิปในภาพที่ 4 จะได้ข้อสังเกตดังนี้

1. แรงบิดสูงสุดที่เกิดขึ้น ไม่ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของโรเตอร์ (R_2) แต่จะขึ้นอยู่กับค่ารีแอกแตนซ์ของโรเตอร์ (X_2) ไม่ว่า R_2 สูงหรือต่ำจะได้แรงบิดสูงสุดคงที่
2. แรงบิดเริ่มหมุนจะมีค่าสูงสุด เมื่อค่า $R_2 = X_2$ ดังเส้นกราฟ D เนื่องจาก X_2 เป็นค่าคงที่ของมอเตอร์ใด ๆ แต่ค่า R_2 เปลี่ยนแปลงได้โดยใช้ความต้านทานภายนอกมาต่อเข้าไปในวงจรของโรเตอร์ เช่น ในมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ วาวด์-โรเตอร์
3. มอเตอร์ที่มีค่า R_2 สูง จะมีแรงบิดเริ่มหมุนสูง จะทำงานที่ค่าสลลิปสูง คือให้ความเร็วรอบต่ำ และมีสปีด เรกกูเลชัน (Speed regulation) ไม่ดี

ภาพที่ 5



แสดงเส้นกราฟ แรงบิด-ความเร็วรอบ (Torque/speed curve) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบโรเตอร์กรงกระรอก

จากภาพที่ 5 แรงบิดเริ่มหมุน T_1 คือแรงบิดของมอเตอร์ขณะมอเตอร์เริ่มหมุนจากลักษณะหยุดนิ่ง ซึ่งค่าสลลิป $S = 1$ ความเร็วรอบ $N_r = 0$

แรงบิดเต็มพิกัด (Full-load torque) T_f คือแรงบิดของมอเตอร์ขณะเริ่มเดินเครื่องใช้งานขับโหลดเต็มพิกัด และความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ค่าแรงบิดนี้เรียกว่า ความเร็วรอบเต็มพิกัด (Rated speed or full-load speed) ค่าสลลิปขณะนี้คือ S_f หมายถึงค่าสลลิปที่โหลดเต็มพิกัด (Full-load slip)

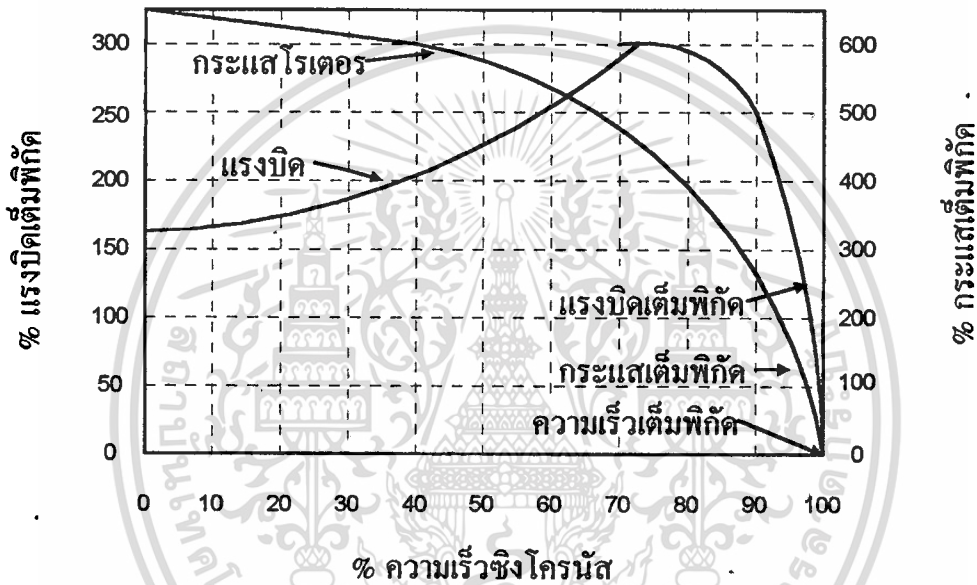
ถ้าเพิ่มโหลดขึ้นไปเรื่อย ๆ จากขณะที่มอเตอร์ขับโหลดเต็มพิกัดจนกระทั่งโหลดมีค่าสูงมาก (Over load) ทำให้เกิดแรงบิดที่ต้องการสูงเกินแรงบิดสูงสุด (Maximum torque) ของมอเตอร์ มอเตอร์จะลดความเร็วลงอย่างรวดเร็ว เสียสมดุลและหยุดลงในที่สุด ค่าแรงบิดสูงสุดที่ได้ของมอเตอร์นี้เรียกว่า "ค่าแรงบิดสูงสุด" T_m หรือ T_{max} ซึ่งค่าสลลิป ณ จุดนี้คือ

ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณค่าแรงบิดและค่าสลลิป
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_m = R_2/X_2$$

การทำงานตามปกติหลังจากสตาร์ทแล้วจะอยู่บนเส้นกราฟในช่วงสลลิป = 0 ถึงสลลิป = S_m สำหรับเส้นกราฟในช่วงสลลิป = S_m ถึงสลลิป = 1 นั้นเป็นบริเวณที่เรียกว่า "Unstable region" มอเตอร์ไม่สามารถทำงานโดยมีความเร็วคงที่อยู่ที่ ω จุดใดจุดหนึ่งในบริเวณนี้ได้ แต่เป็นบริเวณที่มอเตอร์ต้องมีอัตราเร่งเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างใดอย่างหนึ่ง

ภาพที่ 6



แสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงบิด และกระแสโรเตอร์/ความเร็วโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส แบบ โรเตอร์กรงกระรอก

จากภาพที่ 6 แรงบิดเริ่มหมุนของมอเตอร์มีค่าประมาณ 170 เปอร์เซ็นต์ของแรงบิดเต็มพิกัด แต่กระแสเริ่มหมุนมีค่าประมาณ 600 เปอร์เซ็นต์ของกระแสเต็มพิกัด แรงบิดสูงสุดเกิดขึ้นที่ค่าความเร็วโรเตอร์ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วซิงโครนัส ค่าสูงสุดของแรงบิดเป็น 300 เปอร์เซ็นต์ของแรงบิดเต็มพิกัด

การสมมูลของสมการกำลัง

จากวงจรสมมูลย์ในภาพที่ 2 สามารถสรุปความสัมพันธ์ของกำลังในส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้

กำลังอินพุท (Input power) = $3V_1 I_1 \cos\theta$

การสูญเสียในแกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator core loss) = $I_m^2 R_0$

การสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ (Stator Cu loss) = $3I_1^2 R_1$

กำลังอินพุทที่โรเตอร์ (Power transferred to rotor) = $3I_2^2 R_2' / S$

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยฯ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2916-1111 หรือ 0-2916-1112

$$\text{การสูญเสียในขดลวดโรเตอร์ (Rotor Cu loss)} = 3I_2'^2 R_2'$$

กำลังกลทั้งหมดในโรเตอร์ [Mechanical power developed by rotor (P_m) or gross power developed by rotor (P_g)

$$\begin{aligned} P_m &= P_g = \text{rotor input} - \text{rotor Cu loss} \\ &= 3I_2'^2 \frac{R_2'}{S} - 3I_2'^2 R_2' = 3I_2'^2 R_2' \frac{(1-S)}{S} \quad (\text{วัตต์}) \end{aligned}$$

ถ้า T_g เป็นแรงบิดทั้งหมดในโรเตอร์ (Gross torque developed by the rotor)

$$\begin{aligned} T_g \times \omega &= T_g \times 2\pi N_r / 60 \\ &= 3I_2'^2 R_2' \frac{(1-S)}{S} \end{aligned}$$

$$\therefore T_g = \frac{3I_2'^2 R_2' \frac{(1-S)}{S}}{2\pi N_r / 60} \quad \text{นิวตัน-เมตร} \quad (2.47)$$

เมื่อ $N_r = (1-S) N_s$ ดังนั้น

$$T_g = \frac{3I_2'^2 R_2' / S}{2\pi N_r / 60} \quad \text{นิวตัน-เมตร} \quad (2.48)$$

ดังนั้น แรงบิดทั้งหมด (Gross torque) เป็นซิงโครนัส วัตต์ (Synchronous watts) จะเท่ากับ กำลังที่ส่งจากสเตเตอร์ข้ามช่องว่างอากาศไปยังโรเตอร์

$$\begin{aligned} T_g &= \frac{3I_2'^2 R_2'}{S} \quad \text{ซิงโครนัส-วัตต์} \\ \text{กระแส } I_2' &\text{ จากวงจรสมมูลแบบใกล้เคียงในภาพที่ 2} \\ I_2' &= \frac{V_1}{(R_1 + R_2' / S) + j(X_1 + X_2')} \quad (2.49) \end{aligned}$$

แทนค่า 2.49 ลงใน 2.48

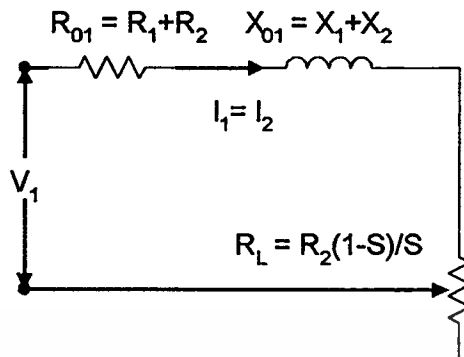
$$\therefore T_g = \frac{3}{2\pi N_r / 60} \times \frac{V_1^2}{(R_1 + R_2' / S)^2 + (X_1 + X_2')^2} \times \frac{R_2'}{S} \quad \text{นิวตัน-เมตร}$$

กำลังกลเอาต์พุตสูงสุด

จากภาพที่ 2 เนื่องจากกระแส I_0 มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกระแสมอเตอร์ I_1 โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะสตาร์ท เพื่อให้การคำนวณง่ายขึ้นจึงไม่คิดค่ากระแส I_0 และสมมุติว่าอัตราส่วนจำนวนรอบคานโรเตอร์ต่อคานสเตเตอร์ (Transformation ratio), $K = 1$

ดังนั้น จากภาพที่ 2 เมื่อนำมาเขียนใหม่จะได้ดังภาพที่ 7

ภาพที่ 7



แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อไม่คิดค่า I_0 และให้ค่า $K = 1$

กำลังกลเอาต์พุตทั้งหมด (Gross output) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส คือ

$$\begin{aligned}
 P_g &= 3I_1^2 R_L \\
 \text{เมื่อ } I_1 &= I_2 \\
 I_1 &= \frac{V_1}{\sqrt{(R_{01} + R_L)^2 + X_{01}^2}} \\
 \therefore P_g &= \frac{3V_1^2 R_L}{(R_{01} + R_L)^2 + X_{01}^2} \quad (2.50)
 \end{aligned}$$

การหากำลังกลเอาต์พุตสูงสุด ทำได้โดยการ Differentiate สมการ 2.50 เทียบกับการเปลี่ยนแปลงของค่า R_L แล้วให้เท่ากับศูนย์

$$\frac{dP_g}{dR_L} = \frac{d}{dR_L} \left[\frac{3V_1^2 R_L}{(R_{01} + R_L)^2 + X_{01}^2} \right] = 0$$

$$\frac{3V_1^2 [(R_{01} + R_L)^2 + X_{01}^2] - 3V_1^2 [2R_L (R_{01} + R_L)]}{[(R_{01} + R_L)^2 + X_{01}^2]^2} = 0$$

$$(R_{01} + R_L)^2 + X_{01}^2 = 2R_L (R_{01} + R_L)$$

$$R_{01}^2 + 2R_{01}R_L + R_L^2 + X_{01}^2 = 2R_L R_{01} + 2R_L^2$$

$$R_L^2 = R_{01}^2 + X_{01}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น Z_{01}^2 ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (2.51) การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $Z_{01} =$ ค่าลิกเกจ อิมพีแดนซ์ของมอเตอร์เมื่อพิจารณาจากด้าน
สเตเตอร์

$$\therefore R_L = Z_{01} \quad (2.52)$$

นั่นคือ กำลังกลเอาต์พุตจะมีค่าสูงสุด เมื่อโหลดความต้านทาน (Equivalent load resistance) เท่ากับลิกเกจ อิมพีแดนซ์ของมอเตอร์ขณะอยู่กับที่

ค่าสลิปที่กำลังกลเอาต์พุตสูงสุด

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } R_L &= R_2[1 - S]/S \\ &= R_2[(1/S) - 1] \end{aligned} \quad (2.53)$$

จากสมการที่ 2.52

$$\begin{aligned} Z_{01} &= R_L \\ &= R_2[(1/S) - 1] \\ \text{หรือ } S &= \frac{R_2}{Z_{01} + R_2} \end{aligned} \quad (2.54)$$

ค่าสลิปในสมการที่ 2.54 คือสลิปที่ให้กำลังกลเอาต์พุตสูงสุด ดังนั้น สามารถหาค่า P_{mag} ได้โดยแทนค่า R_L ด้วย Z_{01} ลงในสมการ 2.50

$$\begin{aligned} \therefore P_{\text{mag}} &= \frac{3V_1^2 Z_{01}}{(R_{01} + Z_{01})^2 + X_{01}^2} \\ &= \frac{3V_1^2 Z_{01}}{R_{01}^2 + Z_{01}^2 + 2R_{01}Z_{01} + X_{01}^2} \\ &= \frac{3V_1^2 Z_{01}}{2R_{01}Z_{01} + 2Z_{01}^2} \\ \therefore P_{\text{mag}} &= \frac{3V_1^2}{2(R_{01} + Z_{01})} \end{aligned} \quad (2.55)$$

เมื่อ $V_1 =$ แรงดันไฟฟ้าต่อเฟสของมอเตอร์

และ $K = 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้น จะทำได้หลายวิธี เพื่อให้มองเห็นแนวทางในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์จะพิจารณาจากสมการของความเร็ว (N) ในรูปของตัวแปรต่างๆ ได้จากสมการที่ 2.56 คือ

$$N = (1-S) \times (120/P) \times f \quad \text{rpm} \quad (2.56)$$

เมื่อ N = ความเร็วของมอเตอร์
 S = สลิปของโรเตอร์
 P = จำนวนขั้วของมอเตอร์
 f = ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ

ทำไมจึงต้องควบคุมความเร็วของมอเตอร์

ตัวแปรของขบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก จะขึ้นอยู่กับความเร็วและแรงบิด เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ ความเร็วรอบ อัตราการไหลของของเหลว ความดัน อัตราเร่ง แรงดึง เป็นต้น ตัวแปรเหล่านี้จะมีผลต่อคุณภาพของสินค้าและประสิทธิภาพในการผลิต ดังนั้นถ้าเราสามารถควบคุมตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างเหมาะสมตามความต้องการของขบวนการผลิตแล้วจะทำให้เราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ และควบคุมคุณภาพของสินค้าอันเป็นการลดต้นทุนการผลิตสินค้าได้ทางหนึ่ง

เนื่องจากเราสามารถปรับตัวแปรต่างๆ ของขบวนการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง จึงช่วยให้ประหยัดวัสดุและพลังงานได้ เช่นการใช้การปรับความเร็วของ บีม หรือพัดลม แทนการใช้ลิ้นควบคุม (Throttle valve) จะช่วยประหยัดพลังงานในกรณีที่เราต้องการปรับอัตราการไหลของของเหลว หรือก๊าซ เป็นต้น จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ไม่ต้องการที่จะปรับความเร็วของมอเตอร์ แต่ใช้หลักการและวิธีควบคุม เช่นเดียวกับการควบคุมความเร็วมอเตอร์ เพียงแต่ใช้เงื่อนไขในการควบคุมต่างกัน ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องเท่านั้น คือ การควบคุมความเร็วทางด้านสเตเตอร์ โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ ส่วนวิธีอื่นจะขอกกล่าวโดยคร่าวๆ เท่านั้น

การควบคุมความเร็วทางด้านสเตเตอร์

1) การเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์

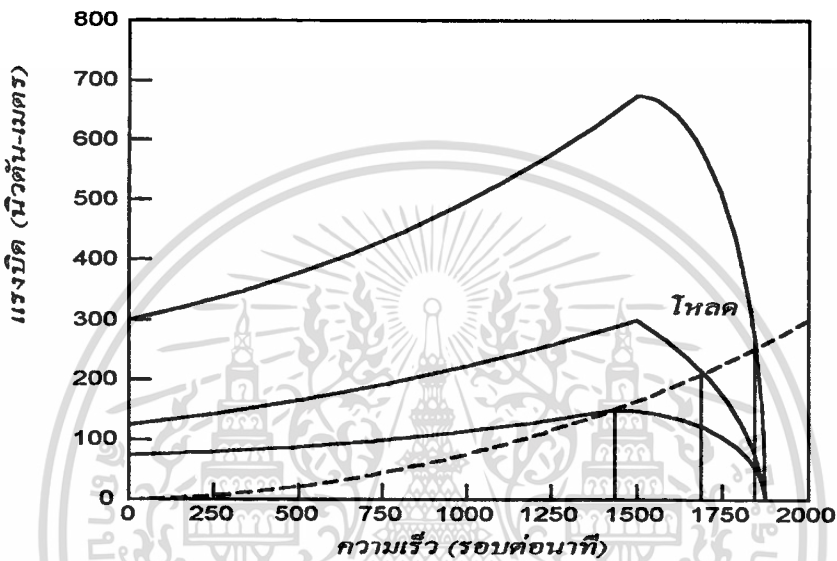
เมื่อเปลี่ยนแรงดันที่ป้อนให้กับสเตเตอร์ของมอเตอร์ จะทำให้ Torque-speed curve ของมอเตอร์เปลี่ยนไป ดังแสดงในภาพที่ 8 จะเห็นได้ว่าเราสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ซึ่งขึ้นอยู่กับจุดตัดของ Torque-speed curve ของมอเตอร์และของโหลดโดยการปรับค่าแรงดันของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและราคาถูก วิธีนี้จะมีข้อเสียคือแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์จะลดลงเมื่อแรงดันของสเตเตอร์ลดลง ทำให้ช่วงในการควบคุมความเร็วแคบ และเหมาะสำหรับโหลดที่แรงบิดเพิ่มกับความเร็ว เช่น พัดลม และ ปั๊มแบบหอยโข่ง เท่านั้น

ภาพที่ 8



แสดงการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์

สำหรับงานวิจัยอุปกรณ์ควบคุมพลังงานนี้จะใช้หลักการควบคุม เช่นเดียวกับกับการควบคุมความเร็วมอเตอร์ คือใช้การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์แต่เงื่อนไขที่ใช้ในการควบคุมต่างกัน โดยอุปกรณ์ควบคุมพลังงานนี้จะควบคุมให้มอเตอร์ทำงานที่มุมล้าหลังต่ำสุดในแต่ละโหลดของมอเตอร์ ไม่ได้เน้นที่การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ แต่ต้องการให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ไม่ว่าโหลดจะเปลี่ยนไปอย่างไรก็ตาม ซึ่งการควบคุมโดยวิธีนี้เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับงานที่มีช่วง No-load มาก และต้องการความเร็วค่อนข้างจะคงที่ เช่น ในงานเจียร์ , ระบบสายพาน , บันไดเลื่อน , ลิฟท์ เป็นต้น

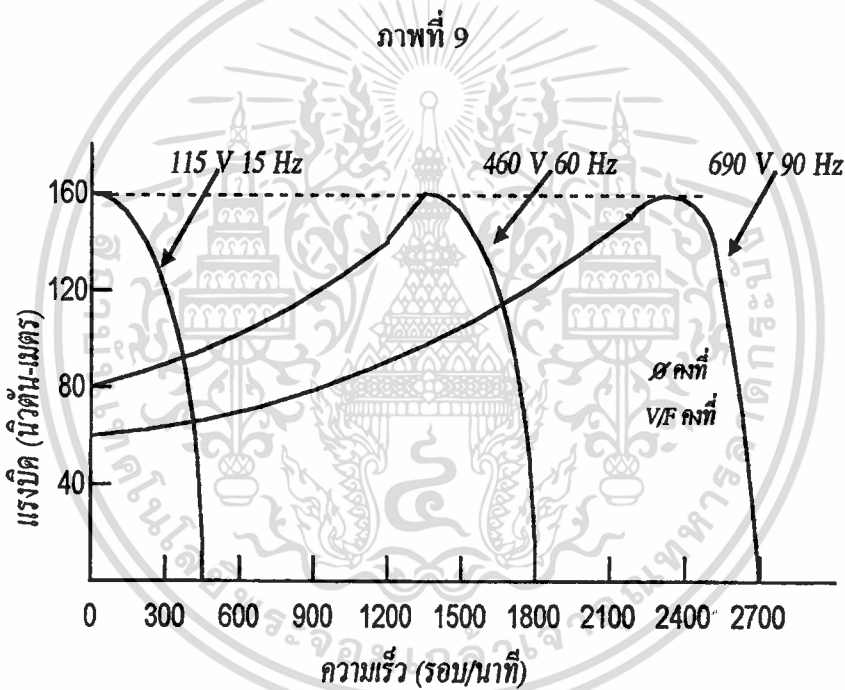
2) การเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็ก

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยการควบคุมจำนวนขั้วของมอเตอร์ จะใช้ได้กับมอเตอร์ที่ได้มีการออกแบบไว้ให้สามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วได้เท่านั้น การควบคุมความเร็วโดยการเปลี่ยนจำนวนขั้วจะเหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องการควบคุมความเร็วอย่างต่อเนื่อง แต่เป็นการเปลี่ยนความเร็วเพียง 2-3 ระดับเท่านั้นซึ่งในปัจจุบันมีใช้ไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบโดยการเปลี่ยนแปลงความถี่

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยการควบคุมความถี่ นั้น เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถควบคุมความเร็วได้อย่างต่อเนื่อง การควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยวิธีนี้จะต้องมีการปรับแรงดันตามไปด้วยตามความเหมาะสม กล่าวคือเมื่อลดความถี่ของแรงดันที่ป้อนให้กับสเตเตอร์จะต้องลดแรงดันของสเตเตอร์ตามไปด้วยดังแสดงในภาพที่ 9 เพื่อให้อัตราส่วนของแรงดันกับความถี่ (V/f) มีค่าคงที่ ถ้าไม่เช่นนั้นแล้วจะทำให้แกนเหล็กอิ่มตัว กระแสจะไหลมากผิดปกติจะทำให้มอเตอร์เสียหายได้ การทำให้อัตราส่วน V/f คงที่จะทำให้สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ (Air gap flux) มีค่าคงที่แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์จะมีค่าคงที่ด้วย



แสดงเส้นกราฟแรงบิด-ความเร็ว ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ,1.5HP,460V,60 Hz

ผลดีและผลเสียของการควบคุมความเร็ว โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์

การควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ เป็นวิธีที่ง่ายและราคาถูก วิธีนี้จะมีข้อเสียคือ แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์จะลดลงเมื่อแรงดันของสเตเตอร์ลดลงทำให้ช่วงในการควบคุมความเร็วแคบดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว และสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของแรงบิดกับแรงดันที่ป้อนเข้ามอเตอร์ได้ดังนี้คือ

$$T = \frac{K_1 S E^2 R_2}{R_2^2 + (S X_2)^2} \quad (2.57)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_2 \propto \phi \propto V$$

เพราะฉะนั้น

$$T \propto sV^2$$

นั่นคือ แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะแปรค่าโดยตรงกับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ยกกำลังสอง

เมื่อ V = แรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์

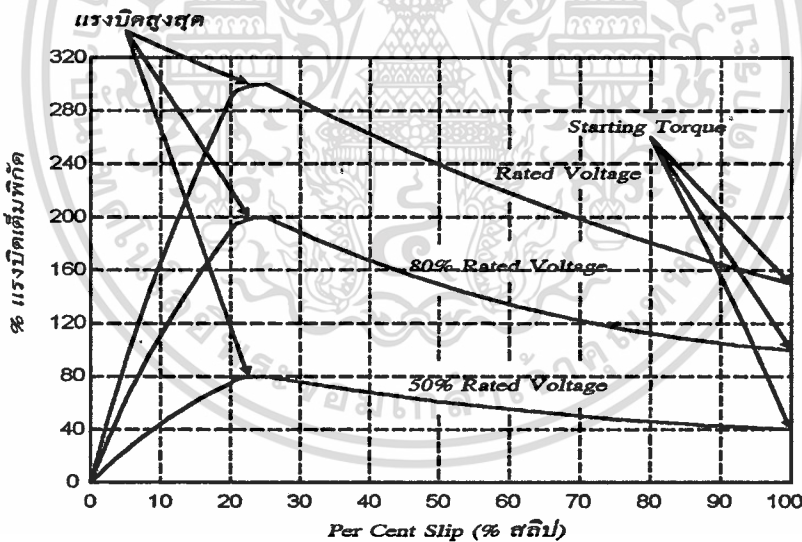
E_2 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟสที่โรเตอร์ขณะโรเตอร์อยู่กับที่

X_2 = ค่ารีแอกแตนซ์ต่อเฟสขณะโรเตอร์อยู่กับที่

K_1 = ค่าคงที่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

R_2 = ค่าความต้านทานในวงจรโรเตอร์

ภาพที่ 10



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสลิบเมื่อแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์เปลี่ยนแปลง

จากภาพที่ 10 เมื่อแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ลดลงจะได้เส้นกราฟแรงบิด-สลิบ คล้ายกัน แต่ค่าของแรงบิดเริ่มหมุน แรงบิดสูงสุด และแรงบิดเต็มพิกัดจะลดลงโดยทั่วกัน ถ้าพิจารณาเส้นกราฟ 50% ของแรงดันเต็มพิกัดจะพบว่า แรงบิดเริ่มหมุนจะลดลงจาก 150% เหลือเพียง 40% ของแรงบิดเต็มพิกัดเท่านั้น ขณะเดียวกันแรงบิดสูงสุดจะลดลงจาก 300% ของแรงบิดเต็มพิกัด

สำหรับข้อดีของการควบคุมมอเตอร์โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์นั้น เราจะพิจารณาจากความสัมพันธ์ของ กำลังกลเอาต์พุทของโรเตอร์กับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ดังต่อไปนี้คือ

$$P_m = \frac{3S(1-S)E_2^2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2} \quad \text{วัตต์ (2.58)}$$

จากสมการที่ 2.58 จะเห็นได้ว่า $P_m \propto E_2^2$ จึงเปรียบเสมือนกับว่าถ้าเรานำมอเตอร์ขนาด 10 HP มาใช้ เมื่อลดแรงดันลง 10% จะเหมือนกับมอเตอร์ขนาด 8.1 HP มาใช้ และเมื่อลดแรงดันลง 20% จะเปรียบเหมือนกับการนำมอเตอร์ขนาด 6.4 HP มาใช้ ฉะนั้นมอเตอร์จึงมีประสิทธิภาพสูงตลอดเวลา เนื่องจากเป็นจุดที่มอเตอร์ทำงานที่มุมล้าหลังต่ำสุดและเนื่องจากพลังงานที่ป้อนเข้ามามีค่าลดลง จึงทำให้ความสูญเสียในสายไฟ คือ $I^2 R$ มีค่าลดลงด้วย

บทที่ 3

กำลังไฟฟ้าและการแก้ค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์

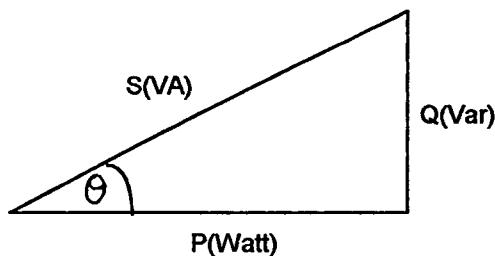
กำลังไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่นำมาต่อใช้งานกับระบบไฟฟ้า จะมีกำลังไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ตัวมัน 2 ลักษณะคือ กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแล้วสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ กับกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปโดยไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่นการสูญเสียในรูปของความร้อน การสูญเสียกำลังไฟฟ้า ดังกล่าวนี้นั้นส่วนมากแล้วจะเกิดขึ้นกับโหลดที่จ่ายไฟให้แล้วทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นมา ซึ่งก็คือ โหลดจำพวกขดลวดตัวนำ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อินдукทีฟโหลด (Inductive load) เช่น มอเตอร์ , บัลลัสต์ ที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น

ระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้สามารถแยกประเภทกำลังไฟฟ้าได้เป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ

1. กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรหรือโหลด เป็นกำลังไฟฟ้าที่คำนวณมาจากการลดครากที่สองของ P^2+Q^2 จึงเรียกกำลังไฟฟ้าแบบนี้ว่า กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (Apparent power) หรือค่า S มีหน่วยเป็น โวลท์แอมป์ (VA)
2. กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรือเรียกว่า กำลังไฟฟ้าจริง (Active power) หรือ P หาได้จากสูตร $EI \cos \theta$ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)
3. กำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไป (Reactive power) หรือค่า Q หาได้จากสูตร $EI \sin \theta$ มีหน่วยเป็น โวลท์แอมป์รีแอกทีฟ หรือ วาร์ (VAR) และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 แบบ แสดงไว้ในภาพที่ 11

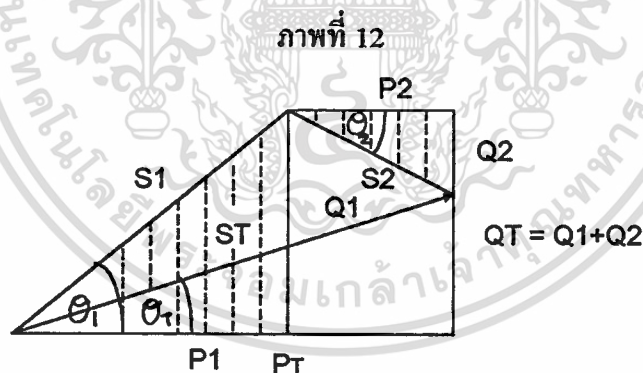
ภาพที่ 11



ภาพที่ 11 เป็นการสร้างสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าของโหลดที่มีตัวเหนี่ยวนำร่วมซึ่งในวงจรขนาน RL นั้น จะได้กำลังไฟฟ้าจริง (P) จะอยู่บนแกนอนในขณะที่กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) ของโหลดตัวเหนี่ยวนำซึ่งมีค่าเป็นบวก จะอยู่ในแกนตั้งด้านบวก ซึ่งถ้าเป็นโหลดพวกตัวเก็บประจุจะมีค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน Q เป็นลบ ก็จะอยู่บนแกนตั้งด้านลบตรงข้ามกับทิศทางกำลังไฟฟ้าเสมือนตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปร่างของสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าแล้วจะเห็นว่า

$$Q = P \tan \theta \quad (3.1)$$

ดังนั้นในระบบไฟฟ้าที่มีโหลดขนานอยู่ร่วมกันทั้งโหลดผสมตัวเหนี่ยวนำ RL และโหลดผสมตัวเก็บประจุ RC จะเป็นผลให้กำลังไฟฟ้าจริงรวม (P_T) เป็นผลบวกของโหลดรวมกัน ในขณะที่กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q_T) จะเป็นผลต่างของโหลดทั้งสองชนิด ซึ่งจะพิจารณาได้จาก ภาพที่ 12 เมื่อ P_1 , Q_1 และ S_1 เป็นกำลังไฟฟ้าของโหลดที่มีตัวเหนี่ยวนำ (Lagging load) มี Phase angle θ_1 ต่อร่วมกับโหลดที่มีตัวเก็บประจุ (Leading load) ที่มีกำลังไฟฟ้า P_2 , Q_2 และ S_2 โดยที่ Q_2 จะเป็นลบ และมี Phase angle θ_2 ผลรวมของกำลังไฟฟ้าเป็น P_1+P_2 และ Q_1+Q_2 ตามเวกเตอร์โดยจะได้กำลังไฟฟารวมเป็น S_T ทำให้ได้มุมที่ทำกันระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟารวมใหม่ เป็น θ_T



แสดงสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าเมื่อรวมโหลดทั้งหมด

คำจำกัดความของเพาเวอร์แฟคเตอร์

เพาเวอร์แฟคเตอร์ คืออัตราส่วนของกำลังงานที่ทำให้เกิดงานต่อกำลังงานปรากฏในวงจรไฟฟ้าใด ๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงลงได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 แต่โดยปกติมักจะพูดกันเป็นเปอร์เซ็นต์

$$\text{เพาเวอร์แฟคเตอร์} = \frac{\text{กำลังงานที่ทำให้เกิดงาน}}{\text{กำลังงานปรากฏ}} = \frac{KW}{KVA}$$

หรือจากภาพที่ 11 จะได้

$$\text{เพาเวอร์แฟคเตอร์} = \cos \theta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาเวอร์แฟกเตอร์อาจเป็นแบบตามหลังหรือแบบนำหน้าก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทาง การไหลของกำลังงานที่ทำให้เกิดงาน และกำลังงานรีแอกทีฟ ถ้ากำลังงานทั้งสองส่วนนี้ไหลไปใน ทิศทางเดียวกันค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่จุดนั้นจะเป็นแบบตามหลัง แต่ถ้าไหลไปคนละทิศทางแล้ว เพาเวอร์แฟกเตอร์ที่จุดนั้นจะเป็นแบบนำหน้า เนื่องจากตัวคาปาซิเตอร์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน รีแอกทีฟเพียงอย่างเดียว มันจึงมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบนำหน้าเสมอ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็นแบบตามหลังเพราะมันต้องการทั้งกำลังงานที่ทำให้เกิดงาน และ กำลังงานรีแอกทีฟ (ไหลเข้ามอเตอร์ทั้งสองส่วน) สำหรับซิงโครนัสมอเตอร์ที่ถูกกระตุ้นเกินขนาด (Over excited) นั้นสามารถจ่ายกำลังงานรีแอกทีฟเข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้ แต่กำลังงานที่ทำให้เกิด งานต้องไหลเข้ามอเตอร์เสมอ ดังนั้นมันจึงมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบนำหน้าได้

ข้อดีของการปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์

เมื่อทำการปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้มีค่าสูงขึ้นจะเกิดผลดีหลายอย่างคือ

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในวงจร ไฟฟ้าจะลดลง

เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส 380 โวลท์ ขนาด 1500 W มีประสิทธิภาพ 80% และ เพาเวอร์แฟกเตอร์ 75% เมื่อทำงานเต็มที่

กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ดึงจากแหล่งจ่ายไฟขณะทำงานเต็มที่ก็คิดจะมีค่า

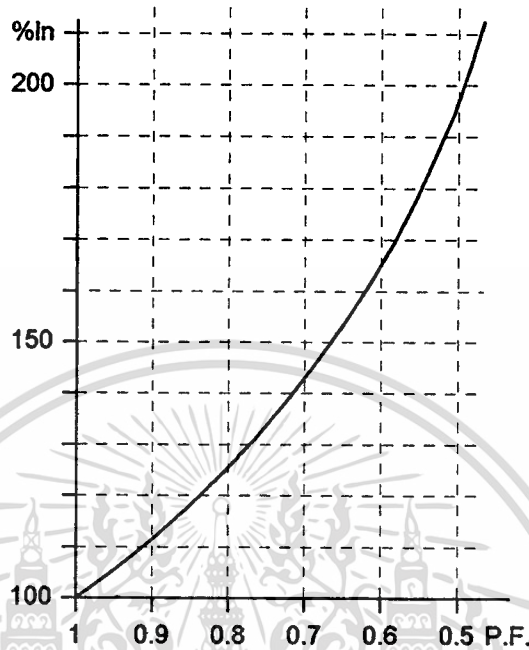
$$= \frac{1500}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8 \times 0.75} = 3.79 \text{ แอมป์}$$

ถ้าปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็น 100% กระแสที่มอเตอร์ดึงจากระบบไฟฟ้าจะลดลง เหลือเพียง

$$= \frac{1500}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8 \times 1} = 2.84 \text{ แอมป์}$$

ความสัมพันธ์ของกระแส และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ แสดงในภาพที่ 13 ซึ่งจะเห็นว่าถ้าเพิ่ม ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ จากค่าต่ำให้มีค่าสูงขึ้นกระแสไฟฟ้าจะลดลงอย่างมาก

ภาพที่ 13



แสดงความสัมพันธ์ของกระแสและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

2. ระบบไฟฟ้าสามารถรับโหลดได้มากขึ้น

เมื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้มีค่าสูงขึ้น กระแสที่ไหลอยู่ในระบบระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับจุดที่มีการปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์จะมีค่าลดลง ทำให้สามารถเพิ่มโหลดเข้าไปในระบบได้โดยไม่ทำให้ระบบรับโหลดเกินพิกัด อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่นหม้อแปลงไฟฟ้า, สายเคเบิล และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกกำหนดขนาดพิกัดไว้ด้วยค่ากำลังงานปรากฏ (KVA) แต่ตามปกติแล้วเครื่องจักรต้นกำลังที่ใช้หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องมีขนาดพิกัดของกำลังงานที่ทำให้เกิดงาน (KW) เท่ากับหรือมากกว่า กำลังงานปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จึงจะสามารถทำงานอยู่ได้ ดังนั้นในการทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบสูงขึ้นจะทำให้เครื่องจักรต้นกำลังใช้กำลังงานน้อยลง หรือสามารถรับโหลดได้เพิ่มขึ้น

3. ลดกำลังสูญเสียในสายไฟ

การลดกำลังงานสูญเสียในสายไฟเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถนำมาประกอบการพิจารณาได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงงานอุตสาหกรรมที่ติดตั้งมานานแล้วมีสายป้อนยาวมากๆ หรือในระบบไฟฟ้าเพื่อการเกษตร และการสูบน้ำในท้องถิ่นกันดารที่ต้องเดินสายป้อนมีระยะทางไกลๆ กำลังงานสูญเสียในสายไฟต่าง ๆ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่ากระแสยกกำลังสอง แต่เนื่องจากกระแสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะลดลงเป็นส่วนโดยตรงกับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ดังนั้นกำลังงานสูญเสียในสายไฟต่าง ๆ จึงเป็นส่วนกลับกับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times P.F.}$$

$$\text{การสูญเสียในสายตัวนำที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เดิม} = I^2 R$$

$$= \frac{P^2 R}{3V^2 (\text{original } P.F.)^2}$$

$$\text{การสูญเสียในสายตัวนำที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ใหม่} = I^2 R$$

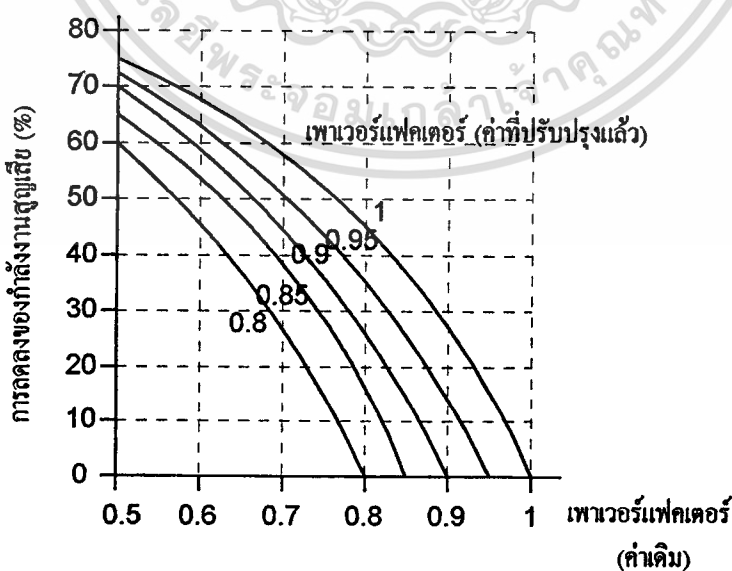
$$= \frac{P^2 R}{3V^2 (\text{improve } P.F.)^2}$$

$$\% \text{ Power loss} = 100 \left(\frac{\text{original } P.F.^2}{\text{improve } P.F.} \right)$$

$$\% \text{ Loss reduction} = 100 \left[1 - \left(\frac{\text{original } P.F.^2}{\text{improve } P.F.} \right) \right]$$

จากภาพที่ 14 จะเห็นว่าการปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์จาก 0.6 เป็น 0.8 จะลดกำลังงานสูญเสียในสายไฟได้ถึง 44% และถ้าเปลี่ยนจาก 0.6 เป็น 1.0 จะลดกำลังงานสูญเสียได้ถึง 64%

ภาพที่ 14



แสดงการลดลงของกำลังงานสูญเสียในสายไฟเมื่อปรับปรุง

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้มามีค่าสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ลดแรงดันตกและเพิ่มความสามารถของสายส่งไฟฟ้า

สายส่งไฟฟ้าโดยทั่วไป ที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะมีคุณสมบัติซึ่งแทนได้ด้วย ความต้านทานต่ออนุกรมอยู่กับความเหนี่ยวนำ โดยปกติมีค่าประมาณ 0.4 ถึง 0.9 $\mu\text{H}/\text{m}$ แรงดันตกในสายส่งดังกล่าวเมื่อมีกระแสที่มีมุมเฟส θ ไหลผ่านจะประมาณได้อย่างหยาบ ๆ ดังนี้

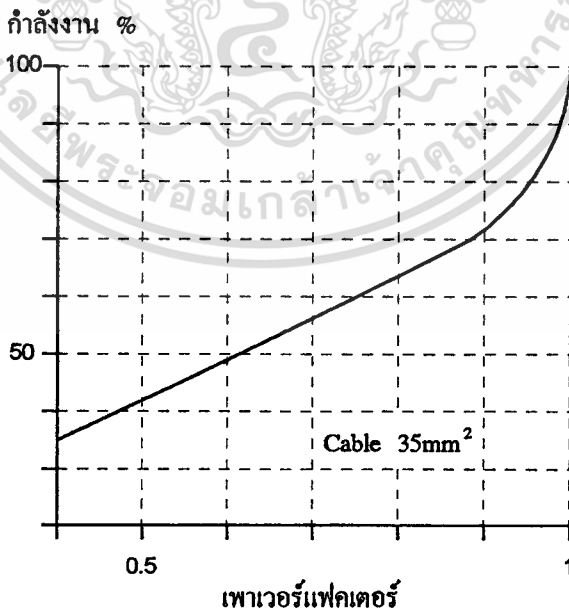
$$\Delta V = I(R \cos \theta + \omega L \sin \theta)$$

สำหรับวงจรสายส่ง 3 เฟส เมื่อกำหนดให้แรงดันตกสูงสุดมีค่าไม่เกิน $n\%$ จะได้แรงดันตกสูงสุดมีค่า $\Delta V = nV/\sqrt{3}$ และกำลังงานสูงสุดที่สายส่งสามารถส่งได้มีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} I &= \frac{\Delta V}{(R \cos \theta + \omega L \sin \theta)} \\ &= \frac{nV}{\sqrt{3}(R \cos \theta + \omega L \sin \theta)} \\ P &= \sqrt{3}VI \cos \theta \\ P &= \frac{nV^2}{(R + \omega L \tan \theta)} \end{aligned}$$

ในทางปฏิบัติ n จะมีค่าประมาณ 5 ถึง 10%

ภาพที่ 15



แสดงความสามารถของสายส่งในการส่งกำลังงานไฟฟ้าที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

ระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 สายส่งในรูปนี้เป็นสายเคเบิลขนาด 35 mm^2 มีค่าความต้านทาน

0.0005 Ω/m และค่าความเหนี่ยวนำ 1.32 $\mu\text{H}/\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือที่สงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

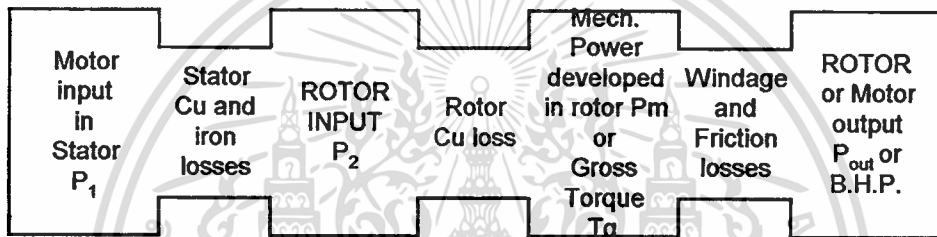
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 15 สายส่งจะส่งกำลังไฟฟ้าโดยเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้นจากค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.4 ถึงประมาณ 0.8 เมื่อเลข 0.8 แล้วจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และที่แรงดันตกสูงสุดใด ๆ ที่กำหนดไว้สายส่งจะส่งกำลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ถึงเท่าตัว ถ้าเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จาก 0.65 เป็น 1.0

5. ลดกำลังสูญเสียในมอเตอร์

การสูญเสียและกำลังในส่วนต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส นำมาเขียนเป็น เพาเวอร์-โพลว์ ไดอะแกรม ได้ดังภาพที่ 16

ภาพที่ 16



แสดงเพาเวอร์-โพลว์ ไดอะแกรม (Power flow diagram)

จาก เพาเวอร์-โพลว์ ไดอะแกรม การสูญเสียที่สเตเตอร์ประกอบด้วย การสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) ซึ่งหมายถึง Eddy current และ Hysteresis ที่แกนเหล็กสเตเตอร์ และการสูญเสียเนื่องจาก I^2R ในขดลวดมอเตอร์ เรียกว่าการสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ (Stator copper loss) กำลังงานสูญเสียในขดลวดจะแปรโดยตรงกับกระแสยกกำลังสอง จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ดังนั้นกำลังงานสูญเสียในขดลวดที่โหลดค่าใด ๆ จะแปรตามกำลังงานปรากฏยกกำลังสอง

6. ลดค่าไฟฟ้า

ผู้ใช้ไฟฟ้ายี่ห้อที่ใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูง คือมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงที่สุดตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ ขึ้นไปการไฟฟ้านครหลวงจะเรียกเก็บค่าไฟฟ้าเป็นรายเดือนโดยคิดจาก

1. ค่าพลังงานไฟฟ้ามีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง
2. ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า หมายถึง ความต้องการพลังไฟฟ้าเป็น กิโลวัตต์เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือนนั้น

3. ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟกเตอร์ล่าหลัง (Lag) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานรีแอกทีฟ เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในอัตรา กิโลวาร์ (kVAR) ละ 15.00บาท สำหรับการเรียกเก็บในรอบเดือนนั้น เศษของกิโลวาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

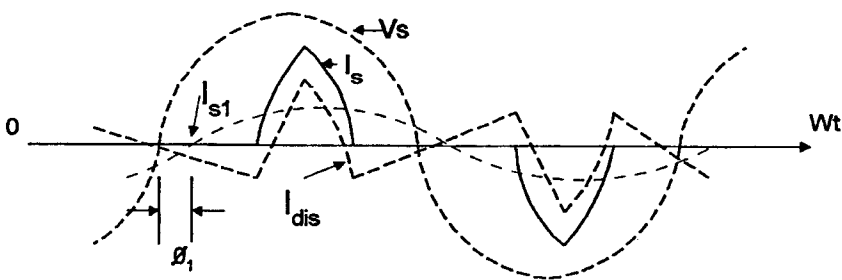
จะเพิ่มเพาเวอร์แฟกเตอร์ได้อย่างไร

ในทางปฏิบัติโดยทั่ว ๆ ไป การเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ จะทำได้โดยการลดกำลังงานรีแอกทีฟในระบบไฟฟ้าลง โดยการติดตั้งคาปาซิเตอร์เข้ากับจุดที่ต้องการกำลังงานรีแอกทีฟ การเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์โดยการต่อคาปาซิเตอร์เข้ากับขั้วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะต้องเลือกขนาดคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมไม่ให้อยู่เกินไป เพราะถ้าคาปาซิเตอร์มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดการกระตุ้นตัวเอง (Self-excitation) เกิดแรงดันเกินทำให้คาปาซิเตอร์ และขดลวดของมอเตอร์เสียหายได้ ทำให้การปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ไม่ได้ผลคืนกในกรณีที่มอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงโหลดบ่อยครั้ง โครงการวิจัยนี้จึง ได้นำเสนอแนวทาง ในการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยให้มอเตอร์ทำงานที่มุมล้าหลังต่ำสุดในแต่ละโหลดของมอเตอร์(รายละเอียดกล่าวไว้ในบทที่ 4) ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาในกรณีที่โหลดของมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้งได้

ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแส

เนื่องจากการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าของมอเตอร์ โดยใช้เฟสคอนโทรล (Phase control) นั้นจะเกิดสัญญาณ ฮาร์โมนิก (Harmonic) เข้ามารบกวนในระบบไฟฟ้าโดยส่วนรวม และมีผลทำให้รูปคลื่นกระแสเข้ามอเตอร์ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์มาก ดังภาพที่ 17 ดังนั้นการคำนวณค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จะต้องพิจารณาถึงผลกระทบของฮาร์โมนิกที่มีต่อกระแสด้วย

ภาพที่ 17



แสดงการผิดเพี้ยนของคลื่นกระแสไปจากรูปไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 17 แสดงกระแส I_s ซึ่งเกิดจากอุปกรณ์พ่วงเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ โดยที่รูปคลื่นแรงดันเป็นไซน์ที่มีความถี่พื้นฐาน ($\omega_1 = \omega$ และ $f_1 = f$) จะได้ว่า

$$V_s = \sqrt{2}V_s \sin \omega t \quad (3.1)$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$I_s(t) = I_{s1}(t) + \sum_{h \neq 1} I_{sh}(t) \quad (3.2)$$

เมื่อ I_{s1} คือ กระแสความถี่มูลฐาน

I_{sh} คือ ส่วนประกอบกระแสฮาร์โมนิกที่ ฮาร์โมนิก h

สมการที่ 3.2 สามารถกระจายออกได้ดังนี้

$$I_s(t) = \sqrt{2}I_{s1} \sin(\omega_1 t - \phi_1) + \sum_{h \neq 1} \sqrt{2}I_{sh} \sin(\omega_h t - \phi_h) \quad (3.3)$$

เมื่อ ϕ_1 คือ มุมระหว่างแรงดัน V_s กับกระแส I_{s1} ค่ากระแสรากของกำลังสองเฉลี่ย (rms) ของกระแสไลน์ สามารถคำนวณโดย

$$I_s = (I_{s1}^2 + \sum_{h \neq 1} I_{sh}^2)^{1/2} \quad (3.4)$$

ผลรวมของความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแส เรียกว่า THD. (Total harmonic distortion)

ส่วนประกอบความผิดเพี้ยนของกระแส I_{dis} ตามสมการที่ 3.2 คือ

$$I_{dis}(t) = I_s(t) - I_{s1}(t) = \sum_{h \neq 1} I_{sh}(t) \quad (3.5)$$

เขียนในรูปของรากกำลังสองเฉลี่ย (rms) จะได้ว่า

$$I_{dis} = [I_s^2 - I_{s1}^2] = (\sum_{h \neq 1} I_{sh}^2)^{1/2} \quad (3.6)$$

ค่า THD. จะถูกจำกัดความคือ

$$\%THD_i = 100 \times \frac{I_{dis}}{I_{s1}} \quad (3.7)$$

$$= 100 \times \frac{\sqrt{I_s^2 - I_{s1}^2}}{I_{s1}}$$

$$= 100 \times \sqrt{\sum_{h \neq 1} \left(\frac{I_{sh}}{I_{s1}}\right)^2}$$

กำลังไฟฟ้าและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

กำลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยจากภาพที่ 17 นั้นสามารถหาได้จาก

$$P = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} P(t) dt = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} V_s(t) I_s(t) dt \quad (3.8)$$

แทนค่าสมการที่ 3.1 และ 3.3 ในสมการที่ (3.8) จะได้ว่า

$$P = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} \sqrt{2} V_s \sin \omega_1 t \cdot \sqrt{2} I_{s1} \sin(\omega_1 t - \phi_1) dt$$

$$P = V_s I_{s1} \cos \phi_1 \quad (3.9)$$

ค่ากำลังงานไฟฟ้าปรากฏ (Apparent power) S ; มีค่าเท่ากับ

$$S = V_s I_s \quad (3.10)$$

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

$$P.F. = \frac{P}{S}$$

แทนค่าสมการที่ 3.9 และสมการที่ 3.10 ดังนั้นจะได้ว่า

$$P.F. = \frac{V_s I_{s1} \cos \phi_1}{V_s I_s} \quad (3.11)$$

$$= \frac{I_{s1}}{I_s} \cos \phi_1 \quad (3.12)$$

ค่าตัวประกอบการกระจัด (Displacement power factor) DPF. ; คือค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์
ในกรณีที่ คลื่นแรงดันและกระแสเป็นรูปไซน์ ดังนั้น

$$DPF. = \cos \phi_1$$

ส่วนในกรณีที่กระแสไม่เป็นไซน์ คือ

$$P.F. = \frac{I_{s1}}{I_s} DPF. \quad (3.13)$$

ถ้าคลื่นกระแสผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์มากดังนั้นค่า $\frac{I_{s1}}{I_s}$ จะมีค่าน้อยซึ่งจะมีผลให้ค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่าต่ำลง และสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการที่ 3.7 และ 3.13 ดังนี้

$$P.F. = \frac{1}{\sqrt{1+THD_i^2}} DPF. \quad (3.14)$$

สมการที่ 3.13 และสมการที่ 3.14 มีความสำคัญมากโดยจะใช้ในการหาค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์และค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ถูกควบคุมโดยอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน โดยจะแสดงวิธีการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัด Harmonics Analyzer รายละเอียดจะขอล่าไว้ในบทที่ 6



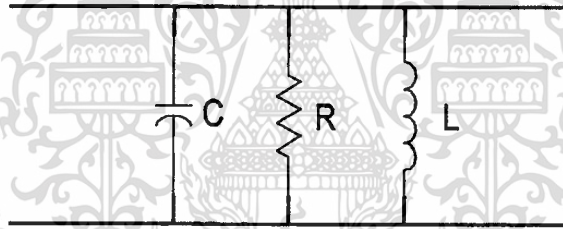
บทที่ 4

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ทฤษฎีพื้นฐาน

ปกติโดยทั่วไปโหลดทางไฟฟ้าสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของค่า ความต้านทาน (R) ค่าความเหนี่ยวนำ (L) และค่าตัวเก็บประจุ (C) ผสมกันอยู่ดังภาพที่ 18 ทำให้เกิดมุมระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับกระแสไฟฟ้า (I) มีเฟส (Phase) ต่างกันเป็นมุมซัด้า (θ) ดังภาพที่ 19

ภาพที่ 18



แสดงคุณสมบัติของโหลดทางไฟฟ้า

ถ้าในระบบไฟฟ้ามีโหลดที่เป็นคุณสมบัติของค่าตัวเหนี่ยวนำมากกว่าค่าของตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะทำให้กระแสไฟฟ้ามีเฟสล่าหลังแรงดันไฟฟ้าเป็นมุมซัด้า (θ) แต่ถ้าค่าของตัวเก็บประจุไฟฟ้ามากกว่าค่าตัวเหนี่ยวนำจะทำให้กระแสไฟฟ้ามีเฟสของสัญญาณนำหน้าแรงดันไฟฟ้า

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X_T}{R}$$

R = ค่าความต้านทานของโหลดในระบบไฟฟ้า

$$X_T = X_L + X_C$$

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_C = 2\pi fC^{-1}$$

L = ค่าความเหนี่ยวนำของโหลดในระบบไฟฟ้า

C = ค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้าของโหลดในระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าที่มีมุมต่างเฟสกับแรงดันไฟฟ้า สามารถแตกเทอมกระแสไฟฟ้า ออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่มีเฟสเหมือนกับแรงดันไฟฟ้าและส่วนที่มีเฟสต่างจากแรงดันไฟฟ้าไป 90 องศา ดังสมการ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

1.กระแสไฟฟ้าที่มีมุมตรงกับแรงดันไฟฟ้า คือ

$$I_{\text{in-phase}} = I \cos \theta \quad (4.1)$$

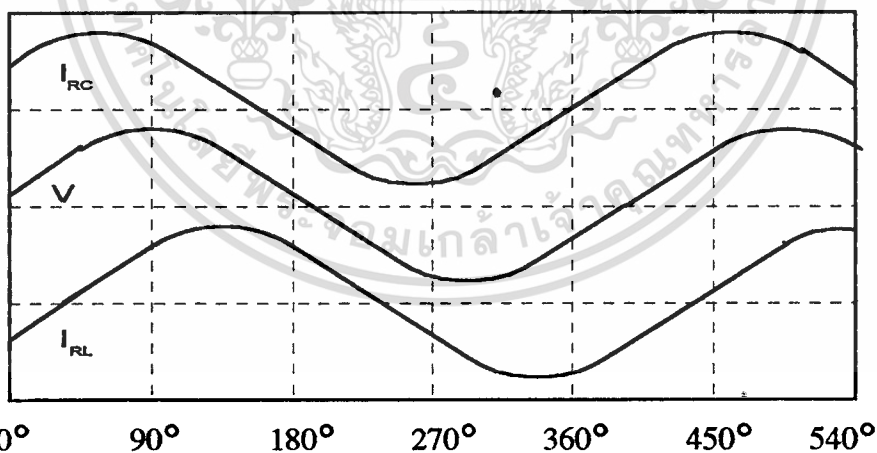
2.กระแสไฟฟ้าที่มีมุมต่างกับแรงดันเป็นมุม 90 องศา

(กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิด รีแอกทีฟพาวเวอร์) คือ

$$I_{\text{out-phase}} = I \sin \theta \quad (4.2)$$

$$(I = I_m \sin \omega t)$$

ภาพที่ 19



V = แรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย

I_{RL} = กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากโหลดของระบบมีค่าเป็น ความต้านทานกับค่าความเหนี่ยวนำ

I_{RC} = กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากโหลดของระบบมีค่าเป็น ความต้านทานกับตัวเก็บประจุไฟฟ้า

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า กับกระแสไฟฟ้า

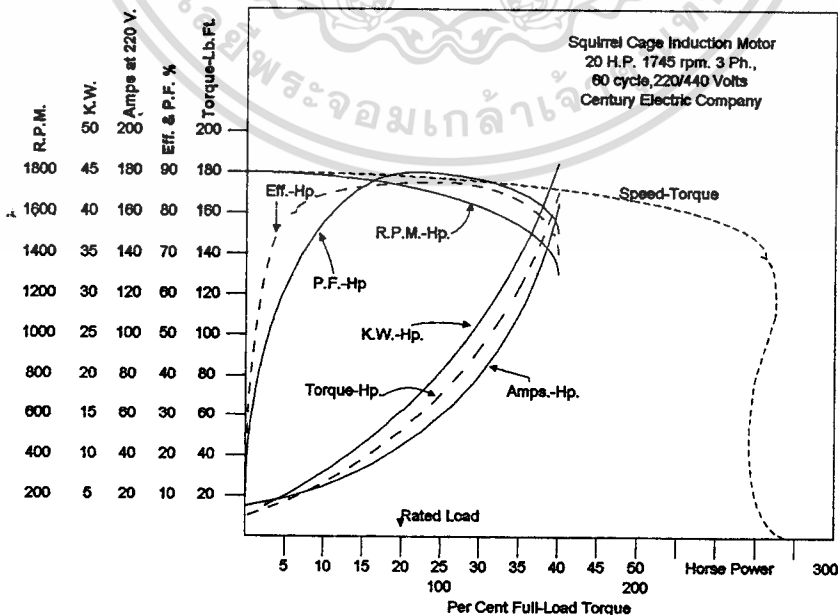
จากทฤษฎีพื้นฐานสำหรับโหลดที่เป็นมอเตอร์ กระแสไฟฟ้าจะมีเฟสล้าหลังแรงดันทำให้มีกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิด รีแอกทีฟเพาเวอร์ คือ

$$I_{out-phase} = I \sin \theta \tag{4.2}$$

จากคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ถูกรอกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด เมื่อทำงานที่พิกัด โดยในขณะที่มอเตอร์ขับโหลดเต็มที่ (Full load) มอเตอร์จะมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.8-0.9 จะทำให้กระแส (I) มีเฟสเกือบทับแรงดัน (V) ทำให้กระแสไฟฟ้าในส่วนที่ทำให้เกิดรีแอกทีฟเพาเวอร์มีค่าน้อยตามสมการที่ (4.2) ในทางกลับกันเมื่อมอเตอร์อยู่ในสถานะไม่มีโหลด (No load) หรือโหลดต่ำ (Light load) ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จะมีค่า 0.2-0.3 ทำให้เกิดกระแส (I) มีเฟสล้าหลังแรงดันเกือบ 90 องศา จึงทำให้กระแสไฟฟ้าในส่วนที่ทำให้เกิดรีแอกทีฟเพาเวอร์มีค่ามากตามสมการที่ 4.2 ซึ่งจะเป็นการสูญเสียพลังงานที่ป้อนให้กับมอเตอร์ไปโดยไม่มีประโยชน์จำนวนหนึ่ง

อย่างไรก็ตามมอเตอร์เหนี่ยวนำก็เป็นที่ยอมรับกันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากว่ามอเตอร์ชนิดนี้ มีราคาไม่แพงมากนัก , ต้องการการดูแลรักษาน้อย, และมีความเร็วโรเตอร์ค่อนข้างจะคงที่โดยตลอด ถ้าเราสามารถที่จะปรับปรุงสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะไม่มีโหลด (No load) หรือ โหลดต่ำ (Light load) ให้สูงขึ้นได้ก็จะทำให้ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มาก ภาพที่ 20 เป็นกราฟแสดงคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทำให้สามารถเข้าใจคุณสมบัติโดยรวมได้

ภาพที่ 20



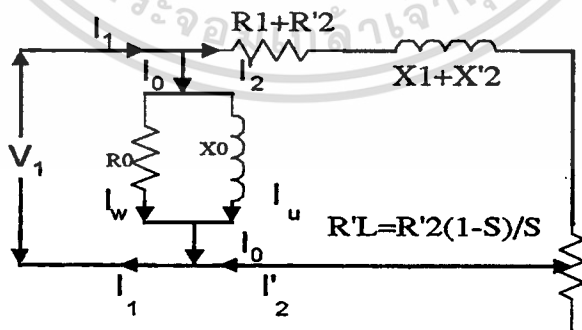
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน แสดงกราฟคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวคิดและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

จากกราฟแสดงคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะเห็นได้ว่ามอเตอร์จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับจุดสูงสุดเมื่อมอเตอร์ทำงานตรงกับจุดที่มอเตอร์มีมุมล้าหลังต่ำสุด ดังนั้นจึงใช้เงื่อนไขให้มอเตอร์ทำงานที่มุมล้าหลังต่ำสุดในแต่ละโหลดของมอเตอร์ โดยการลดแรงดันลงมาและใช้เงื่อนไขข้างต้นเป็นตัวควบคุมว่าจะป้อนแรงดันขนาดเท่าไรให้กับมอเตอร์ (ขณะที่ลดแรงดันลงมาเรื่อยๆ สัญญาณของมุม Lagging จะลดลงโดยตลอดจนกระทั่งมอเตอร์เกิดการ Over load สัญญาณ ของมุม Lagging จะขยายออก) จากการควบคุมโดยวิธีนี้จะทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเนื่องจากค่า "สลลิป" เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับในสภาวะที่มอเตอร์ขับโหลดเต็มที่ทำให้อัตราเร็วลดลงประมาณ 2% เป็นผลให้มอเตอร์ทำงานเสมือนหนึ่งว่ากำลังแบกภาระหนักอยู่ ดังนั้นกระแสจะมีเฟสเกือบทับแรงดัน เพราะฉะนั้นพลังงานที่เกิดขึ้นจะใช้ไปในงานที่เป็นประโยชน์มากเหมือนกับกรณีแบกภาระเต็มที่ แต่แรงดันที่ป้อนเข้ามีค่าน้อยลงจึงเป็นผลให้มีการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

วงจรสมมูลย์โดยประมาณของมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นเหมือนกันกับของหม้อแปลง (ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 2) แต่แตกต่างกันที่ตรงที่มอเตอร์มีส่วนที่สองเคลื่อนที่หรือหมุนได้ ดังนั้นจึงเขียนวงจรสมมูลย์ได้เช่นเดียวกับหม้อแปลงแบบธรรมดา แต่เนื่องจากการควบคุมมอเตอร์โดยการใส่เฟสคอนโทรลนั้นจะมีสัญญาณ ฮาร์โมนิกเกิดขึ้น ทำให้วงจรสมมูลย์ในบทที่ 2 นั้น นำมาพิจารณาได้เฉพาะในส่วนของกระแสที่ความถี่มูลฐานเท่านั้น ดังที่แสดงในภาพที่ 21

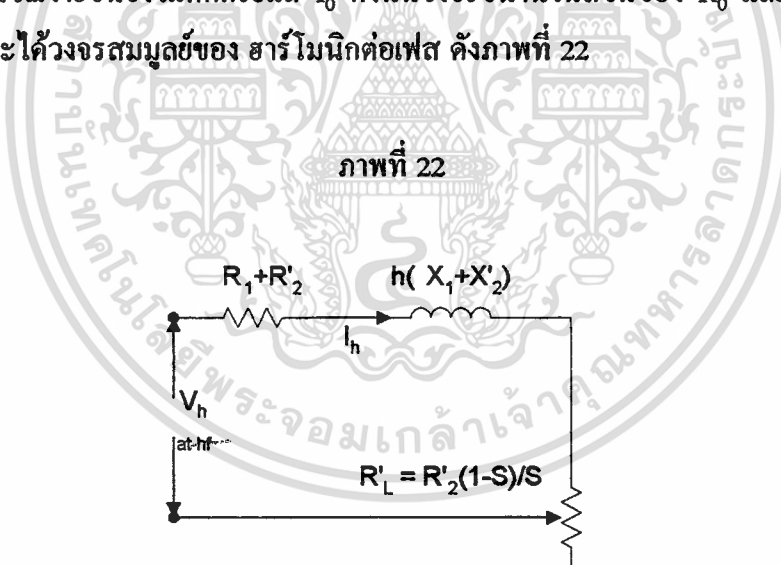
ภาพที่ 21



แสดงวงจรสมมูลย์โดยประมาณของมอเตอร์เหนี่ยวนำ
(ใช้พิจารณาในส่วนของกระแสความถี่มูลฐาน)

จากภาพที่ 21 สามารถอธิบายคุณลักษณะประจำของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้คือ ในขณะที่โหลดน้อยหรือไม่มีโหลด (ค่า “สลลิป” เข้าใกล้ศูนย์) วงจรสมมูลจะเสมือนเปิดวงจรทำให้กระแส I_0 โหลดและมีค่าค่อนข้างคงที่ที่พิกัดของศักดาไฟฟ้าทำให้เกิด I_w เป็นกระแสส่วนที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก และ I_u คือกระแสส่วนที่ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก ในทางกลับกันเมื่อมอเตอร์มีโหลดมาก (ค่า “สลลิป” เข้าใกล้ 1) ค่า R'_L จะมีค่าน้อย ดังนั้นพลังงานที่จ่ายเข้ามาจึงถูกนำไปใช้ได้อย่างเต็มที่ สิ่งที่ต้องการทำก็คือทำให้มอเตอร์เมื่อทำงานที่สภาวะโหลดน้อย หรือไม่มีโหลดนั้นมีค่า “สลลิป” เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับขณะที่มอเตอร์ขับโหลดเต็มที่ ซึ่งจะมีผลทำให้ค่า R'_L มีค่าน้อยลง เนื่องจากแรงดันที่ป้อนเข้าลดลงมีผลให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลงค่า “สลลิป” จึงเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาในส่วนของวงจรขนาน R_0 และ X_0 นั้นเดิมจะเป็นความสูญเสียที่คงที่ ก็จะไม่ใช้ความสูญเสียที่คงที่อีกต่อไป เนื่องจากแรงดันตกคร่อมวงจรขนานเปลี่ยนแปลงตามที่โหลดต้องการ

เมื่อจะพิจารณาในส่วนของความถี่ ฮาร์โมนิก h แล้วจะเขียนวงจรสมมูลได้ใหม่ตามภาพที่ 22 โดยจะตัดค่ากระแส I_0 ทิ้งไปเนื่องจากกระแส I_0 มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกระแสมอเตอร์ I_1 เพื่อให้การคำนวณง่ายขึ้นจึงไม่คิดกระแส I_0 ดังนั้นวงจรขนานในส่วนของ R_0 และ X_0 จึงถูกตัดทิ้งไป ดังนั้นจะได้วงจรสมมูลของ ฮาร์โมนิกต่อเฟส ดังภาพที่ 22



แสดงวงจรสมมูล ฮาร์โมนิกต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

สำหรับการคำนวณหาส่วนประกอบกระแส ฮาร์โมนิกที่ ฮาร์โมนิก h นั้นเราจะพิจารณาในส่วนของ ลิกเกจ รีแอกแตนซ์ ที่ความถี่ฮาร์โมนิก h ส่วนค่าความต้านทานนั้นจะมีผลน้อยมาก ซึ่งจะไม่นำมาคิด ดังนั้นจะได้ว่า

$$I_h \approx \frac{V_h}{h(X_1 + X_2')}$$

ส่วนความสูญเสียเนื่องจาก Copper loss ของสเตเตอร์ และโรเตอร์เนื่องจากกระแสฮาร์โมนิกนั้น จะประมาณได้ว่า

$$\Delta P = \sum_{h=2}^{\infty} (R_1 + R_2') I_h^2$$

โดยที่ R_1 คือ ความต้านทานขดลวดที่สเตเตอร์

R_2 คือ ความต้านทานขดลวดที่โรเตอร์

จากทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์ในการที่เราจะตรวจจับมุมล้าหลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำคือมุมที่แรงดันและกระแสเกิดการนำหน้า (Lead) และ ล้าหลัง (Lag) กันนั้นให้ถูกต้องโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานๆ และวงจรที่ไม่ยุ่งยากนั้นเป็นสิ่งที่ยาก เนื่องจากการควบคุมโดยใช้หลักการของการควบคุมเฟส (Phase control) นั้นจะต้องมี ฮาร์โมนิก (Harmonic) เข้ามารบกวนทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับทำงานผิดพลาดได้ ซึ่งโดยปกติแล้วอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับก็จะมีความแม่นยำในตัวอยู่แล้ว เช่น CT ที่ใช้ในการตรวจจับสัญญาณกระแสไฟฟ้า

แนวคิดในการตรวจจับ (Sensor) สัญญาณของมุมล้าหลัง (Lagging angle)

จากคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor) มอเตอร์จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อทำงานใกล้เคียงกับจุดที่มุมล้าหลังต่ำสุด ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้การตรวจจับสัญญาณของมุมล้าหลังจะไม่คำนึงถึงความถูกต้องของมุมล้าหลังที่ถูกต้องจริงๆของมอเตอร์ แต่จะใช้มุมล้าหลังที่มีความสัมพันธ์กับค่ามุมล้าหลังจริงๆ กล่าวคือเมื่อโหลดเพิ่มมุมล้าหลังต้องลดและเมื่อโหลดลดลงมุมล้าหลังต้องเพิ่ม โดยใช้ PT ในการตรวจจับสัญญาณของแรงดัน และใช้ CT ในการตรวจจับสัญญาณกระแส สัญญาณกระแสที่ผ่าน CT ออกมาจะต้องนำไปผ่านคาแปซิเตอร์ก่อนเพื่อปรับรูปคลื่นของสัญญาณให้เป็นไซน์ และเพื่อให้แน่ใจว่าจะต้องได้สัญญาณที่ใกล้เคียงรูปไซน์มากที่สุด จะต้องนำสัญญาณจาก PT และจาก CT ที่ผ่านคาแปซิเตอร์แล้วมาผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) อีกทีหนึ่ง เมื่อได้สัญญาณทั้งสองที่เป็นไซน์แล้วจะนำสัญญาณทั้งสองมาทำให้เป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square wave) โดยสัญญาณของแรงดันจะถูกกลับเฟส 180 องศา ก่อนที่จะนำมารวมกับสัญญาณของกระแสที่ AND GATE เพื่อหามุมล้าหลัง (Lagging angle)

ต่อไปเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคในการค้นหาหม้อลัดหลังต่ำสุด

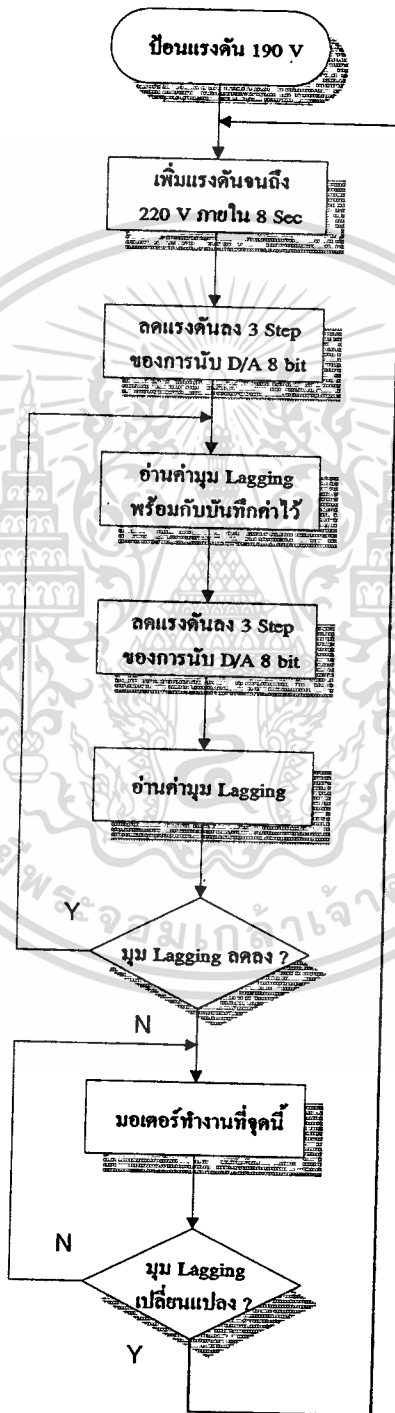
ในการค้นหาหม้อลัดหลังต่ำสุดนั้น จะต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม และวัดความกว้างของพัลส์อยู่ตลอดเวลา เพื่อความสะดวกในการออกแบบวงจรที่ไม่ยุ่งยาก และระบบต้องมีความรวดเร็วในการตอบสนองกับโหลดของมอเตอร์ที่เปลี่ยนแปลง ในการค้นหาหม้อลัดหลังต่ำสุดนั้นจะลดแรงดันลงมาทีละขั้น (Step) พร้อมกับการวัดความกว้างของพัลส์อยู่ตลอดเวลา เมื่อค้นหาเจอหม้อลัดหลังต่ำสุดแล้วยังลดแรงดันลงไปอีกจะทำให้มอเตอร์เกิดการ Over load กระแสจะเพิ่มขึ้น ทำให้หม้อลัดหลังขยายออก ตรงจุดนี้ซึ่งจะใช้เป็นเงื่อนไขในการเขียน โปรแกรม เพื่อควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานที่จุดเหมาะสมในแต่ละโหลดได้

จากเทคนิคการตรวจจับลักษณะนี้ ทำให้ไม่ต้องรู้ค่ามุมต่างเฟส (θ) ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดัน ไฟฟ้าที่ถูกต้องทำให้ใช้วงจรตรวจจับ ไม่ยุ่งยาก และไม่มีการคำนวณจึงสามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีขีดความสามารถต่ำ ซึ่งมีราคาถูกหาได้ง่ายแต่ยังคงสามารถทำงานได้



การทำงานของ SOFTWARE

ภาพที่ 23



แสดงโพลีชาร์ทขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโฟลว์ชาร์ทขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

- ตั้งค่ามุมจุดขนวน SCR ไว้ที่ประมาณ 190 โวลต์ เพื่อเริ่มต้นการ Soft start
- เพิ่มแรงดันขึ้นทีละ 3 Step จนถึง 220 โวลต์ ภายใน 8 วินาที
- ลดแรงดันลงทีละ 3 Step แต่ละ Step หน่วงเวลา 1 วินาที
- อ่านค่ามุมล้าหลังและเมื่ออ่านได้เท่าไรแล้วให้เท่ากับ Pw
- ลดแรงดันลงทีละ 3 Step แต่ละ Step หน่วงเวลา 1 วินาที
- อ่านค่ามุมล้าหลังและเมื่ออ่านได้เท่าไรแล้วให้เท่ากับ Pw_min
- เปรียบเทียบมุมล้าหลังที่อ่านได้เดิม (Pw) กับ Pw_min เพื่อค้นหามุมล้าหลังต่ำที่สุด
ถ้า $Pw_{min} < Pw$ ให้กลับไปอ่านมุมล้าหลังใหม่พร้อมกับบันทึกค่าเป็น Pw และลดแรงดันลงเริ่มเปรียบเทียบใหม่
ถ้า $Pw_{min} > Pw$ ให้ลดแรงดันลงไปอีก 3 Step จนแน่ใจว่าได้มุมล้าหลังต่ำสุดแล้ว ให้กลับมาตรงจุดที่มุมล้าหลังต่ำสุด และให้มอเตอร์ทำงานตรงจุดนี้
- ตรวจสอบจุดตลอดเวลาว่ามุมล้าหลังเปลี่ยนแปลงหรือไม่
ถ้าเปลี่ยนแปลงให้เพิ่มแรงดันให้กับมอเตอร์จนถึง 220 V และเริ่มทำการค้นหามุมล้าหลังต่ำสุดใหม่
ถ้าไม่เปลี่ยนแปลง มอเตอร์จะทำงานตรงจุดที่มุมล้าหลังต่ำสุดตลอดเวลา

(ตัวโปรแกรมแสดงไว้ที่ภาคผนวก ก.)

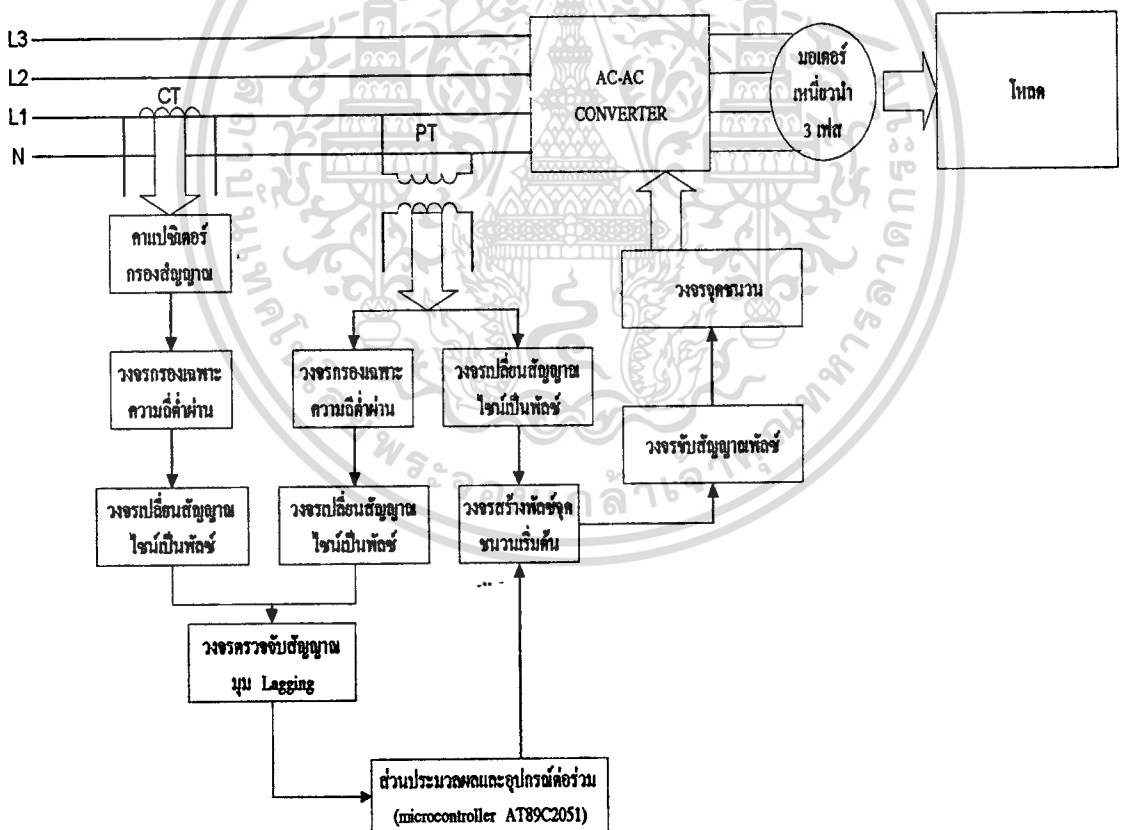
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ส่วนฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

การทำงานของส่วนฮาร์ดแวร์โดยรวม

ภาพที่ 24



แสดงบล็อก ไดอะแกรมแสดงการทำงานของฮาร์ดแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

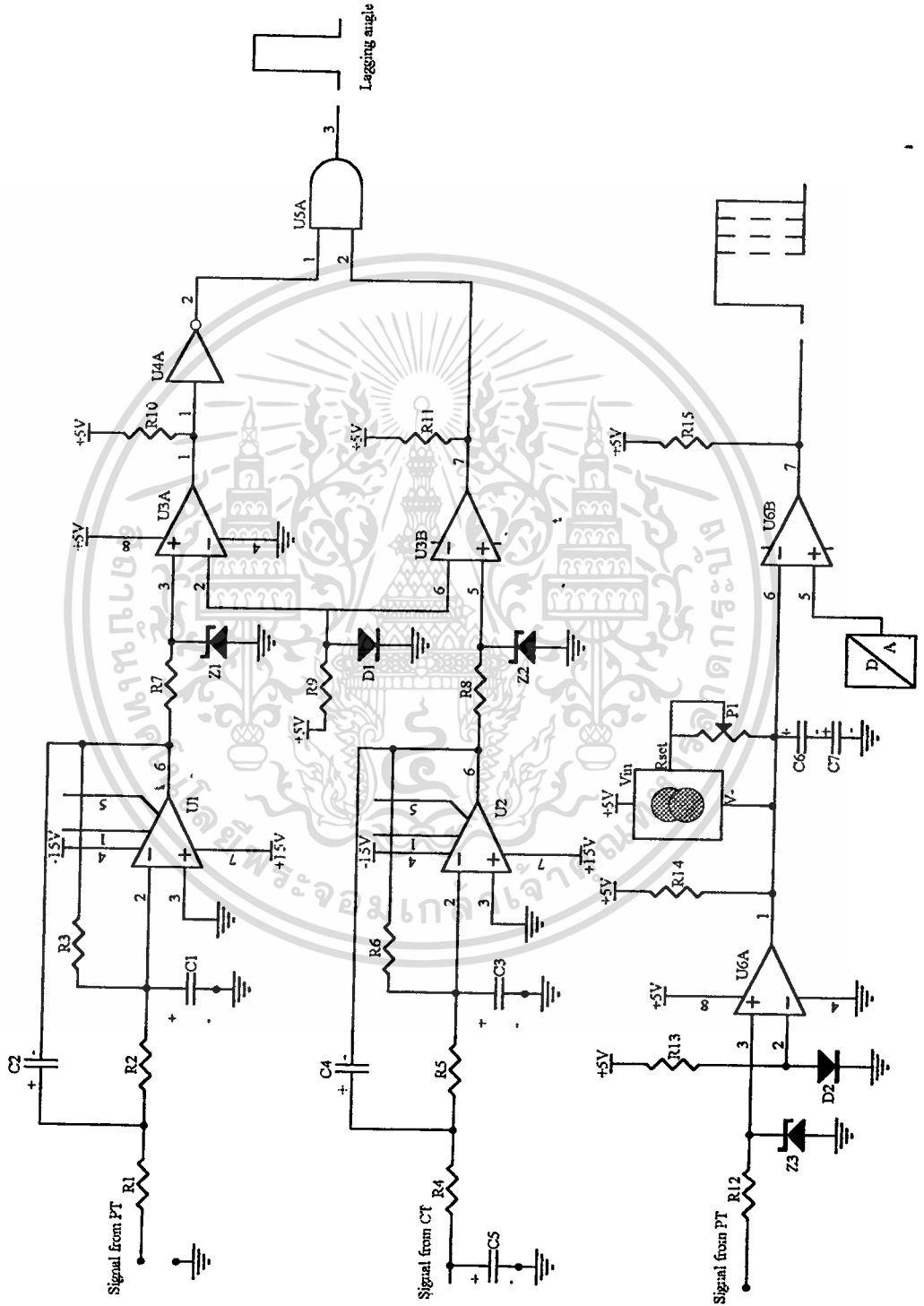
บล็อกไดอะแกรมทั้งหมดแสดงในภาพที่ 24 มีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C2051 ใช้คริสตอล (Crystal) 11.059 MHz ในการทำงาน, วงจรสร้างพัลส์จูนนวนใช้ไอซีเบอร์ 74LS221 วงจรขับสัญญาณพัลส์ใช้ไอซีเบอร์ ULN2003 , การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกใช้ไอซีเบอร์ MC1408 , SCR ใช้ในการควบคุมพลังงานเข้ามอเตอร์ , PT. เป็นหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าต่ำลง และแยกกราวด์ (Ground) ไฟฟ้าของชุดกำลังไฟฟ้าออกจากชุดควบคุม ,ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้าใช้ CT ในการตรวจจับสัญญาณกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง , LPF. (Low pass filter) ทำหน้าที่กรองสัญญาณกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำ ให้ผ่านเฉพาะในส่วนที่เป็นสัญญาณที่มีความถี่หลัก [50Hz] เท่านั้น , ตัวแปลงสัญญาณไซน์เป็นพัลส์ (Sine to pulse) ทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นไซน์ให้เป็นคลื่นพัลส์ เพื่อป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์อื่นๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของส่วนต่างๆ

ภาพที่ 25



แสดงวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดส่วนวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน และกระแส

U1 และ U2 เป็น IC เบอร์ 741 ต่อใช้งานเป็นแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) เพื่อกรองสัญญาณแรงดันและกระแส

U3 เป็น IC เบอร์ LM393 ใช้แปลงสัญญาณไซน์เป็นสัญญาณพัลส์

U4 เป็น IC เบอร์ 7404 ใช้กลับเฟสสัญญาณของแรงดันไป 180 องศา

U5 เป็น IC เบอร์ 7408 ใช้หาสัญญาณมุมล่าหลัง (Lagging angle)

C5 เป็น คาปาซิเตอร์ ใช้กรองสัญญาณกระแสก่อนเข้าสู่วงจร Low pass filter

Z1,Z2, และ Z3 เป็น ซีเนอร์ไดโอด ใช้ขลิบสัญญาณของแรงดันและกระแสไม่ให้เกิน

Limit

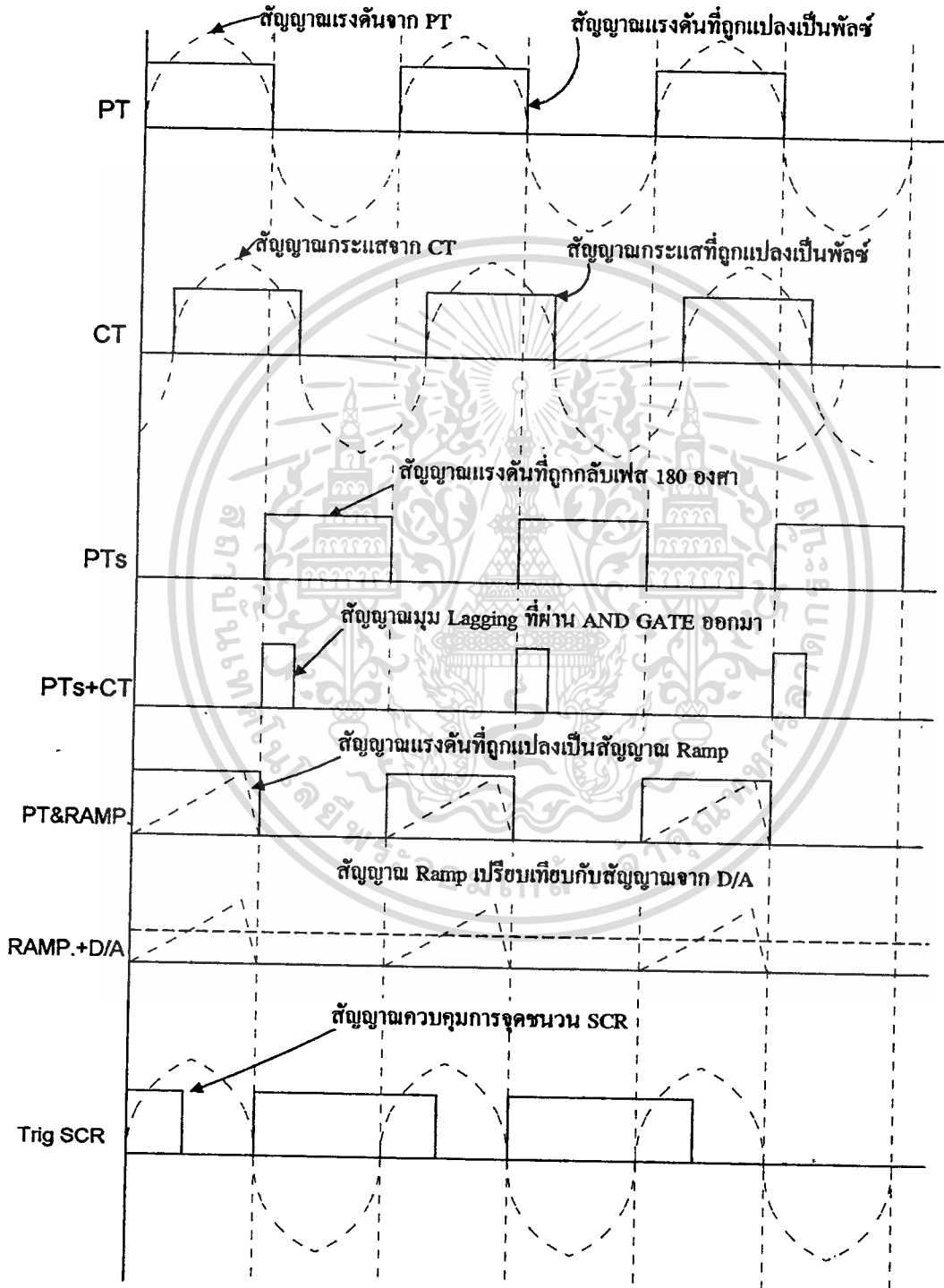
D1 และ D2 เป็น ไดโอด ต่อไว้เป็นแรงดันอ้างอิงประมาณ 0.7 โวลต์

Current source ใช้ IC เบอร์ LM334Z ในการสร้างสัญญาณ Ramp

U6 เป็น IC เบอร์ LM393 ใช้แปลงสัญญาณไซน์เป็นพัลส์เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมมุม
จุดขบวน

D/A เป็น IC เบอร์ MC1408 แปลงสัญญาณดิจิทัลจากไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น
สัญญาณอะนาล็อก

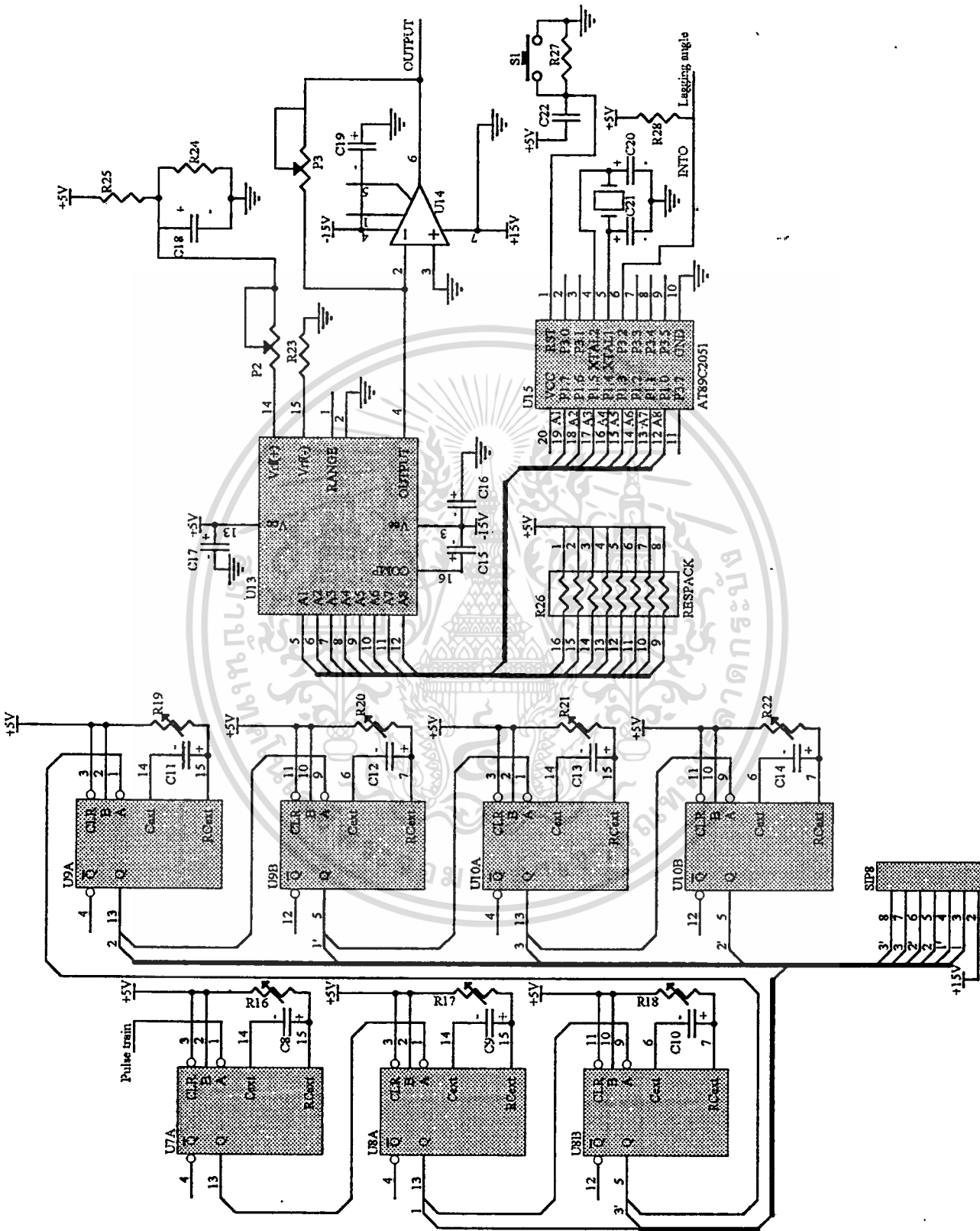
ภาพที่ 26



แสดงสัญญาณในส่วนต่างๆ ของวงจรควบคุมอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงวงจรส่วนควบคุมและสร้างพัลส์ขั้วคานวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดวงจรส่วนควบคุมและสร้างพัลส์จุดชนวน

U7A เป็น IC เบอร์ 74LS221 ใช้สร้างสัญญาณพัลส์ที่เสถียรสำหรับโหลดที่เป็นอินดักทีฟโหลดของมอเตอร์

U8 , U9 , และ U10 เป็น IC เบอร์ 74LS221 ใช้สร้างพัลส์จุดชนวนทั้ง 6 พัลส์ โดยปรับความกว้างของแต่ละพัลส์ให้ได้ 3.3 Ms

U13 เป็น IC เบอร์ MC1408 ใช้แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาล็อก

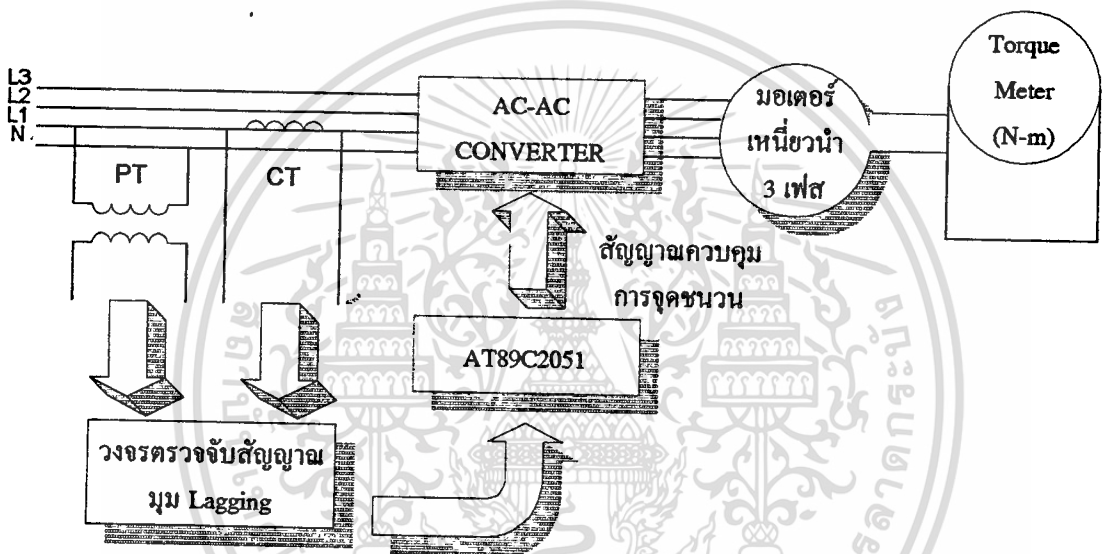
U14 เป็น IC เบอร์ 741 ใช้ขยายสัญญาณแบบกลับเฟสที่ออกจาก D/A ไปยัง IC เบอร์ LM393 เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณ Ramp

U15 เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89C2051 ใช้ Crystal 11.059 MHz ในการทำงาน โดยมีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาทางขา P3.2 INTO

บทที่ 6

ผลการทดลอง

ภาพที่ 28

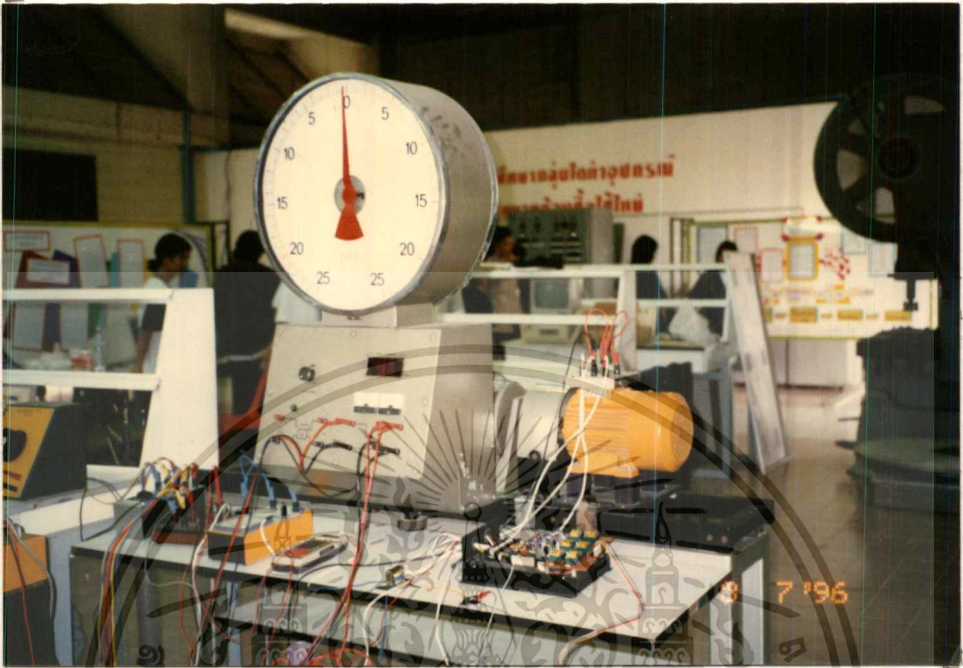


แสดงภาพที่ใช้ทดลองอุปกรณ์ควบคุมพลังงานกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ในการทดลองได้นำอุปกรณ์ควบคุมพลังงานมาใช้ควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 1.5 Kw และเริ่มเดินมอเตอร์ทำการเปรียบเทียบค่าของพลังงานที่เข้ามอเตอร์ขณะที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน และมีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เพื่อศึกษาว่าอุปกรณ์นี้จะช่วยประหยัดพลังงานในช่วง ไม่มีโหลด (No load) หรือโหลดต่ำ (Light load) ได้เป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับขณะที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน โดยให้มอเตอร์จ่ายโหลดเท่ากับ 12 โหลด และมอเตอร์ขนาด 1.5 Kw นี้ต่อร่วมกับ (Coupling) เครื่องวัดแรงบิด (Torque meter) ทำการบันทึกค่า แรงดัน, กระแส และกำลังงานอินพุทของมอเตอร์ โดยทำการบันทึกค่าไปทุกโหลดได้ผลการทดลองออกมา ดังแสดงในตารางที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนรูปผลการทดลองที่แสดงให้เห็น ได้มาจากภาพถ่ายจาก ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

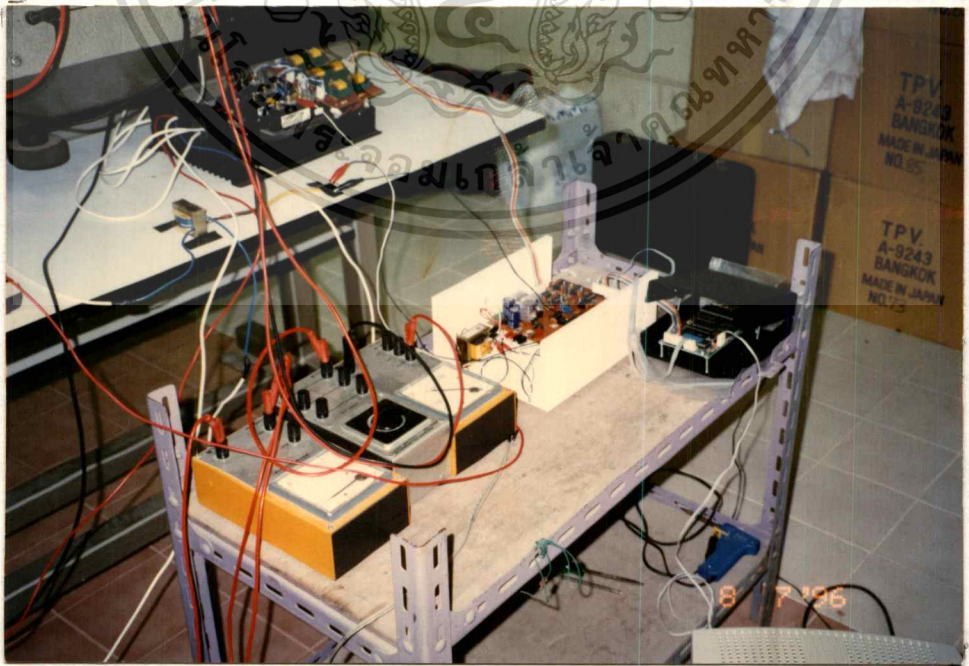
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 29



แสดง TORQUE METER ใช้วัดแรงบิดมอเตอร์

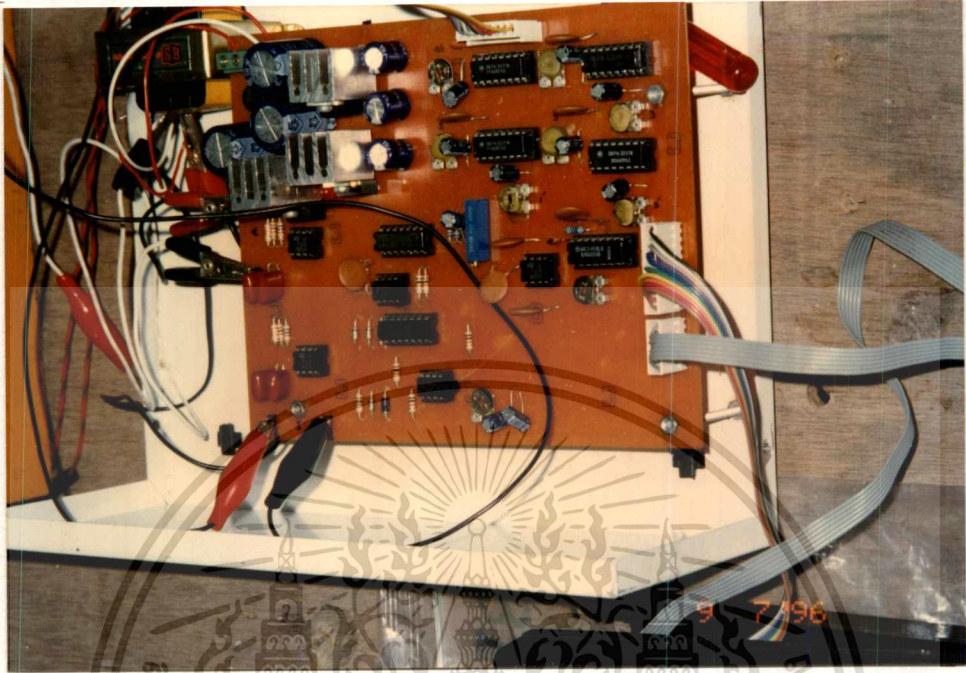
ภาพที่ 30



แสดงอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน นำมาแสดงในงานนิทรรศการของลาดกระบัง

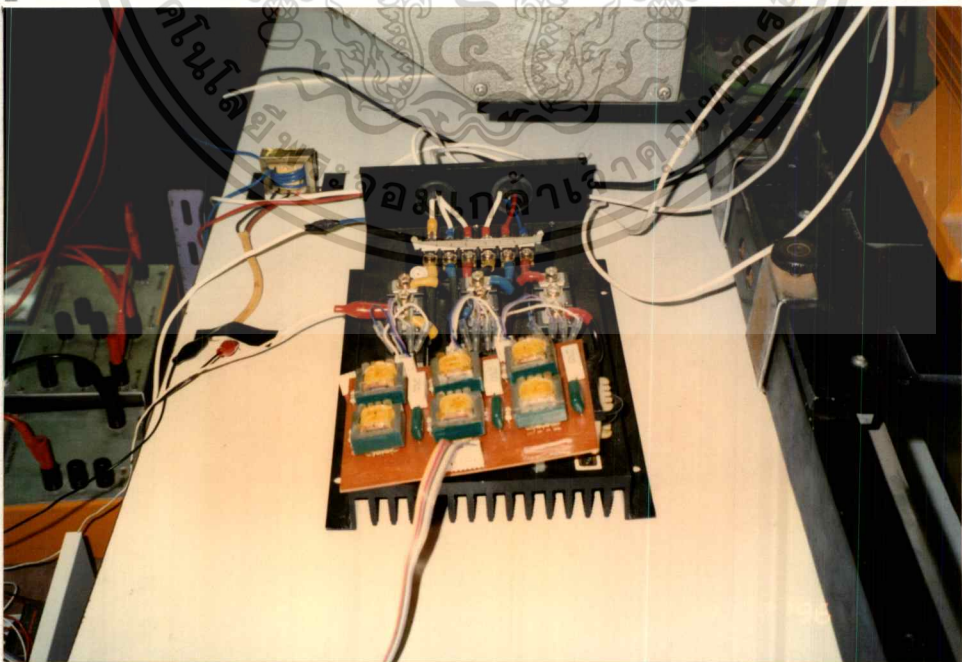
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 31



แสดงส่วนควบคุมอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

ภาพที่ 32



แสดงส่วนจุดชนวน SCR อุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

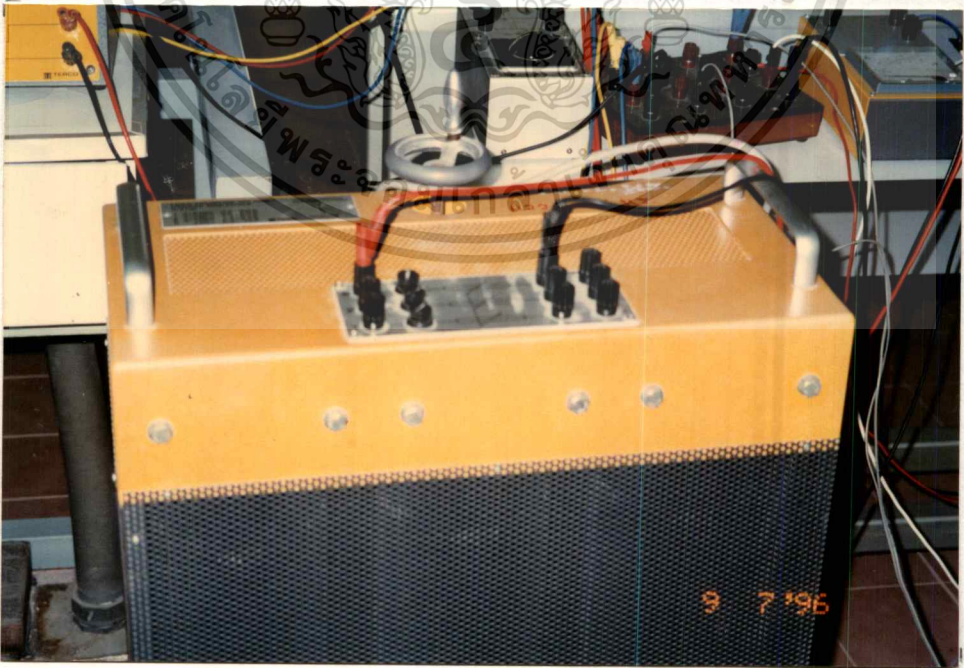
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 33



แสดงมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 1,500 W ที่ใช้ในการทดลอง

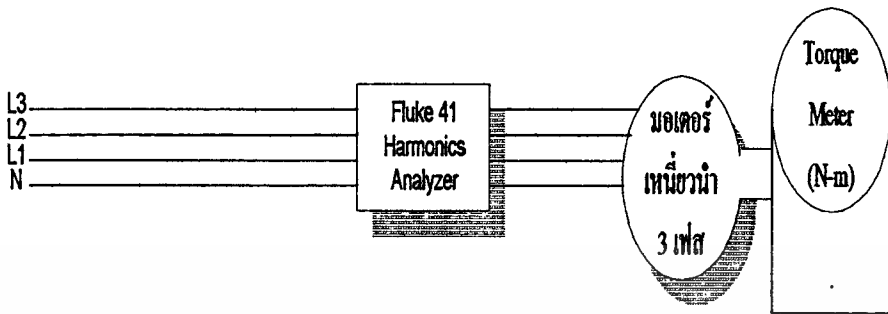
ภาพที่ 34



แสดงโหลดความต้านทานที่ใช้ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 35



แสดงการต่อเครื่องมือวัด Harmonics Analyzer กับ มอเตอร์

ตารางที่ 1

ขณะมอเตอร์ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

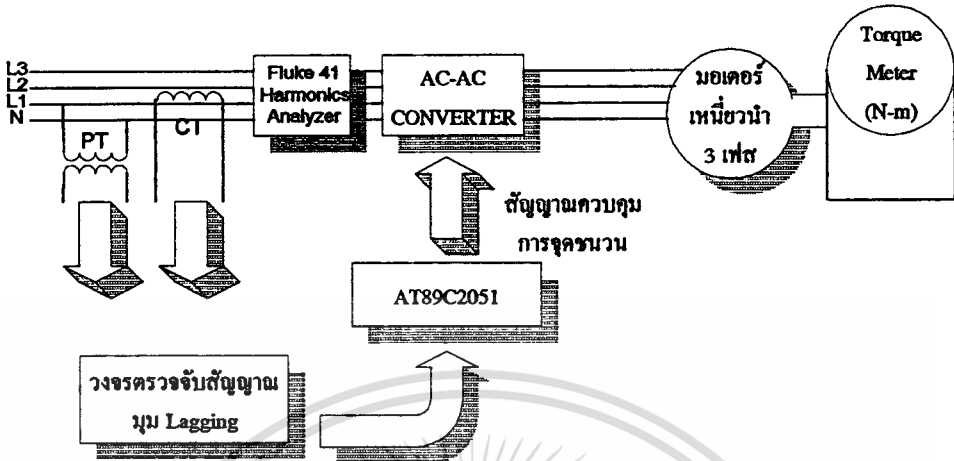
Torque meter (N-m)	กำลังงาน O/P ของ มอเตอร์ (W)	แรงดัน เฟส A ของขด Stator ของ มอเตอร์ (V)	กระแส เฟส A ของขด Stator ของ มอเตอร์ (A)	กำลัง งาน LP ของ มอเตอร์ 3 เฟส (W)	ความ เร็ว โรเตอร์ ของ มอเตอร์ (RPM)	ประ ทิทธิ ภาพ ของ มอเตอร์ 3 เฟส (%)	ค่านพ า เวย์ร์ แพค เคอร์ ของ มอเตอร์ 3 เฟส	กำลังไฟฟ้า เติมของ มอเตอร์ 3 เฟส (VAR)	กำลังไฟฟ้า ปรากฏของ มอเตอร์ 3 เฟส (VA)
0	0	221	2.36	270	1493	0	0.17	1530	1560
1	155.91	221	2.34	390	1489	39.90	0.25	1470	1560
1.5	233.40	221	2.33	450	1486	51.80	0.30	1440	1530
2.0	310.36	220	2.35	540	1482	57.47	0.35	1440	1560
2.5	386.91	220	2.37	630	1478	61.41	0.40	1410	1560
3.0	463.03	220	2.39	720	1474	64.30	0.45	1380	1590
3.5	539.10	220	2.45	810	1471	66.55	0.50	1380	1620
4.0	614.45	219	2.50	900	1467	68.27	0.54	1380	1650
4.5	689.37	219	2.56	990	1463	69.63	0.58	1350	1680
5.0	763.87	219	2.63	1080	1459	70.72	0.62	1350	1740
6.0	910.36	219	2.79	1260	1449	72.25	0.68	1320	1830
7.0	1056.96	218	2.98	1440	1442	73.40	0.73	1320	1950

ข้อมูลที่ได้ในตารางใช้เครื่องมือวัด FLUKE 41 Harmonics Analyzer ในการวัดถือว่า 3 เฟส

สมดุลกันทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 36



แสดงการต่อเครื่องมือวัด Harmonics Analyzer กับ M.E.C.

ตารางที่ 2

ขณะมอเตอร์มีอุปกรณควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัดก่อน M.E.C.

Torque meter (N-m)	กำลังงาน O/P ของ มอเตอร์ (W)	แรงดัน เฟส A ของขด Stator ของ มอเตอร์ (V)	กระแส เฟส A ของขด Stator ของ มอเตอร์ (A)	กำลัง งาน I/P ของ มอเตอร์ 3 เฟส รวม M.E.C. (W)	ความ เร็ว โรเตอร์ ของ มอเตอร์ (RPM)	ประ สติทธิ ภาพ ของ มอเตอร์ 3 เฟส รวม M.E.C. (%)	ค่าเพา เวย์ร์ แก็ค ของ มอเตอร์ 3 เฟส	กำลังไฟฟ้า เสริมของ มอเตอร์ 3 เฟส (VAR)	กำลังไฟฟ้า ปรากฏของ มอเตอร์ 3 เฟส (VA)
0	0	220	0.81	96	1467	0	0.18	309	534
1	151.83	220	1.29	240	1450	63.26	0.27	540	870
1.5	226.80	220	1.63	360	1444	63.00	0.34	720	1080
2.0	302.40	219	1.77	450	1444	67.20	0.40	780	1170
2.5	377.74	219	1.90	540	1443	69.95	0.43	870	1260
3.0	454.86	220	2.11	660	1448	68.91	0.48	990	1380
3.5	531.41	219	2.16	750	1450	70.85	0.53	1020	1410
4.0	609.00	219	2.35	870	1454	70.00	0.57	1140	1530
4.5	683.71	219	2.52	990	1451	69.06	0.60	1230	1650
5.0	755.49	219	2.66	1110	1443	68.06	0.63	1290	1740
6.0	908.48	220	3.03	1350	1446	67.29	0.68	1440	2010
7.0	1054.03	221	3.30	1590	1438	66.29	0.72	1470	2190

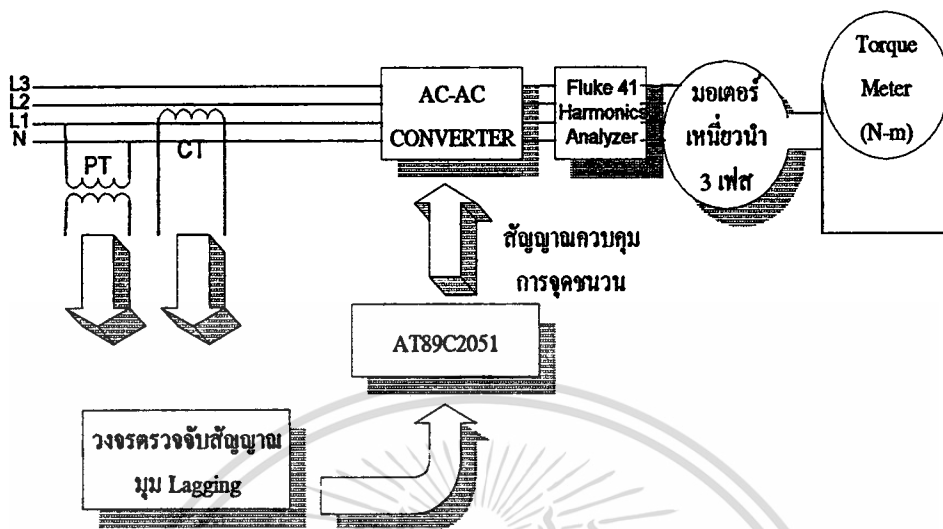
ข้อมูลที่ได้ในตารางใช้เครื่องมือวัด FLUKE 41 Harmonics Analyzer ในการวัดถือว่า 3 เฟส

สมดุลย์กันทุกประการ (M.E.C. หมายถึงอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 37



แสดงการต่อเครื่องมือวัด Harmonics Analyzer กับ M.E.C.

ตารางที่ 3

ขณะมอเตอร์มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัดต่อหลัง M.E.C.

Torque meter (N-m)	กำลังงาน O/P ของ มอเตอร์ (W)	แรงดัน เฟส A ของขด Stator ของ มอเตอร์ (V)	กระแส เฟส A ของขด Stator ของ มอเตอร์ (A)	กำลังงาน I/P ของ มอเตอร์ 3 เฟส (W)	ความเร็ว ไรเตอร์ ของ มอเตอร์ (RPM)	ประสิทธิภาพ ของ มอเตอร์ 3 เฟส (%)	ค่านาเวอร์ แพ็ค เคอร์ ของ มอเตอร์ 3 เฟส	กำลังไฟฟ้า เติมน ของ มอเตอร์ 3 เฟส (VAR)	กำลังไฟฟ้า ปรากฏของ มอเตอร์ 3 เฟส (VA)
0	0	63	0.76	66	1468	0	0.46	54	141
1	151.83	92	1.27	210	1450	72.3	0.58	150	360
1.5	226.96	108	1.54	300	1445	75.65	0.62	210	480
2.0	302.40	123	1.80	420	1444	72.00	0.64	300	660
2.5	377.74	139	1.94	510	1443	74.06	0.64	420	810
3.0	453.29	155	2.13	630	1449	71.95	0.64	540	990
3.5	531.41	172	2.35	780	1450	68.12	0.65	750	1200
4.0	609.00	187	2.35	870	1454	70.00	0.65	900	1320
4.5	683.71	188	2.47	930	1451	73.51	0.67	900	1410
5.0	755.49	191	2.65	1050	1443	71.95	0.70	990	1530
6.0	908.48	215	3.03	1350	1446	67.29	0.70	1380	1950
7.0	1054.03	218	3.33	1590	1438	66.29	0.74	1470	2190

ข้อมูลที่ได้ในตารางใช้เครื่องมือวัด FLUKE 41 Harmonics Analyzer ในการวัดถือว่า 3 เฟส

สมมูลย์กันทุกประการ (M.E.C. หมายถึงอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ขอสงวนสิทธิ์ในนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	49.9	RMS	220	0.81	V RMS		
Power		Peak	309	1.82	A RMS		
Watts	32	DC Offset	0	0.03	V Peak		
VA	178	Crest	1.41	2.24	A Peak		
Vars	103	THD Rms	1.0	79.3	V THD-R%		
Peak W	294	THD Fund	1.0	130.3	A THD-R%		
Phase	72° lag	HRMS	2	0.64	Watts		
Total PF	0.18	KFactor		11.8	Volt * Amps		
DPF	0.31				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (W)
DC	0.0	0	0.1	.0	0.03	3.5	0	0
1	49.9	220	100.1	0	0.49	62.9	-72	34
2	99.9	0	0.2	158	0.33	41.9	-59	0
3	149.8	1	0.5	136	0.38	47.9	-49	-1
4	199.7	0	0.2	117	0.23	29.3	-27	0
5	249.7	2	0.8	-166	0.26	33.4	-22	-1
6	299.6	0	0.0	-71	0.12	15.2	8	0
7	349.5	0	0.1	12	0.13	16.6	5	0
8	399.5	0	0.0	-85	0.04	4.9	86	0
9	449.4	0	0.1	172	0.03	3.3	22	0
10	499.4	0	0.1	18	0.05	6.3	-167	0
11	549.3	0	0.2	-68	0.02	2.5	-99	0
12	599.2	0	0.0	124	0.05	6.9	-128	0
13	649.2	0	0.0	18	0.03	3.3	-76	0
14	699.1	0	0.0	108	0.03	3.9	-95	0
15	749.0	0	0.0	142	0.01	1.4	-14	0
16	799.0	0	0.0	-180	0.00	0.1	-30	0
17	848.9	0	0.1	-72	0.01	1.8	118	0
18	898.8	0	0.0	8	0.02	2.0	134	0
19	948.8	0	0.0	44	0.01	1.8	162	0
20	998.7	0	0.0	61	0.01	1.8	151	0
21	1048.6	0	0.0	111	0.01	1.3	-154	0
22	1098.6	0	0.0	-131	0.00	0.5	134	0
23	1148.5	0	0.0	169	0.01	0.7	-34	0
24	1198.5	0	0.0	98	0.01	1.1	62	0
25	1248.4	0	0.0	-35	0.01	1.4	18	0
26	1298.3	0	0.0	16	0.01	1.3	85	0
27	1348.3	0	0.0	-26	0.01	1.0	49	0
28	1398.2	0	0.0	-114	0.00	0.6	121	0
29	1448.1	0	0.0	41	0.00	0.2	0	0
30	1498.1	0	0.0	48	0.00	0.5	-81	0
31	1548.0	0	0.0	-58	0.01	0.9	-58	0

ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัด FLUKE 41 Harmonics Analyzer

จากข้อมูลเป็นการต่อเครื่องมือวัดก่อน M.E.C. ขณะมอเตอร์อยู่ที่สภาวะ No-Load

(ตารางที่ ๒ หน้า ๖๐)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์

จากตัวอย่าง หน้าที่ 62 เป็นข้อมูลซึ่งได้มาจากเครื่องมือวัด FLUKE 41 Power Harmonics Analyzer ขณะที่ มอเตอร์มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน (M.E.C.) ขณะ No-Load และต่อเครื่องมือวัดก่อน M.E.C (ข้อมูลส่วนที่เหลือของแต่ละโพลคืออยู่ที่ ภาคผนวก ข. ทั้งหมด) เครื่องมือวัดต่อก่อน M.E.C.

$$P.F = \frac{I_{s1}}{I_s} \times DPF$$

ข้อมูลที่อ่านได้จาก FLUKE 41 แทนค่า $I_{s1} = 0.49$

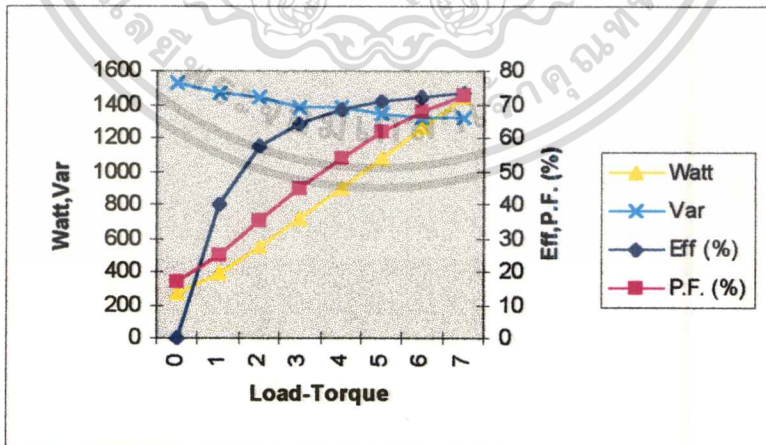
$I_s = 0.81$

$DPF = 0.31$

$$P.F. = \frac{0.49}{0.81} \times 0.31$$

$$P.F. = 0.18 \quad (\text{ตรงกับข้อมูลในตารางที่ ๒})$$

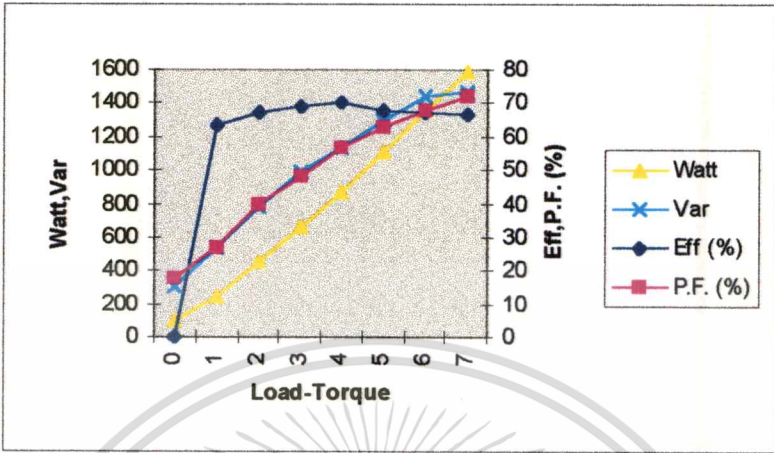
ภาพที่ 38



แสดงกราฟคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากผลการทดลอง
ขณะที่ไม่มี M.E.C.

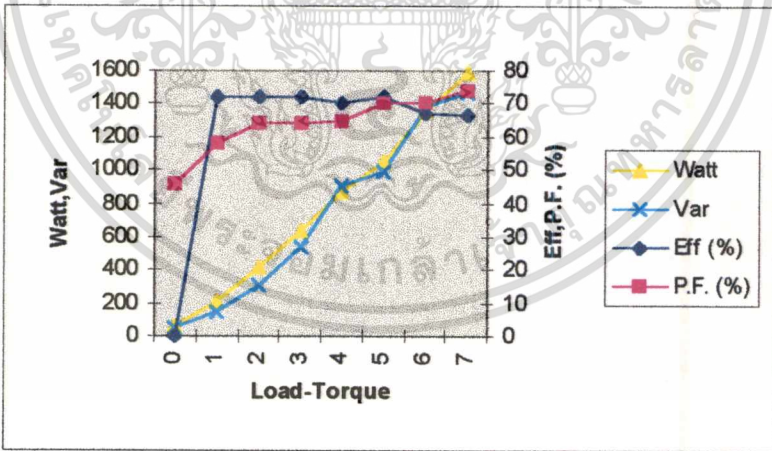
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 39



แสดงกราฟคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากผลการทดลอง
 ขณะที่มี M.E.C. และต่อเครื่องมือวัดก่อน M.E.C.

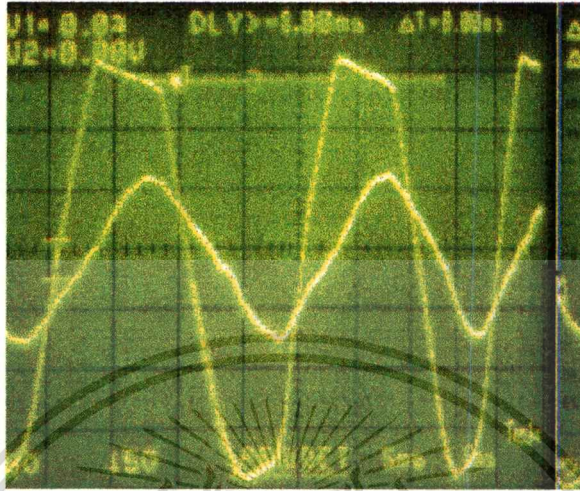
ภาพที่ 40



แสดงกราฟคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากผลการทดลอง
 ขณะที่มี M.E.C. และต่อเครื่องมือวัดหลัง M.E.C.

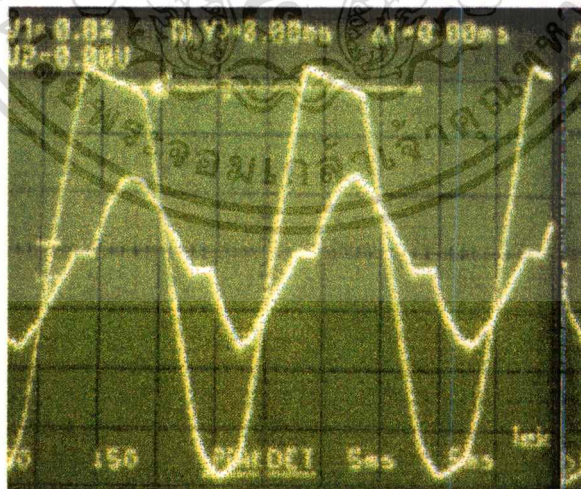
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 41



แสดงสัญญาณแรงดัน (นำหน้า) เทียบกับกระแส (ล่าหลัง) ขณะโหลด 7 N-m
ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

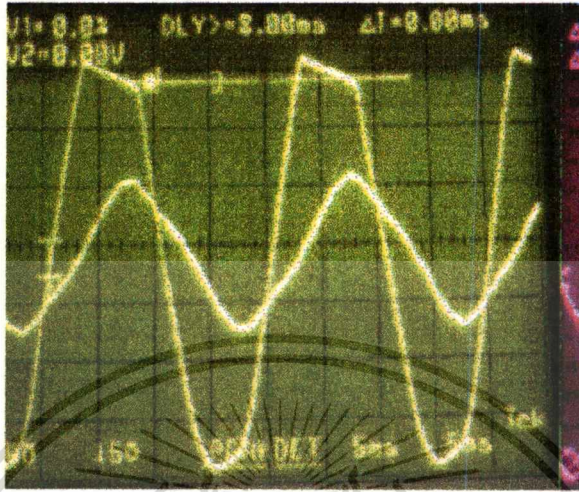
ภาพที่ 42



แสดงสัญญาณแรงดัน (นำหน้า) เทียบกับกระแส (ล่าหลัง) ขณะโหลด 7 N-m
มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

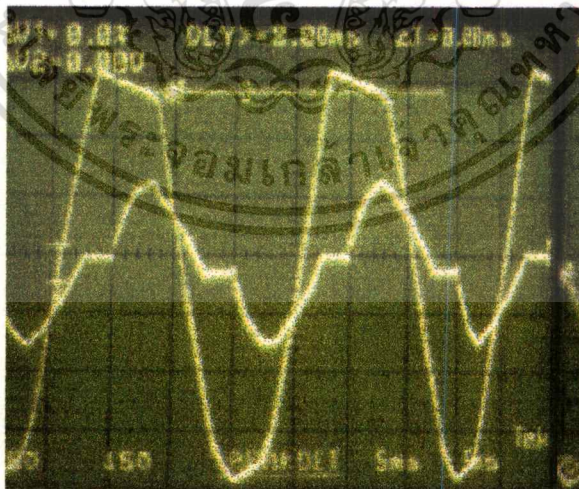
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 43



แสดงสัญญาณแรงดัน (นำหน้า) เทียบกับกระแส (ล่าหลัง) ขณะโหลด 6 N-m
ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

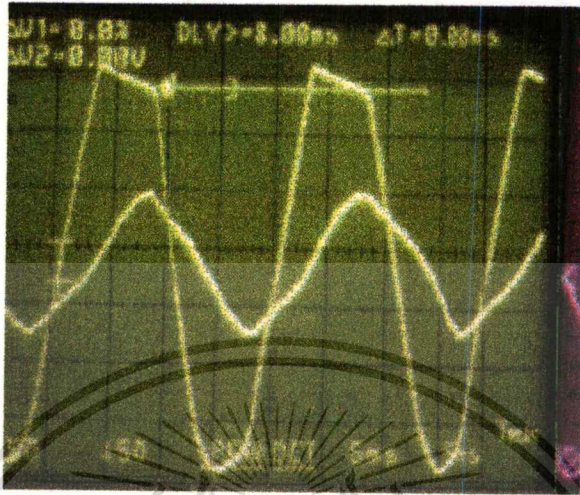
ภาพที่ 44



แสดงสัญญาณแรงดัน (นำหน้า) เทียบกับกระแส (ล่าหลัง) ขณะโหลด 6 N-m
มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

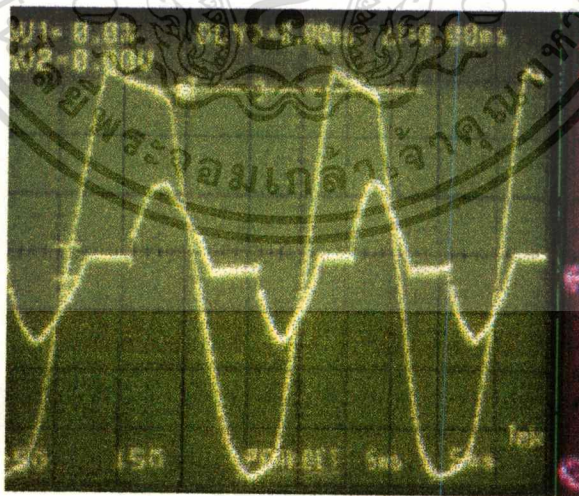
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 45



แสดงสัญญาณแรงดัน (นำหน้า) เทียบกับกระแส (ล่าหลัง) ขณะโหลด 5 N-m
ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

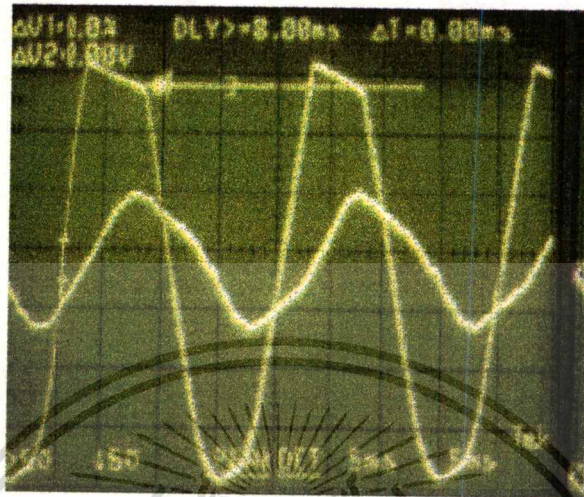
ภาพที่ 46



แสดงสัญญาณแรงดัน (นำหน้า) เทียบกับกระแส (ล่าหลัง) ขณะโหลด 5 N-m
มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

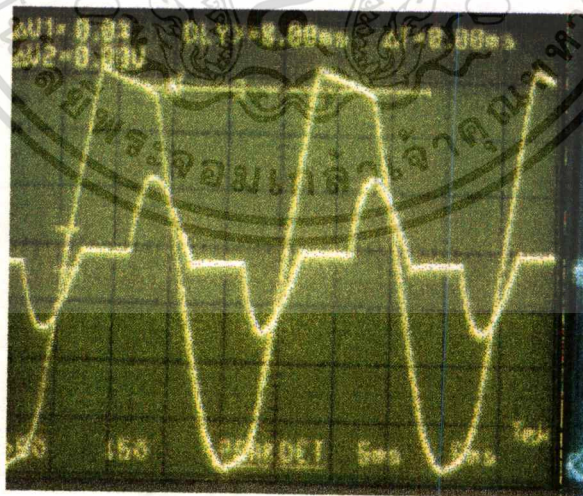
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 47



แสดงสัญญาณแรงดัน (น้ำหนัก) เทียบกับกระแส (ลำหลัง) ขณะโหลด 4 N-m
ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

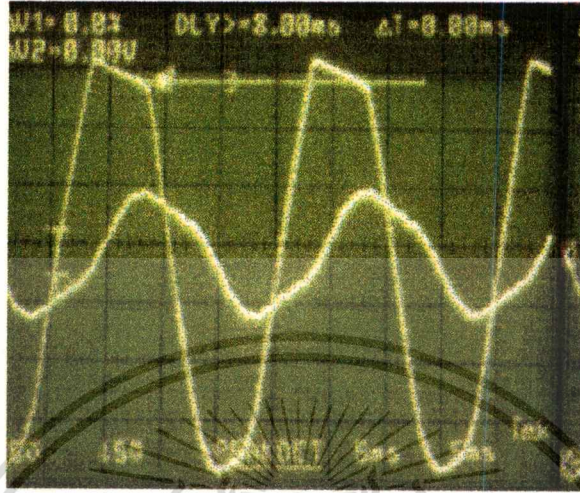
ภาพที่ 48



แสดงสัญญาณแรงดัน (น้ำหนัก) เทียบกับกระแส (ลำหลัง) ขณะโหลด 4 N-m
มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

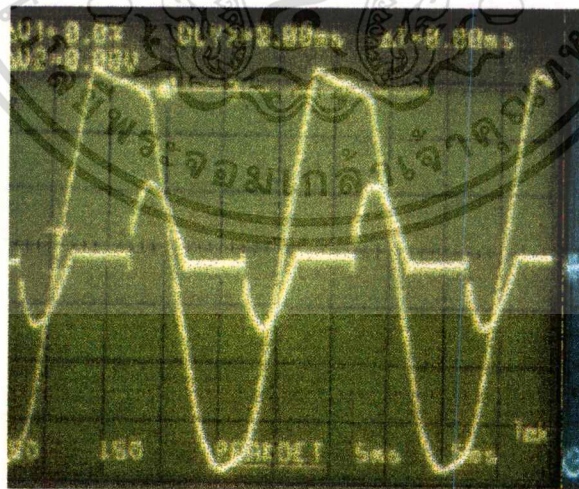
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 49



แสดงสัญญาณแรงดัน (น้ำหนัก) เทียบกับกระแส (ลำหลัง) ขณะโหลด 3 N-m
ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

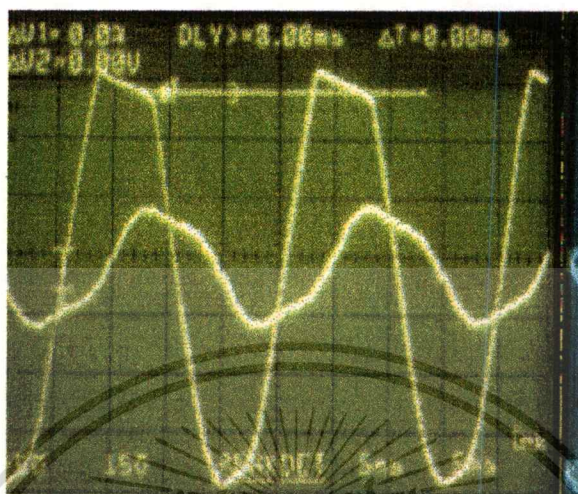
ภาพที่ 50



แสดงสัญญาณแรงดัน (น้ำหนัก) เทียบกับกระแส (ลำหลัง) ขณะโหลด 3 N-m
มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

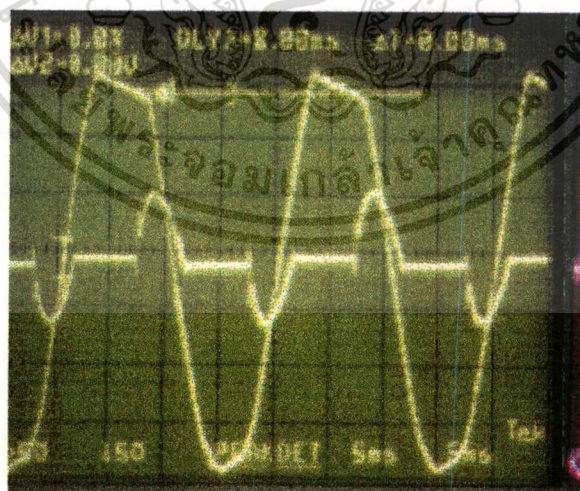
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 51



แสดงสัญญาณแรงดัน (นำหน้า) เทียบกับกระแส (ล่าหลัง) ขณะโหลด 2 N-m
ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

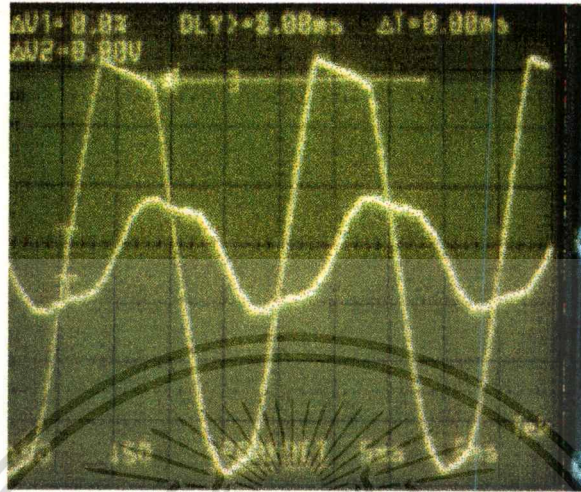
ภาพที่ 52



แสดงสัญญาณแรงดันเทียบ (นำหน้า) กับกระแส (ล่าหลัง) ขณะโหลด 2 N-m
มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

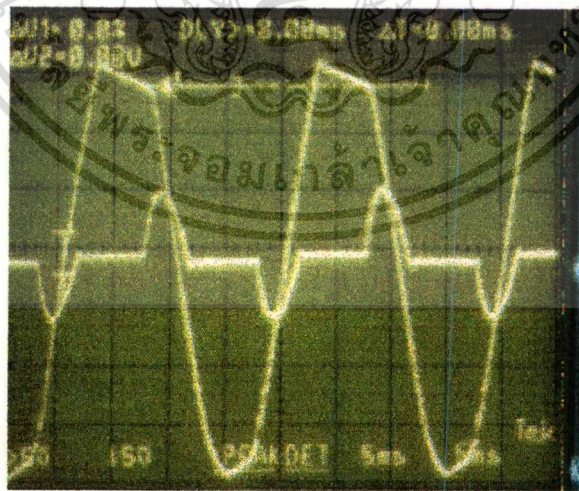
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 53



แสดงสัญญาณแรงดัน (นำหน้า) เทียบกับกระแส (ล่าหลัง) ขณะโหลด 1 N-m
ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

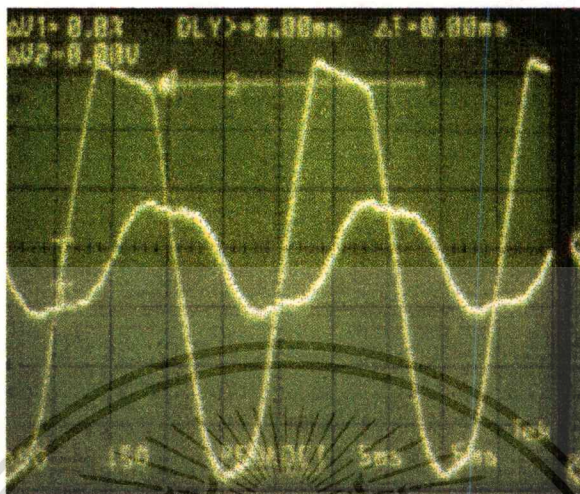
ภาพที่ 54



แสดงสัญญาณแรงดัน (นำหน้า) เทียบกับกระแส (ล่าหลัง) ขณะโหลด 1 N-m
มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

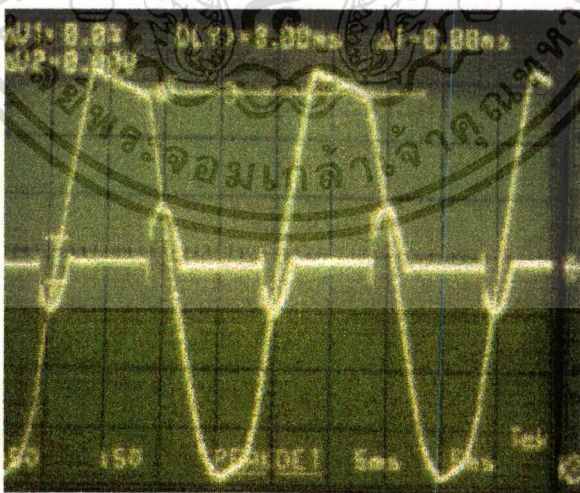
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 55



แสดงสัญญาณแรงดัน (นำหน้า) เทียบกับกระแส (ล่าหลัง) ขณะ No load
ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5 ms]

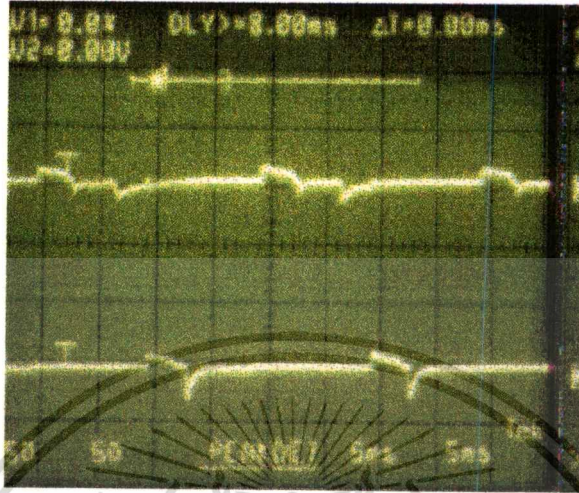
ภาพที่ 56



แสดงสัญญาณแรงดัน (นำหน้า) เทียบกับกระแส (ล่าหลัง) ขณะ No load
มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน [5 V/div, 5ms]

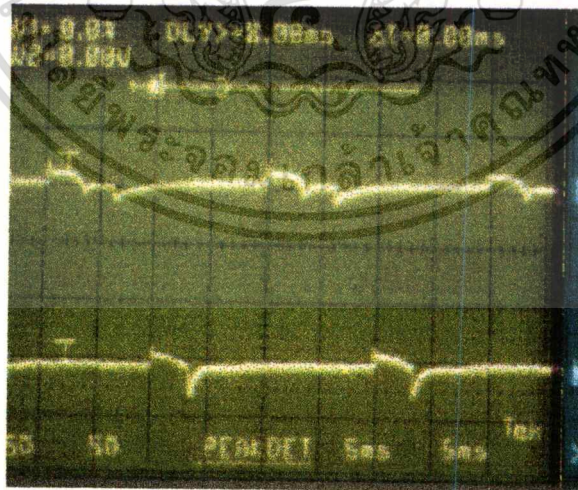
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 57



แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 (บน) เทียบกับ G2K2 (ล่าง)
ขณะโหลด 7 N-m [5 V/div, 5 ms]

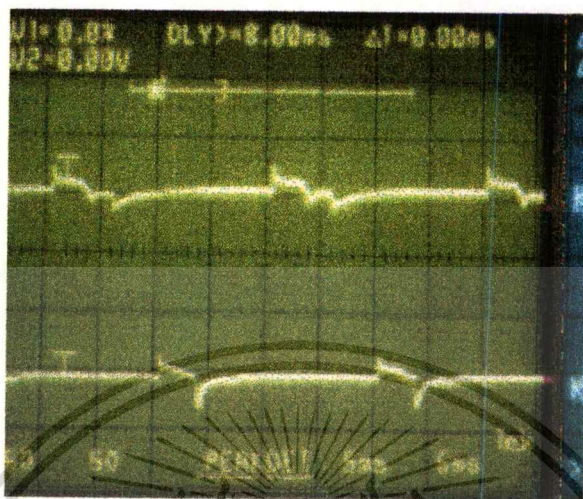
ภาพที่ 58



แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 (บน) เทียบกับ G2K2 (ล่าง)
ขณะโหลด 6 N-m [5 V/div, 5 ms]

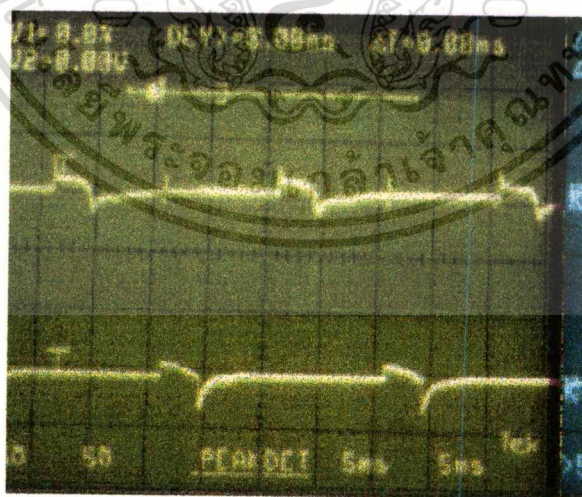
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 59



แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 (บน) เทียบกับ G2K2 (ล่าง)
 ขณะโหลด 5 N-m [5 V/div, 5 ms]

ภาพที่ 60



แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 (บน) เทียบกับ G2K2 (ล่าง)
 ขณะโหลด 4 N-m [5 V/div, 5 ms]

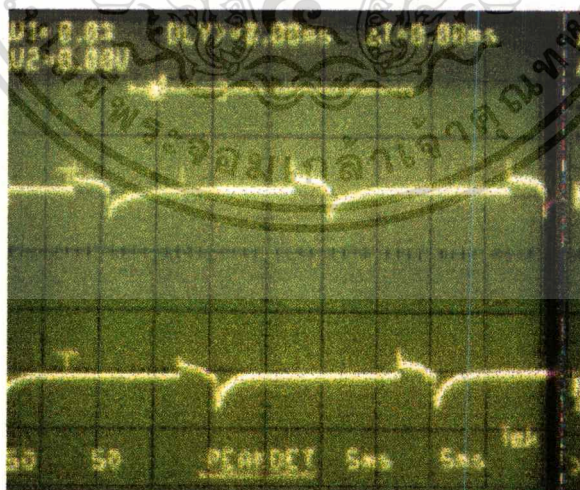
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 61



แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 (บน) เทียบกับ G2K2 (ล่าง)
ขณะโหลด 3 N-m [5 V/div, 5 ms]

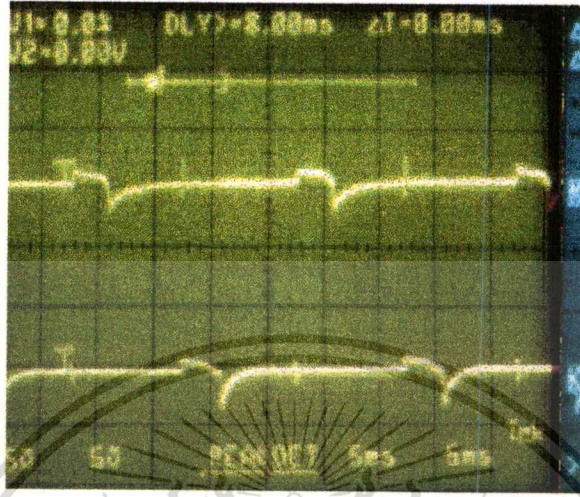
ภาพที่ 62



แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 (บน) เทียบกับ G2K2 (ล่าง)
ขณะโหลด 2 N-m [5 V/div, 5 ms]

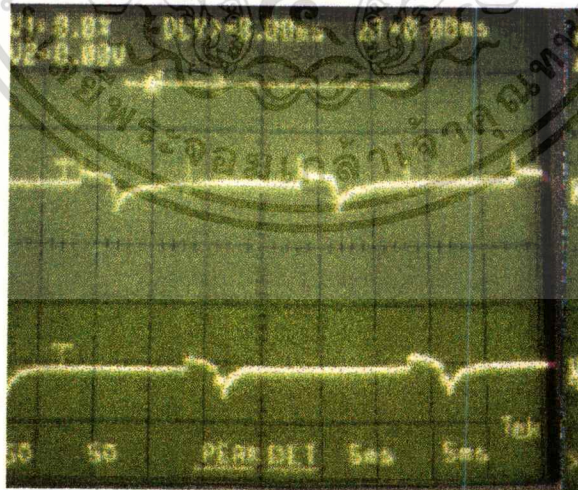
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 63



แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 (บน) เทียบกับ G2K2 (ล่าง)
 ขณะโหลด 1 N-m [5 V/div, 5 ms]

ภาพที่ 64



แสดงสัญญาณจุดชนวน G1K1 (บน) เทียบกับ G2K2 (ล่าง)
 ขณะ No-load [5 V/div, 5 ms]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุง ประสิทธิภาพและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยใช้หลักการของการลดแรงดันด้วยวิธีควบคุมมุมจุดชนวน SCR ที่ป้อนให้กับขดเสเตอร์ของมอเตอร์ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมสัญญาณจุดชนวน SCR โดยมีเงื่อนไขคือให้มอเตอร์ทำงานที่มุมล่าหลัง (Lagging Angle) ต่ำสุดในแต่ละโหลดของมอเตอร์ กล่าวคือเมื่อลดแรงดันลงสัญญาณของมุมล่าหลังจะแคบลงจนกระทั่งมอเตอร์เกิดการ Over Load สัญญาณของมุมล่าหลังจะขยายออก เนื่องจากมอเตอร์เสียความสมดุลย์ทางพลังงานเป็นผลให้มอเตอร์มีกระแสสูงกว่าปกติ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมให้มอเตอร์กลับไปทำงานตรงจุดที่มุมล่าหลังต่ำที่สุด ซึ่งตรงจุดนี้ถือว่าเป็นจุดที่มอเตอร์ได้รับพลังงานที่เหมาะสมกับโหลดที่มอเตอร์ขับอยู่ โดยที่มอเตอร์สามารถจ่ายกำลังเข้าพุทได้เท่าเดิมแต่พลังงานที่ป้อนเข้ามีค่าลดลง สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก เบอร์ AT89C2051 มีหน่วยความจำแบบแฟลชภายในขนาด 2 กิโลไบต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์มีความสำคัญมากในงานวิจัยนี้ เนื่องจากจะต้องตรวจสอบความกว้างของสัญญาณมุมล่าหลังตลอดเวลา และโปรแกรมที่เขียนต้องฉลาดพอที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทราบว่าเป็นสัญญาณมุมล่าหลังจริงๆ ไม่ใช่สัญญาณรบกวน ซึ่งตรงจุดนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะช่วยให้การออกแบบวงจรง่ายขึ้นไม่ยุ่งยากทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้สูง มีความเร็วต่อการตอบสนองมอเตอร์ที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงและราคาค่อนข้างถูก

จากผลการทดลองอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน ได้ทำการบันทึกค่า กำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่โหลดต่างกัน 12 ค่า โดยแบ่งออกเป็น 3 ตาราง ตารางที่ 1 เป็นผลการทดลองขณะที่มอเตอร์ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน, ตารางที่ 2 เป็นผลการทดลองขณะที่มอเตอร์มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน และต่อเครื่องมီโวลต์ก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน ส่วน ตารางที่ 3 เป็นผลการทดลองขณะที่มอเตอร์มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน และต่อเครื่องมီโวลต์หลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองทั้ง 3 ตาราง แสดงให้เห็นว่าหลักการนี้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้งาน ได้จริง และสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพ และค่าเพาเวอร์-แฟกเตอร์ของมอเตอร์ในขณะที่มอเตอร์ทำงานที่โหลดต่ำ หรือไม่มีโหลด (ภาพที่ 67,68) เมื่อมีการควบคุมแรงดันด้านเข้าโดยวิธีการควบคุมเฟส โดยอาศัยเงื่อนไขที่เหมาะสมคือการควบคุมให้มอเตอร์ทำงานที่มุมล้าหลังต่ำที่สุดในแต่ละโหลดของมอเตอร์ แต่ในกรณีที่โหลดมีค่าสูงจะไม่มีประโยชน์ เนื่องจากเมื่อป้อนแรงดันใกล้เคียงที่พิกัดของมอเตอร์แล้วที่ชุด AC-AC Converter ซึ่งมีประสิทธิภาพประมาณ 90% จะมีความสูญเสียอยู่ทำให้เมื่อป้อนแรงดันใกล้เคียงกับที่พิกัด กำลังงานอินพุท (VA) โดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน (ดูตารางที่ 1 เปรียบเทียบกับตารางที่ 2,3 ขณะโหลด 6, 7 N-m ทำให้ประสิทธิภาพเดิม 70% ตกลงมาที่ 65%)

นอกจากนั้นผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์นี้ทำให้ค่ากำลังงานไฟฟ้าเสมือน (Var) ลดลงไปมากในขณะที่มอเตอร์อยู่ในสถานะไม่มีโหลด (No load) หรือโหลดน้อย (Light load) เมื่อเทียบกับขณะที่มอเตอร์ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน ซึ่งจะเป็ประโยชน์สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะช่วยให้รายจ่ายค่าไฟฟ้าลดลง

2. อุปกรณ์ควบคุมพลังงานนี้ควบคุมแรงดันด้านเข้าของมอเตอร์ เพื่อให้พลังงานที่ป้อนให้กับมอเตอร์เพียงพอต่อการทำงานของมอเตอร์ไม่มากจนเกินไป ดังนั้นความสูญเสียเดิมในส่วนของวงจรขานของวงจรสมมูล ซึ่งเดิมจะเป็นความสูญเสียที่คงที่ที่สเตเตอร์ จะไม่ใช่ความสูญเสียที่คงที่อีกต่อไปโดยจะเปลี่ยนแปลงตามโหลดที่มอเตอร์ต้องการขับ ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ ในตารางที่ 1 เปรียบเทียบกับ ตารางที่ 2 และ 3 ในขณะไม่มีโหลด หรือโหลดน้อย จะลดลงไปมาก และการที่มอเตอร์ใช้กระแสต่ำในการทำงานจะมีผลให้ความร้อนที่เกิดจาก I^2R นั้นมีค่าลดลง ซึ่งจะมีผลต่อการลดค่าใช้จ่าย เช่น ขนาดของสายไฟที่ใช้มีขนาดเล็กลง หรือ สามารถเพิ่มโหลดเข้าไปในระบบได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนขนาดของสายไฟ หรือในระบบไฟฟ้าเพื่อการเกษตร การสูบน้ำในท้องถิ่นกันดารที่ต้องการสายป้อนมีระยะทางไกลๆ กำลังสูญเสียในสายไฟต่างๆจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ กระแสยกกำลังสอง

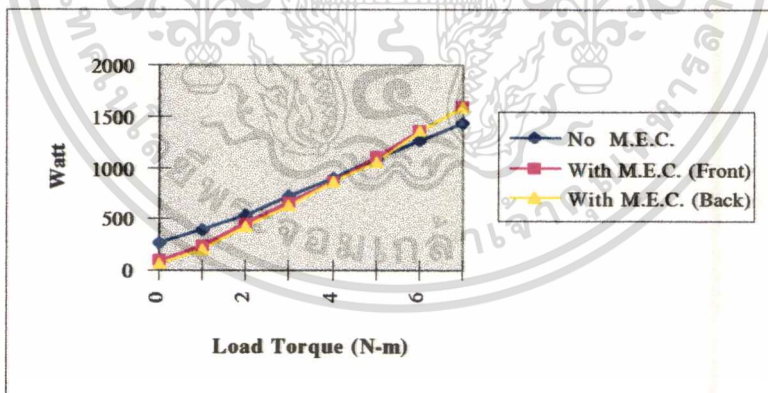
3. การควบคุมมอเตอร์โดยใช้เงื่อนไขให้มอเตอร์ทำงานที่มุมล้าหลังต่ำสุด ในแต่ละโหลดของมอเตอร์โดยการลดแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์นั้น ทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงอยู่ตลอดเวลา จึงเปรียบเสมือนว่าเรามีมอเตอร์หลายขนาดมาใช้กับงานในแต่ละอย่างได้เหมาะสมเหมือนกับการมีมอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า ทำให้เหลือขนาด 2 แรงม้า เพื่อขับโหลดที่ต้องการเพียง 2 แรงม้า ไม่ใช่ นำมอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า มาขับโหลดที่ต้องการเพียง 2 แรงม้า เท่านั้น

4. อุปกรณ์ควบคุมพลังงานนี้มีข้อดีกว่าการนำ คาแปซิเตอร์ มาต่อขนานเข้าในวงจรเพื่อแก้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ เนื่องจากการนำ คาแปซิเตอร์ มาต่อขนานเข้ากับวงจรจะต้องคำนึงถึงค่าที่เหมาะสม เนื่องจากว่าค่าตัวคาแปซิเตอร์ ที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการกระตุ้นตัวเอง เกิดแรงดันเกินทำให้คาแปซิเตอร์และขดลวดมอเตอร์เสียหายได้ ทำให้การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ไม่ได้ผลดีนักในกรณีที่มอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงโหลดบ่อยครั้ง และความสูญเสียในส่วนของสเตเตอร์ก็ยังคงเป็นความสูญเสียที่คงที่อยู่เช่นเดิม

5. เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองใน ตารางที่ 1,2 และ 3 มาพล็อตกราฟของ กำลังงานอินพุต, กำลังงานไฟฟ้าเสมือน, ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ , และค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ เปรียบเทียบในขณะที่มอเตอร์มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน และไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน จะเห็นผลของความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ดังที่แสดงในกราฟข้างล่าง

*หมายเหตุ M.E.C. หมายถึงอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน, M.E.C. (Front) หมายถึงต่อเครื่องมือวัดหน้า M.E.C. และ M.E.C. (Back) หมายถึงต่อเครื่องมือวัดหลัง M.E.C.

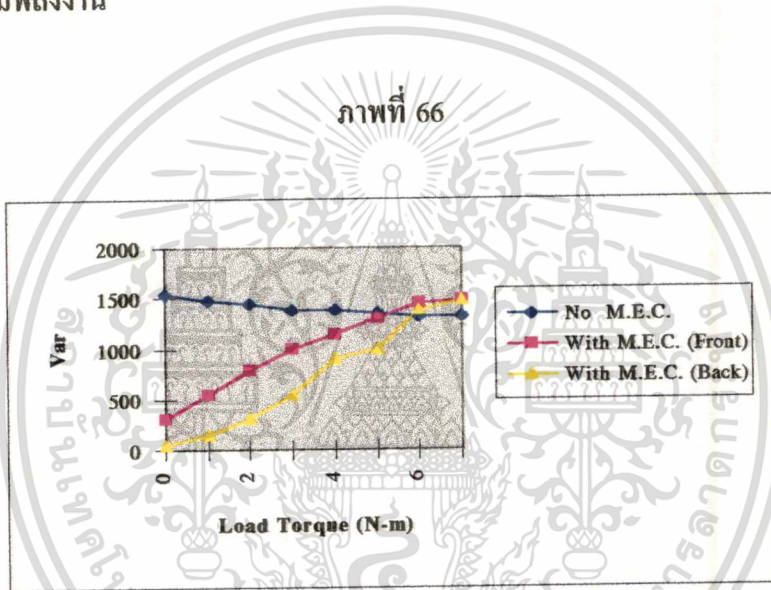
ภาพที่ 65



แสดงกราฟกำลังงานอินพุต (Watt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

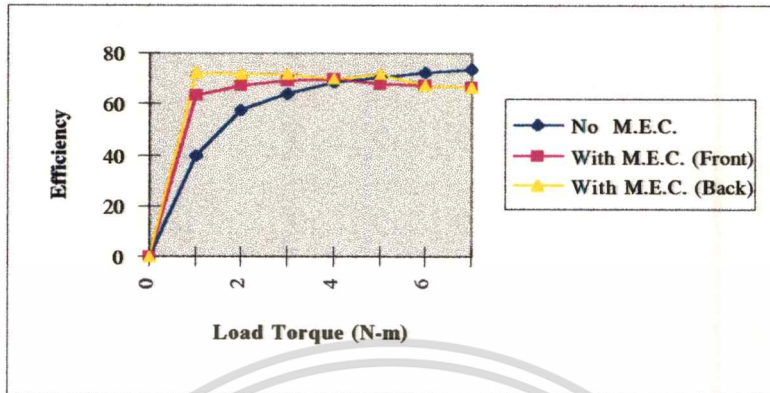
จากภาพที่ 65 กราฟแสดงกำลังงานอินพุท (Watt) จะเห็นได้ว่าขณะที่มอเตอร์มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน มอเตอร์ต้องการกำลังงานขณะ No-Load ลดลง 3 เท่า (เมื่อวัดก่อน M.E.C.) และ 4 เท่า (เมื่อวัดหลัง M.E.C.) กำลังงานประหยัคมีค่าสูงสุดถึง 60% ขึ้นอยู่กับสถานะของโหลด ส่วนในกรณีที่โหลดมีค่าสูงที่ประมาณ 6 N-m ขึ้นไป แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับที่พิกัด ซึ่งที่ชุด AC-AC Converter ของอุปกรณ์ควบคุมพลังงานจะมีประสิทธิภาพประมาณ 90% จึงเป็นผลให้ช่วงที่มอเตอร์มีโหลดมากนั้น มอเตอร์กินกำลังงานมากกว่าขณะที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน ดังนั้นสำหรับงานที่มีช่วงเวลา No-Load หรือ Light Load น้อยครั้งจึงไม่สมควรใช้อุปกรณ์ควบคุมพลังงาน



แสดงกราฟกำลังงานไฟฟ้าเสมือน (Var)

จากภาพที่ 66 กราฟแสดงกำลังงานไฟฟ้าเสมือน (Var) จะเห็นได้ว่าขณะที่มอเตอร์มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน มอเตอร์ต้องการกำลังงานไฟฟ้าเสมือน ขณะ No-Load ลดลง 5 เท่า (เมื่อวัดก่อน M.E.C.) และ 28 เท่า (เมื่อวัดหลัง M.E.C.) ซึ่งจะช่วยลดค่าไฟฟ้า สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นจำนวนมากได้ ส่วนในกรณีที่โหลดมีค่าสูงขณะที่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน ค่ากำลังงานไฟฟ้าเสมือนจะสูงกว่าเมื่อไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เนื่องจากค่ากำลังงานไฟฟ้าปรากฏ (VA) เพิ่มขึ้น (สูญเสียที่ AC-AC Converter) ดังนั้นสำหรับงานที่มีช่วงเวลา No-Load ถึง Half Load ไม่บ่อยมากนักจึงไม่สมควรใช้อุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

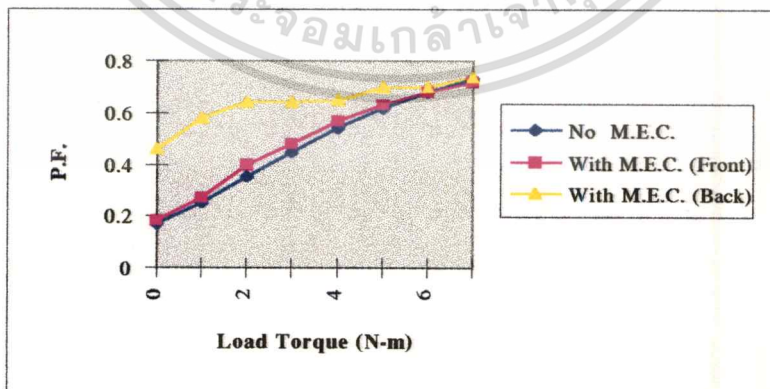
ภาพที่ 67



แสดงกราฟประสิทธิภาพ (%)

จากภาพที่ 67 กราฟแสดงประสิทธิภาพ จะเห็นว่าขณะที่มอเตอร์มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงานที่โหลด 1 N-m มอเตอร์จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น 23% (เมื่อวัดก่อน M.E.C.) และ 32% (เมื่อวัดหลัง M.E.C.) ซึ่งตรงจุดนี้จะเหมือนกับการนำมอเตอร์แต่ละขนาดมาใช้กับงานที่เหมาะสม ส่วนในกรณีที่โหลดมีค่าสูงขณะที่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน ประสิทธิภาพจะลดลงประมาณ 10% เนื่องจากชุด AC-Ac Converter มีประสิทธิภาพประมาณ 90%

ภาพที่ 68



แสดงกราฟเพาเวอร์แฟคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 68 กราฟแสดงเพาเวอร์แฟคเตอร์ เมื่อพิจารณาค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบ (เครื่องมือวัดต่อก่อน M.E.C.) แล้วจะมีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ยังคงว่าประหยัคพลังงาน เนื่องจากค่ากำลังงานอินพุท (Watt) และค่ากำลังงานไฟฟ้าเสมือน (Var) ลดลงมากในกรณีที่มีมอเตอร์อยู่ในสถานะ No-Load หรือ Light Load ซึ่งมีผลให้กระแสที่ไหลในสายลดลงถึง 66% ที่สถานะ No-Load ส่วนค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์ (เครื่องมือวัดต่อหลัง M.E.C.) จะมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 170%

6. อุปกรณ์ควบคุมพลังงานนี้เริ่มเดินระบบโดยวิธีลดค่ามูจูดชนวนของ SCR แบบเชิงเส้น เพื่อเพิ่มแรงดันด้านเข้าอย่างช้าๆ (Soft start) ทำให้ช่วยลดการกระชากของกระแสด้านเข้า รวมถึงการกระชากของแรงบิดของมอเตอร์

7. อุปกรณ์ควบคุมพลังงานและแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์นี้เหมาะสมที่จะใช้กับงานที่มีมอเตอร์มีช่วงเวลาที่ไม่มีโหลด (No load) จนกระทั่งถึงโหลดปานกลางค่อนข้างสูง มากตัวอย่างเช่น ในงานเจียร์ , ระบบสายพาน , บันไดเลื่อน, เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์นี้จะทำให้ประหยัคพลังงานได้มากเมื่อเทียบกับการที่มอเตอร์ทำงานโดยไม่มีอุปกรณ์ควบคุม เนื่องจากมอเตอร์ทำงานอยู่เป็นเวลานาน (หรือมีวัฏจักรหน้าที่ยาว) ก็จะทำให้มีการประหยัคได้มากตามเวลาที่ใช้งาน

ส่วนในกรณีที่โหลดมีค่าสูงใกล้เคียงที่พิกัดจนถึงที่พิกัดนั้น ไม่สมควรใช้อุปกรณ์ควบคุมพลังงานเนื่องจากมีความสูญเสียส่วนหนึ่งอยู่ที่ชุด AC-AC Converter ดังนั้นถ้างานที่ต้องการให้มอเตอร์ทำไม่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดบ่อยครั้ง การเลือกขนาดของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับโหลดที่มอเตอร์ขับจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด สำหรับการ ใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า

ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ

จากวงจรการทำงานทั้งหมด มีส่วนที่ต้องปรับแต่งเป็นจำนวนมากดังนี้ การปรับขนาดสัญญาณ, การปรับวงจรกรองสัญญาณ , การปรับความกว้างของพัลส์ อาจทำให้เกิดความผิดพลาดจากการปรับแต่งวงจร

จากการวิจัยครั้งนี้ได้ผลการวิจัยที่สามารถจะนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง และสามารถนำสัญญาณความแรงของกระแสเข้ามาใช้ประมวลผลด้วย เพื่อความรวดเร็วและถูกต้องในการควบคุมมอเตอร์เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารอ้างอิง

1. รัชชัย อัดตวิบูลย์กุล, “เครื่องกลไฟฟ้า 2 กรุงเทพมหานคร”, 2533
2. มงคล ทองสงคราม, “เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ”, 2535
3. ศิลา ศิริवंต์, “การขึงมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ขับเคลื่อนโดยวงจรควบคุมแรงดันไฟสลับเพื่อปรับปรุงสมรรถนะการทำงาน”, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 16 ,2536
4. รศ. สัมพันธ์ หาญชเล, “เครื่องกลไฟฟ้า 2”, 2534
5. ศิริชัย สรานุกูล, “เพาเวอร์แฟกเตอร์คอนโทรล วงจรประหยัดพลังงานไฟฟ้า”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 39 เมษายน 2523
6. อุดมศักดิ์ ชัยยีน, “POWER ELECTRONICS 1”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
7. M.H.RASHID , “POWER ELECTRONICS CIRCUIT DEVICES AND APPLICATIONS” ,Prentice Hall International Edications, USA.
8. A.E. Fitzgerald , Charles Kingsley,Jr. , Stephen D. Umans , “ELECTRIC MACHINERY” , 5/E in SI Units McGraw-Hill Metric Editions 1992
9. NED MOHAN, TORE M. UNDELAND, WILLIAM P. ROBBINS, “POWER ELECTRONICS” ,John Willy & Sons, INC.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

[1] นพปฎล ชนะระ และประกาย ไพรสุวรรณา , "อุปกรณ์ประหยัดพลังงานและแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ" (ควบคุมโดย Manual), วิศวกรรมลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 มิถุนายน 2539

[2] นพปฎล ชนะระ ,ประกาย ไพรสุวรรณา และน.อ. สุทธิชัย รังสิโรคนโกมล, "อุปกรณ์ประหยัดพลังงานและปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ " (ควบคุมโดย Automatic), การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 19 , 7-8 พฤศจิกายน 2539



ภาคผนวก ก.

โปรแกรมควบคุม

```
*****
```

```
; MOTOR ENERGY CONTROLLER
```

```
*****
```

```
$MOD51
```

```
LF EQU 0AH
```

```
CR EQU 0DH
```

```
SSP EQU 20H
```

```
LIMIT EQU 1
```

```
ERROR EQU 4
```

```
_CODE EQU 2000H
```

```
NUM1 DATA 53H
```

```
NUM10 DATA 52H
```

```
NUM100 DATA 51H
```

```
DELAY_0 DATA 7FH
```

```
DELAY_1 DATA 7EH
```

```
DELAY_2 DATA 7DH
```

```
PW_UPPER DATA 7CH
```

```
TEST DATA 7BH
```

```
PW_LOWER DATA 7AH
```

```
COUNT DATA 6FH
```

```
SUM_A DATA 6EH
```

```
PW_MIN DATA 6DH
```

```
PW DATA 6CH
```

```
POWER DATA 6BH
```

```
MIN_FLAG DATA 6AH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ORG      _CODE
AJMP     START

ORG      _CODE+03H      ;EX0
RETI

ORG      _CODE+0BH      ;T0
RETI

ORG      _CODE+13H      ;EX1
RETI

ORG      _CODE+1BH      ;T1
RETI

ORG      _CODE+23H      ;Tx&Rx
RETI

ORG      _CODE+100H
START:   MOV      A,TMOD
        ANL      A,#0F0H
        ORL      A,#009H
        MOV      TMOD,A
        MOV      R0,#0C8H      ;190 V
        MOV      P1,R0
COUNT_D: DEC      R0
        MOV      P1,R0
        MOV      DELAY_0,#225
        MOV      DELAY_1,#225
        MOV      DELAY_2,#1

```

```

LOOP_TD:  DJNZ      DELAY_0,LOOP_TD
          DJNZ      DELAY_1,LOOP_TD
          DJNZ      DELAY_2,LOOP_TD
          CJNE      R0,#07H,COUNT_D      ;220 V

MAIN1:    ACALL     READ_T
          CLR       C
          MOV       A,TH0
          SUBB      A,#14
          JNC       MAIN
          MOV       PW_MIN,TH0
          MOV       POWER,R0
          AJMP      GO_1

MAIN:     MOV       PW_MIN,#0FFH
          MOV       MIN_FLAG,#00H

COUNT_UP1: MOV     R2,#4
COUNT_UP: INC     R0
          DJNZ      R2,COUNT_UP
          MOV       P1,R0
          ACALL     TDELAY
          ACALL     READ_T
          MOV       PW,TH0
          ACALL     DISP_ALL
          CLR       A
          CLR       C
          MOV       A,PW
          SUBB      A,PW_MIN
          JC        MOVE_PW

```

```

GO_3:    MOV        R4,MIN_FLAG
         CJNE      R4,#01H,COMPARE
         DJNE      COUNT,COMPARE
         AJMP     GO_1

COMPARE: CJNE      R0,#0FFH,COUNT_UP1
         AJMP     GO_4

MOVE_PW: MOV        PW_MIN,PW
         MOV        POWER,R0
         CLR        A
         CLR        C
         MOV        A,PW_MIN
         SUBB       A,#16
         JC         COUNT_1
         AJMP     GO_3

COUNT_1: MOV        COUNT,#03H
         MOV        MIN_FLAG,#01H
         AJMP     GO_3

GO_1:    CLR        C
         MOV        A,#ERROR
         ADD        A,POWER
         MOV        POWER,A

GO_4:    MOV        P1,POWER
         MOV        COUNT,#10

LOOP1_D: ACALL     TDELAY
         DJNZ      COUNT,LOOP1_D
         MOV        A,PW_MIN
         ADD        A,#LIMIT
         MOV        PW_UPPER,A
         MOV        A,PW_MIN

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        CLR        C
        SUBB       A,#LIMIT
        MOV        PW_LOWER,A
LOOP4_D: MOV        COUNT,#5
LOOP2_D: ACALL     READ_T
        MOV        A,PW_UPPER
        CLR        C
        SUBB       A,TH0
        JC         LOOP3_D
        MOV        A,PW_LOWER
        CLR        C
        SUBB       A,TH0
        JNC        LOOP3_D
        ACALL     TDELAY
        AJMP      LOOP4_D
LOOP3_D: DJNZ      COUNT,LOOP2_D
        MOV        R0,#0FH
        AJMP      MAIN1

READ_T: CLR        TR0
        MOV        TL0,#00H
        MOV        TH0,#00H
LOOP:   MOV        TEST,#100
        JB         INT0,$
        SETB      TR0
        JNB        INT0,$
LOOP1: JNB         INT0,LOOP
        DJNZ      TEST,LOOP1
        JB         INT0,$
        CLR        TR0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RET
DISPLAY:  MOV      B,#100
          DIV      AB
          MOV      NUM100,A
          MOV      A,B
          MOV      B,#10
          DIV      AB
          MOV      NUM10,A
          MOV      NUM1,B
          CLR      TI
          MOV      A,NUM100
          ADD      A,#"0"
          MOV      SBUF,A
          JNB     TI,$
          CLR      TI
          MOV      A,NUM10
          ADD      A,#"0"
          MOV      SBUF,A
          JNB     TI,$
          CLR      TI
          MOV      A,NUM1
          ADD      A,#"0"
          MOV      SBUF,A
          JNB     TI,$
          RET

TDELAY:  MOV      DELAY_0,#225
          MOV      DELAY_1,#225
          MOV      DELAY_2,#5

LOOP_TD2: DJNZ     DELAY_0,LOOP_TD2

```

```

DJNZ     DELAY_1,LOOP_TD2
DJNZ     DELAY_2,LOOP_TD2
RET

DISP_ALL: MOV     A,PW
          ACALL   DISPLAY
          CLR     TI
          MOV     SBUF,#SSP
          JNB     TI,$
          MOV     A,R0
          ACALL   DISPLAY
          CLR     TI
          MOV     SBUF,#SSP
          JNB     TI,$
          MOV     A,PW_MIN
          ACALL   DISPLAY
          CLR     TI
          MOV     SBUF,#SSP
          JNB     TI,$
          MOV     A,POWER
          ACALL   DISPLAY
          CLR     TI
          MOV     SBUF,#LF
          JNB     TI,$
          CLR     TI
          MOV     SBUF,#CR
          JNB     TI,$
          RET

```

END

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลผลการทดลองที่ได้จากเครื่องมือวัด

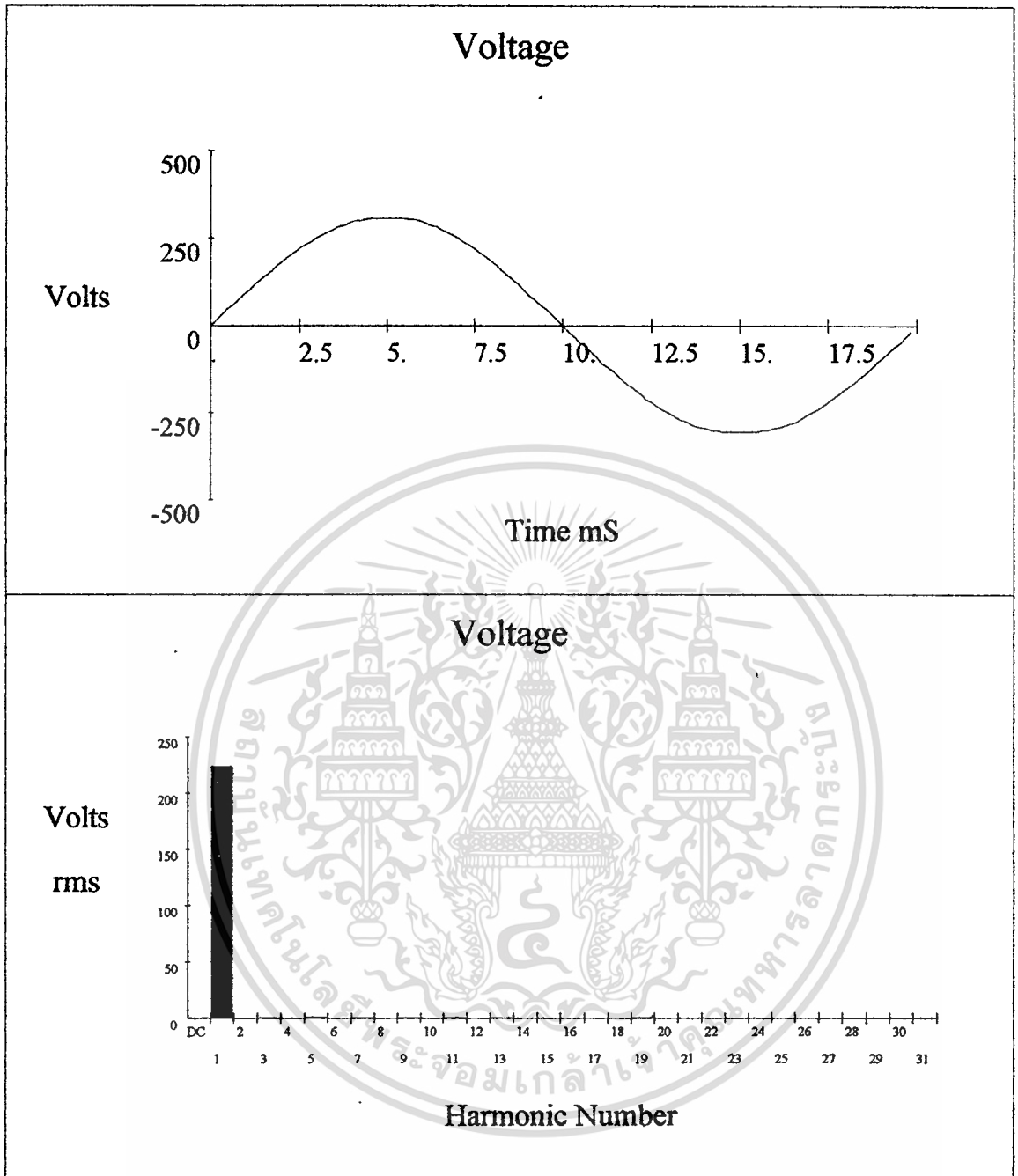
ข้อมูลผลการทดลองที่ได้จากเครื่องมือวัด FLUKE41 Power Harmonics Analyzer

ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดแบ่งเป็น 3 ส่วน ด้วยกันคือ

ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองขณะที่มีมอเตอร์ ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
(หน้า 93 - 128)

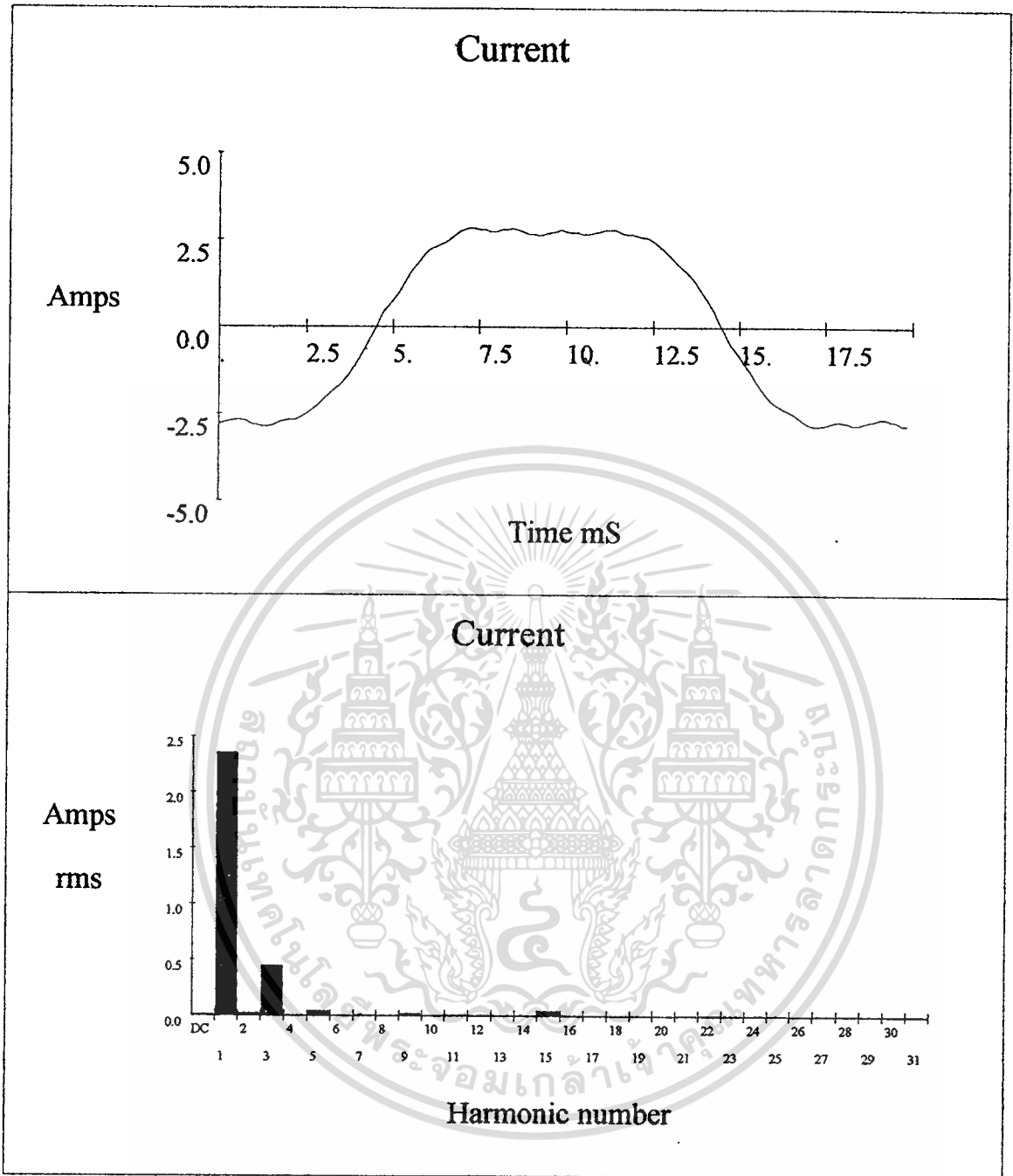
ส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองขณะที่มีมอเตอร์ มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
โดยต่อเครื่องมือวัดก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน (หน้า 129 - 164)

ส่วนที่ 3 เป็นข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองขณะที่มีมอเตอร์ มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
โดยต่อเครื่องมือวัดหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน (หน้า 165 - 200)



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะ No-Load ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะ No-Load ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Readings - 12/27/96 08:21:33

Summary Information

Frequency	49.9	RMS	Voltage	221	Current	2.36
Power		Peak		309		2.87
KW	0.09	DC Offset		-1		-0.02
KVA	0.52	Crest		1.4		1.21
KVAR	0.51	THD Rms		0.7		16.7
Peak KW	0.70	THD Fund		0.7		17.0
Phase	80° lag	HRMS		2		0.40
Total PF	0.17	KFactor				1.3
DPF	0.17					

Record Information

Max	Average	Min
V RMS		
A RMS		
V Peak		
A Peak		
V THD-R%		
A THD-R%		
KWatts		
KVAR		
TPF		
DPF		
Frequency		

Harmonic Information

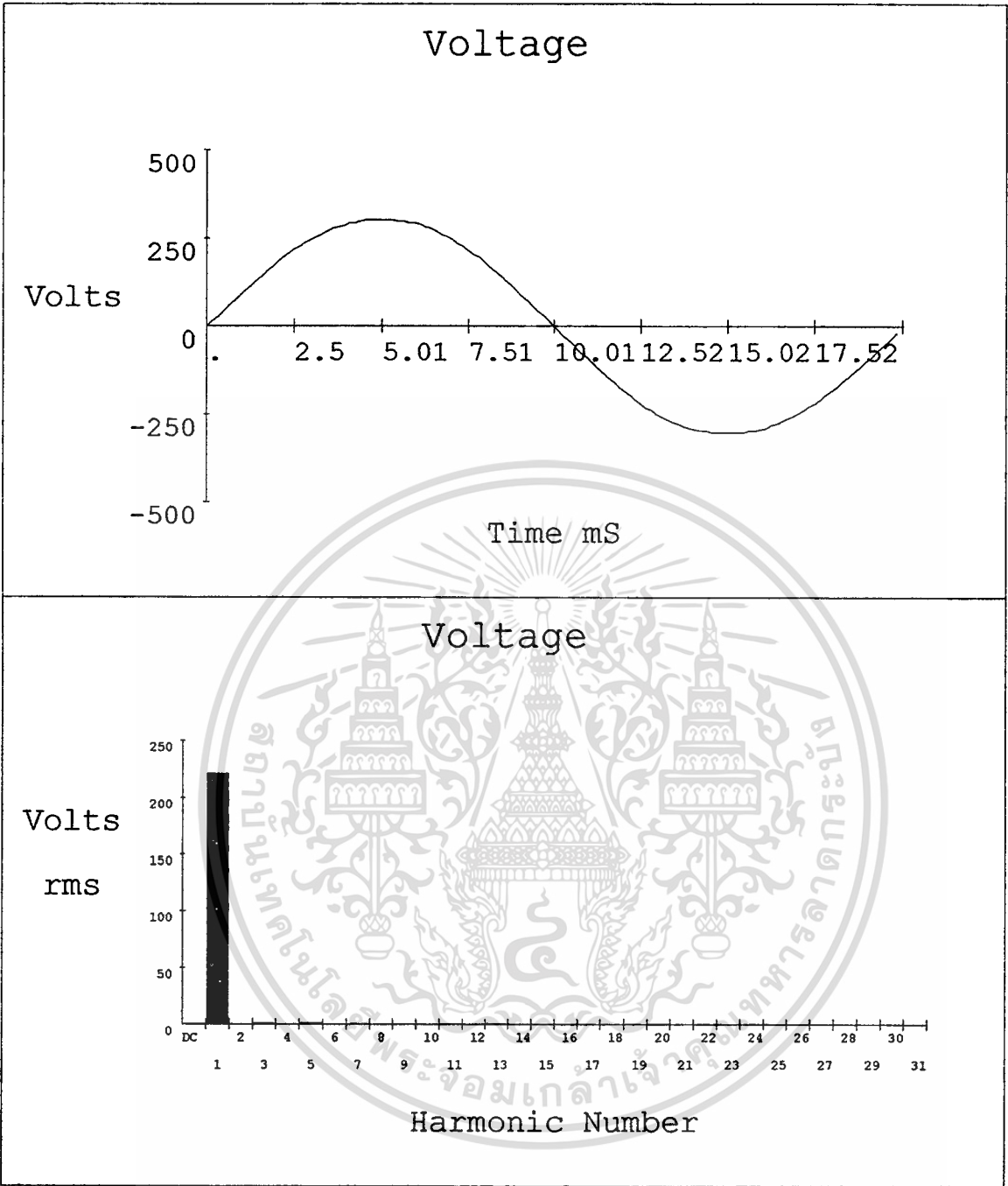
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	1	0.3	0	0.02	0.8	0	0.00
1	49.9	221	100.3	0	2.33	99.3	-80	0.09
2	99.9	0	0.0	-122	0.01	0.4	127	0.00
3	149.8	1	0.3	-42	0.39	16.7	120	0.00
4	199.7	0	0.0	60	0.00	0.2	-39	0.00
5	249.7	1	0.6	-177	0.04	1.7	-50	0.00
6	299.6	0	0.0	-39	0.00	0.1	-70	0.00
7	349.5	0	0.2	53	0.01	0.5	112	0.00
8	399.5	0	0.0	22	0.00	0.1	164	0.00
9	449.4	0	0.1	148	0.01	0.6	-8	0.00
10	499.4	0	0.0	92	0.00	0.0	21	0.00
11	549.3	0	0.1	-51	0.01	0.3	-155	0.00
12	599.2	0	0.0	-101	0.00	0.0	-77	0.00
13	649.2	0	0.0	72	0.00	0.2	13	0.00
14	699.1	0	0.0	0	0.00	0.1	-122	0.00
15	749.0	0	0.0	137	0.04	1.6	-106	0.00
16	799.0	0	0.0	-153	0.00	0.1	-162	0.00
17	848.9	0	0.0	-48	0.00	0.1	30	0.00
18	898.8	0	0.0	-165	0.00	0.0	-131	0.00
19	948.8	0	0.0	36	0.00	0.1	59	0.00
20	998.7	0	0.0	68	0.00	0.0	65	0.00
21	1048.6	0	0.0	120	0.01	0.3	128	0.00
22	1098.6	0	0.0	-103	0.00	0.1	82	0.00
23	1148.5	0	0.0	-139	0.00	0.1	-61	0.00
24	1198.5	0	0.0	121	0.00	0.0	-148	0.00
25	1248.4	0	0.0	-47	0.00	0.1	156	0.00
26	1298.3	0	0.0	12	0.00	0.1	-121	0.00
27	1348.3	0	0.0	59	0.00	0.2	12	0.00
28	1398.2	0	0.0	-114	0.00	0.0	44	0.00
29	1448.1	0	0.0	-173	0.00	0.1	-162	0.00
30	1498.1	0	0.0	114	0.00	0.1	136	0.00
31	1548.0	0	0.0	160	0.00	0.1	-24	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะ No-Load

ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

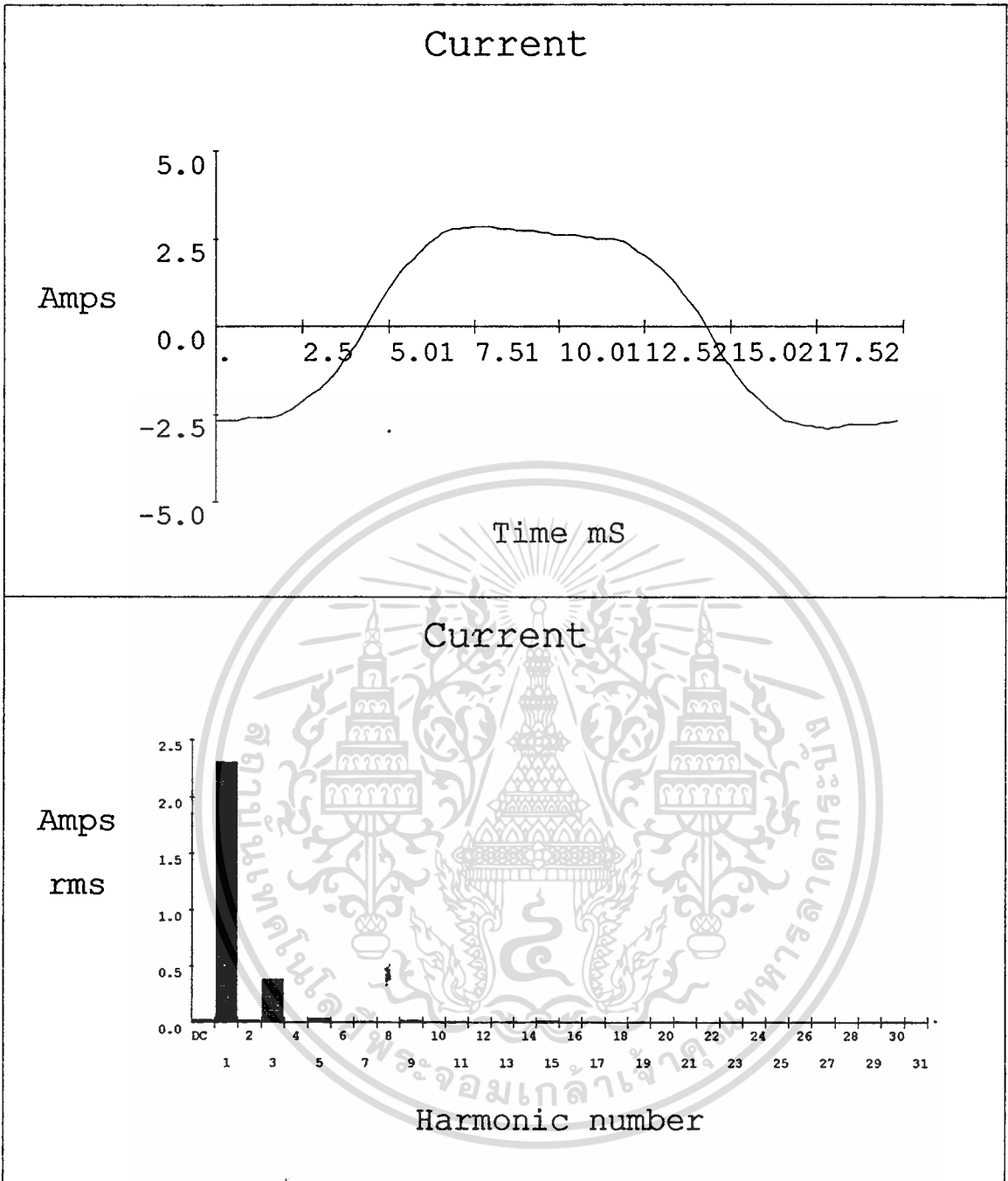
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงคั้นขณะโหลด 1 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 1 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

		Voltage		Current		Record Information		
						Max	Average	Min
Frequency	49.9	RMS	221	2.34	V RMS			
Power		Peak	309	2.94	A RMS			
KW	0.13	DC Offset	-1	-0.03	V Peak			
KVA	0.52	Crest	1.4	1.26	A Peak			
KVAR	0.49	THD Rms	0.7	16.3	V THD-R%			
Peak KW	0.75	THD Fund	0.7	16.6	A THD-R%			
Phase	76° lag	HRMS	2	0.38	KWatts			
Total PF	0.25	KFactor		1.2	KVAR			
DPF	0.24				TPF			
					DPF			
					Frequency			

Harmonic Information

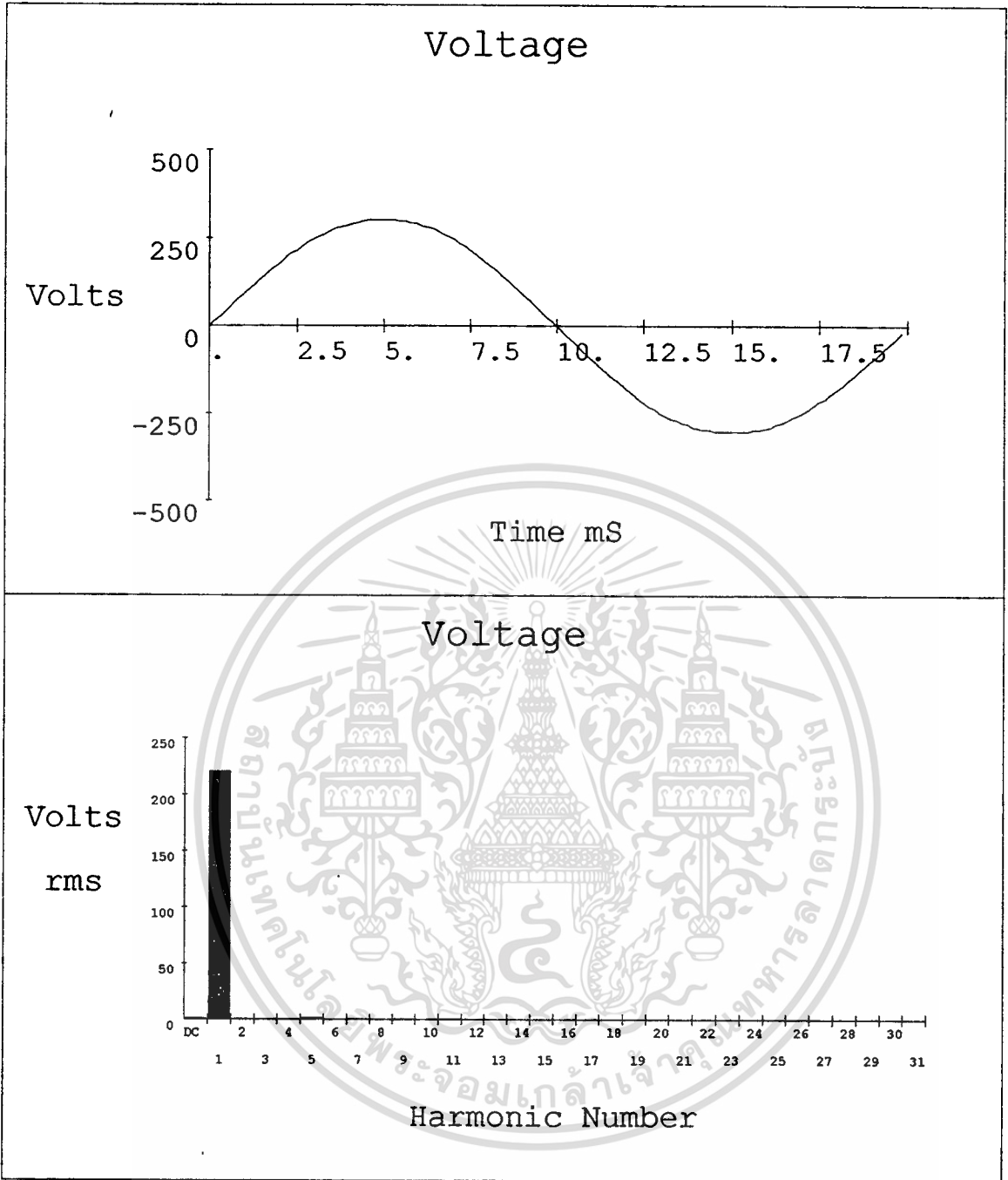
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	1	0.2	0	0.03	1.1	0	0.00
1	49.9	221	100.3	0	2.30	99.7	-76	0.12
2	99.9	0	0.0	-162	0.02	0.8	174	0.00
3	149.8	1	0.3	-41	0.38	16.4	118	0.00
4	199.7	0	0.0	51	0.00	0.2	18	0.00
5	249.7	1	0.6	-180	0.04	1.6	-41	0.00
6	299.6	0	0.0	-178	0.00	0.1	72	0.00
7	349.5	0	0.2	58	0.01	0.4	140	0.00
8	399.5	0	0.0	-72	0.00	0.1	-151	0.00
9	449.4	0	0.1	136	0.02	0.8	4	0.00
10	499.4	0	0.0	24	0.00	0.1	-32	0.00
11	549.3	0	0.1	-50	0.01	0.4	-153	0.00
12	599.2	0	0.0	63	0.00	0.0	0	0.00
13	649.2	0	0.0	51	0.00	0.1	37	0.00
14	699.1	0	0.0	-165	0.00	0.1	92	0.00
15	749.0	0	0.0	-16	0.01	0.6	141	0.00
16	799.0	0	0.0	32	0.00	0.1	-6	0.00
17	848.9	0	0.0	-164	0.00	0.2	136	0.00
18	898.8	0	0.0	-21	0.00	0.0	50	0.00
19	948.8	0	0.0	135	0.00	0.2	-44	0.00
20	998.7	0	0.0	154	0.00	0.1	162	0.00
21	1048.6	0	0.0	131	0.00	0.1	146	0.00
22	1098.6	0	0.0	-126	0.00	0.0	-94	0.00
23	1148.5	0	0.0	148	0.00	0.1	21	0.00
24	1198.5	0	0.0	67	0.00	0.1	15	0.00
25	1248.4	0	0.0	-89	0.00	0.1	-118	0.00
26	1298.3	0	0.0	117	0.00	0.1	133	0.00
27	1348.3	0	0.0	16	0.00	0.1	9	0.00
28	1398.2	0	0.0	-68	0.00	0.0	120	0.00
29	1448.1	0	0.0	-137	0.00	0.1	-108	0.00
30	1498.1	0	0.0	60	0.00	0.1	146	0.00
31	1548.0	0	0.0	-47	0.00	0.1	0	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 1 N-m

ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

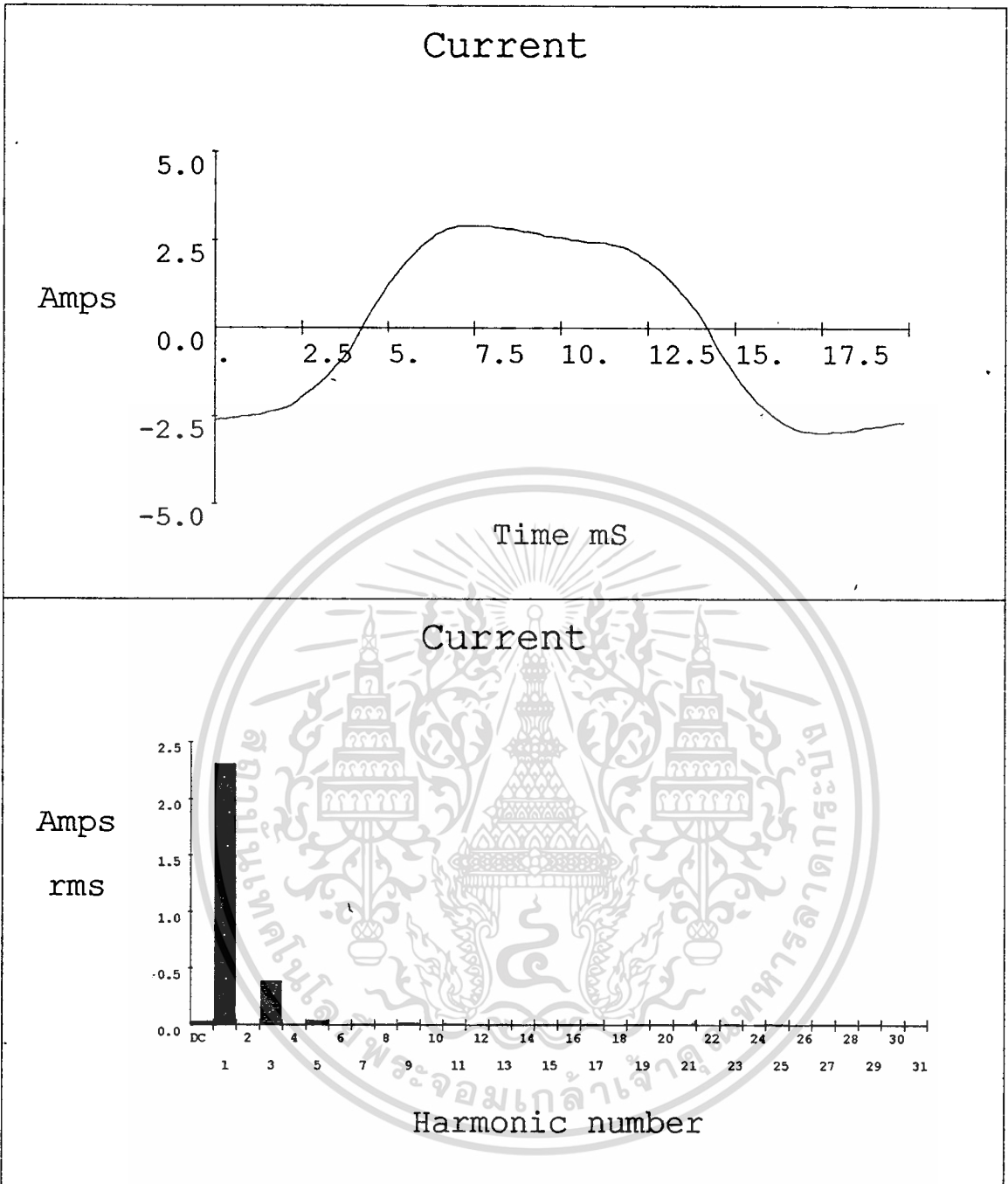
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 1.5 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 1.5 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Frequency	50.0	RMS	221	2.33
Power		Peak	309	3.00
KW	0.15	DC Offset	-1	-0.03
KVA	0.51	Crest	1.4	1.29
KVAR	0.48	THD Rms	0.7	16.3
Peak KW	0.79	THD Fund	0.7	16.5
Phase	72° lag	HRMS	2	0.38
Total PF	0.30	KFactor		1.2
DPF	0.31			

Record Information

	Max	Average	Min
V RMS			
A RMS			
V Peak			
A Peak			
V THD-R%			
A THD-R%			
KWatts			
KVAR			
TPF			
DPF			
Frequency			

Harmonic Information

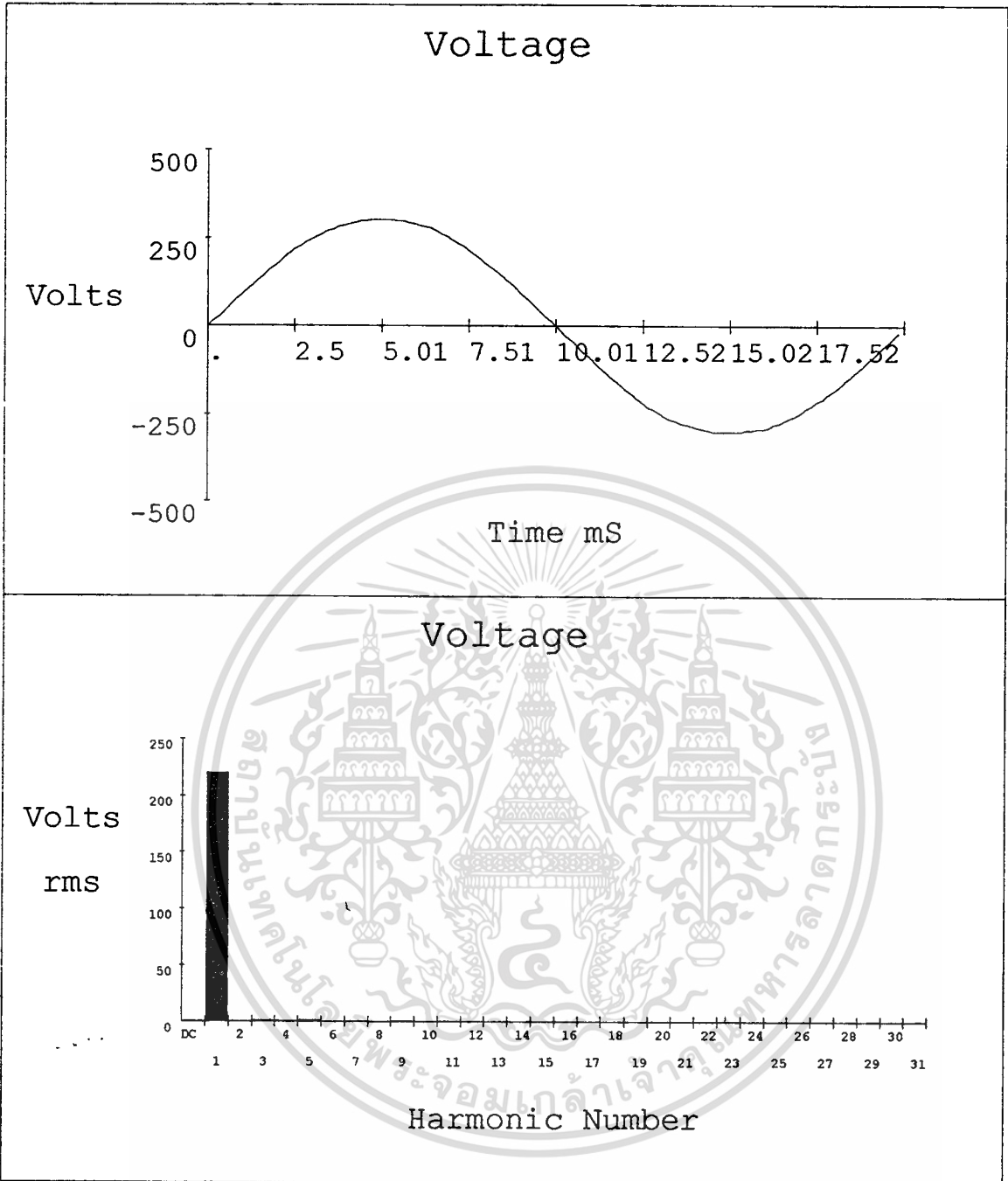
DC	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
	0.0	1	0.3	0	0.03	1.2	0	0.00
1	50.0	220	100.3	0	2.30	99.7	-72	0.16
2	100.0	0	0.1	-98	0.00	0.1	-168	0.00
3	150.0	1	0.2	-27	0.38	16.4	117	0.00
4	200.0	0	0.1	58	0.00	0.2	3	0.00
5	250.0	1	0.6	-179	0.04	1.6	-37	0.00
6	299.9	0	0.0	78	0.00	0.0	22	0.00
7	349.9	0	0.2	46	0.01	0.2	124	0.00
8	399.9	0	0.0	-153	0.00	0.1	-141	0.00
9	449.9	0	0.1	127	0.02	0.7	15	0.00
10	499.9	0	0.0	-41	0.00	0.0	-10	0.00
11	549.9	0	0.1	-61	0.01	0.4	-129	0.00
12	599.9	0	0.0	85	0.00	0.0	180	0.00
13	649.9	0	0.0	37	0.00	0.1	13	0.00
14	699.9	0	0.0	-116	0.00	0.0	107	0.00
15	749.9	0	0.0	106	0.00	0.1	-64	0.00
16	799.9	0	0.0	14	0.00	0.1	-5	0.00
17	849.8	0	0.0	-175	0.00	0.2	140	0.00
18	899.8	0	0.0	52	0.00	0.0	78	0.00
19	949.8	0	0.0	-4	0.00	0.2	-26	0.00
20	999.8	0	0.0	142	0.00	0.1	22	0.00
21	1049.8	0	0.0	-180	0.00	0.2	-162	0.00
22	1099.8	0	0.0	-85	0.00	0.0	-145	0.00
23	1149.8	0	0.0	115	0.00	0.1	103	0.00
24	1199.8	0	0.0	8	0.00	0.0	99	0.00
25	1249.8	0	0.0	-29	0.00	0.1	-71	0.00
26	1299.8	0	0.0	176	0.00	0.0	-56	0.00
27	1349.8	0	0.0	134	0.00	0.1	54	0.00
28	1399.7	0	0.0	23	0.00	0.1	-98	0.00
29	1449.7	0	0.0	-37	0.00	0.1	-54	0.00
30	1499.7	0	0.0	-85	0.00	0.0	155	0.00
31	1549.7	0	0.0	-27	0.00	0.0	180	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 1.5 N-m

ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

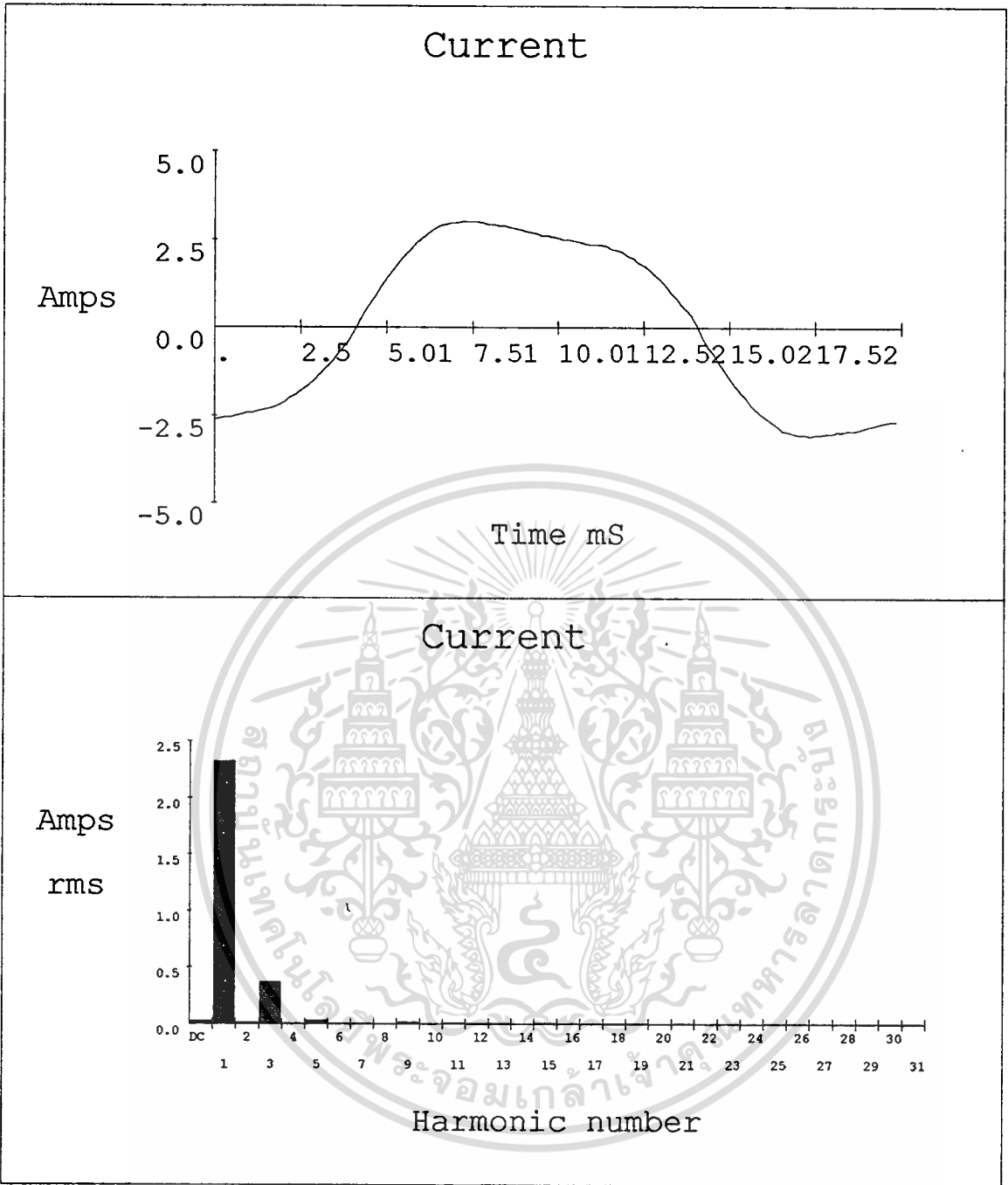
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 2.0 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 2.0 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

		Voltage	Current
Frequency	49.9	RMS 220	2.35
Power		Peak 308	3.12
KW	0.18	DC Offset -1	-0.03
KVA	0.52	Crest 1.4	1.33
KVAR	0.48	THD Rms 0.7	15.7
Peak KW	0.83	THD Fund 0.7	15.9
Phase	70° lag	HRMS 2	0.37
Total PF	0.35	KFactor	1.2
DPF	0.34		

Record Information

	Max	Average	Min
V RMS			
A RMS			
V Peak			
A Peak			
V THD-R%			
A THD-R%			
KWatts			
KVAR			
TPF			
DPF			
Frequency			

Harmonic Information

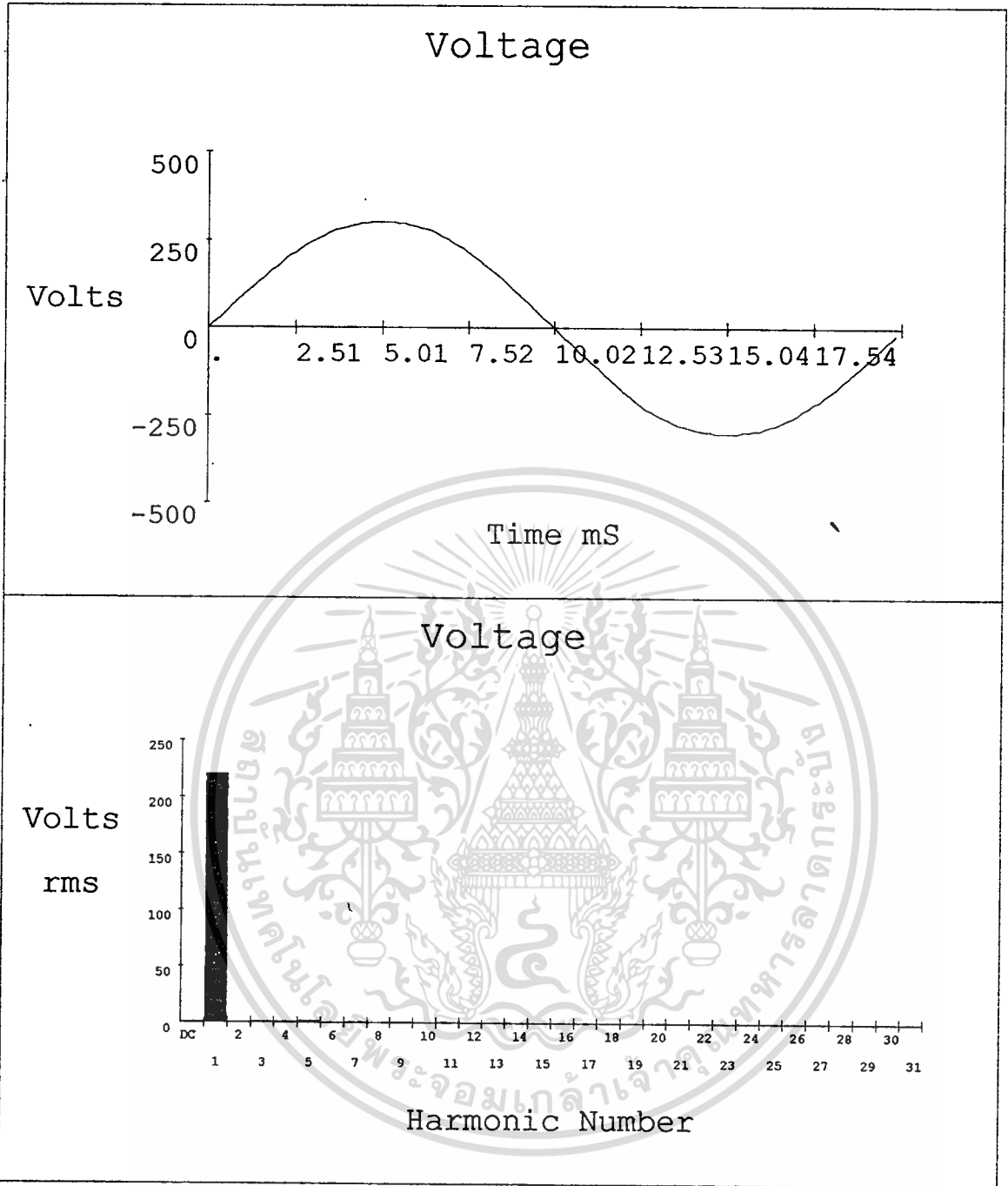
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	1	0.3	0	0.03	1.1	0	0.00
1	49.9	220	100.3	0	2.32	99.9	-70	0.17
2	99.9	0	0.0	-22	0.01	0.3	-110	0.00
3	149.8	1	0.3	-37	0.37	15.8	117	0.00
4	199.7	0	0.0	88	0.00	0.1	38	0.00
5	249.7	1	0.6	-170	0.03	1.3	-44	0.00
6	299.6	0	0.0	0	0.00	0.1	-162	0.00
7	349.5	0	0.2	52	0.00	0.2	125	0.00
8	399.5	0	0.0	0	0.00	0.0	-52	0.00
9	449.4	0	0.1	125	0.01	0.6	31	0.00
10	499.4	0	0.0	169	0.00	0.0	124	0.00
11	549.3	0	0.2	-62	0.01	0.4	-127	0.00
12	599.2	0	0.0	-41	0.00	0.1	-124	0.00
13	649.2	0	0.0	85	0.00	0.1	116	0.00
14	699.1	0	0.0	86	0.00	0.0	-132	0.00
15	749.0	0	0.0	101	0.01	0.3	-94	0.00
16	799.0	0	0.0	58	0.00	0.1	108	0.00
17	848.9	0	0.0	-135	0.00	0.1	-179	0.00
18	898.8	0	0.0	-39	0.00	0.1	-101	0.00
19	948.8	0	0.0	34	0.01	0.2	36	0.00
20	998.7	0	0.0	-57	0.00	0.0	75	0.00
21	1048.6	0	0.0	-107	0.00	0.1	-138	0.00
22	1098.6	0	0.0	-17	0.00	0.0	-13	0.00
23	1148.5	0	0.0	-167	0.00	0.2	140	0.00
24	1198.5	0	0.0	60	0.00	0.0	53	0.00
25	1248.4	0	0.0	18	0.00	0.2	-22	0.00
26	1298.3	0	0.0	48	0.00	0.1	5	0.00
27	1348.3	0	0.0	134	0.00	0.1	134	0.00
28	1398.2	0	0.0	-114	0.00	0.1	-151	0.00
29	1448.1	0	0.0	-68	0.00	0.2	-12	0.00
30	1498.1	0	0.0	53	0.00	0.1	6	0.00
31	1548.0	0	0.0	27	0.00	0.1	-100	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 2.0 N-m

ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

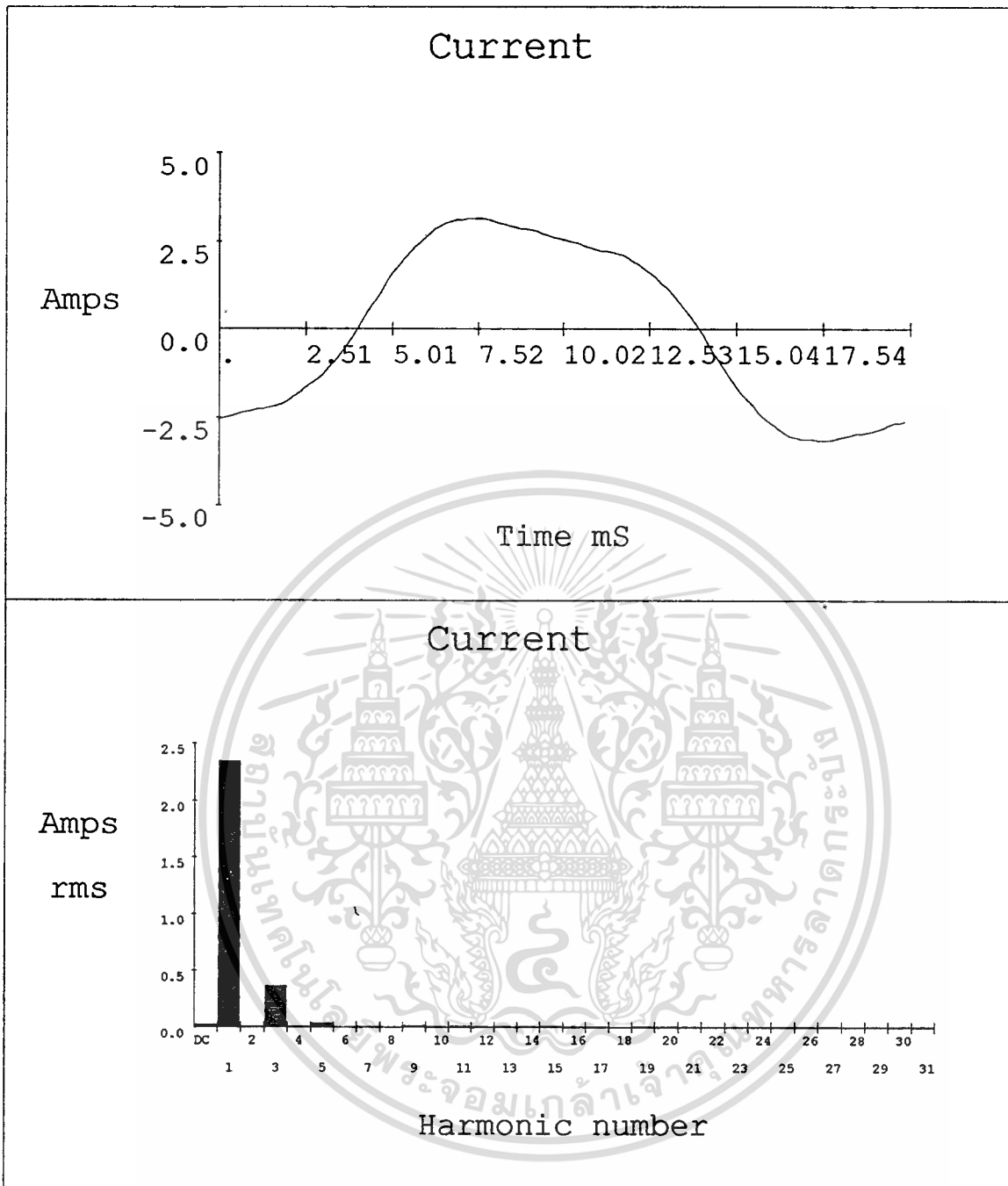
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 2.5 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 2.5 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

		Voltage		Current		Record Information		
						Max	Average	Min
Frequency	49.9	RMS	220	2.37	V RMS			
Power		Peak	308	3.21	A RMS			
KW	0.21	DC Offset	0	-0.02	V Peak			
KVA	0.52	Crest	1.4	1.35	A Peak			
KVAR	0.47	THD Rms	0.7	15.2	V THD-R%			
Peak KW	0.87	THD Fund	0.7	15.4	A THD-R%			
Phase	66° lag	HRMS	2	0.36	KWatts			
Total PF	0.40	KFactor		1.2	KVAR			
DPF	0.41				TPF			
					DPF			
					Frequency			

Harmonic Information

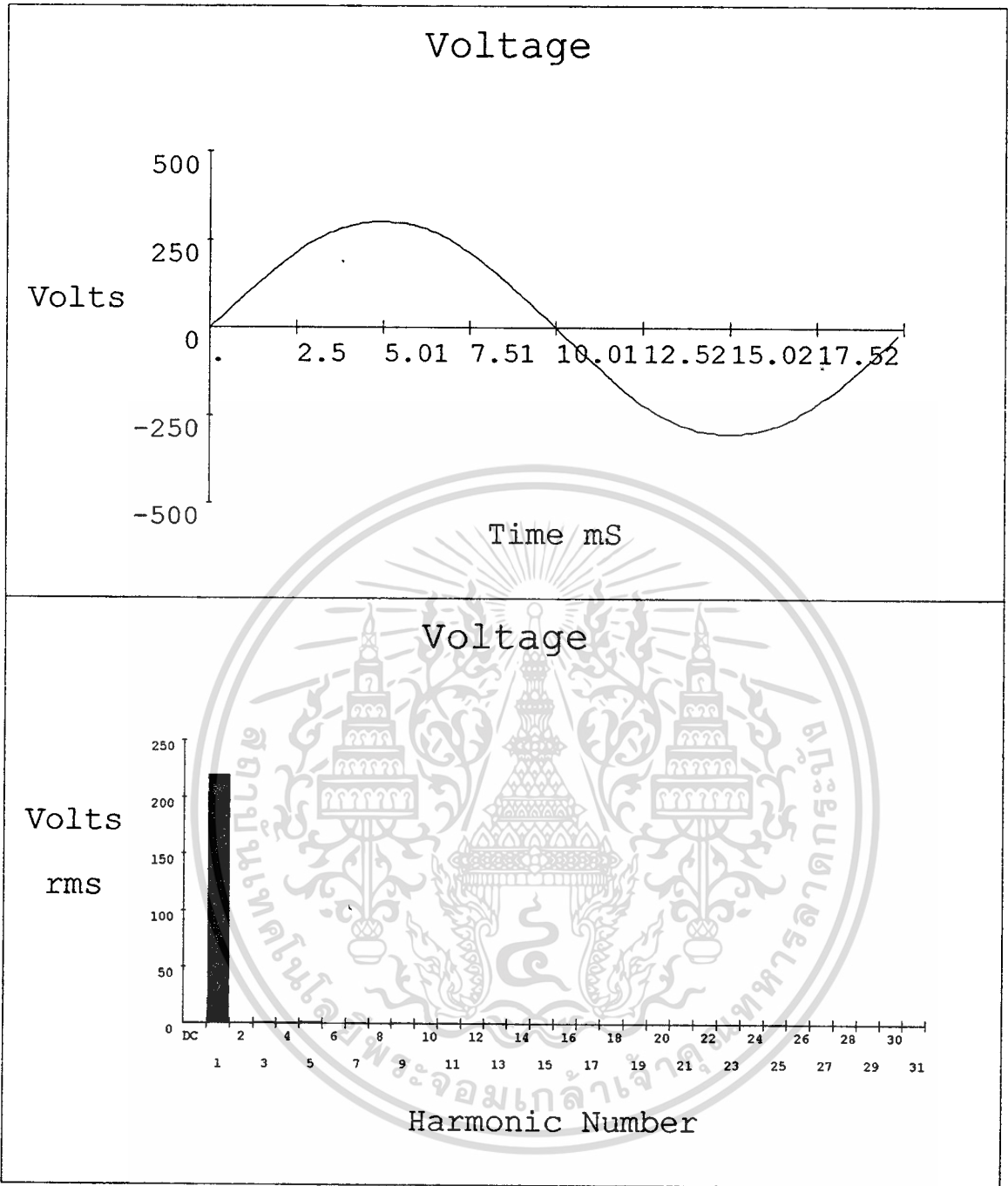
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	0	0.2	0	0.02	1.0	0	0.00
1	49.9	220	100.2	0	2.35	99.8	-66	0.21
2	99.8	0	0.0	-5	0.01	0.2	144	0.00
3	149.6	1	0.3	-37	0.36	15.3	117	0.00
4	199.5	0	0.1	103	0.00	0.2	19	0.00
5	249.4	1	0.6	180	0.03	1.4	-26	0.00
6	299.3	0	0.0	22	0.00	0.0	72	0.00
7	349.2	1	0.2	55	0.00	0.1	-25	0.00
8	399.0	0	0.0	-15	0.00	0.0	147	0.00
9	448.9	0	0.1	140	0.01	0.6	34	0.00
10	498.8	0	0.0	126	0.00	0.1	126	0.00
11	548.7	0	0.1	-54	0.01	0.3	-105	0.00
12	598.6	0	0.0	-105	0.00	0.1	-72	0.00
13	648.5	0	0.0	47	0.00	0.1	135	0.00
14	698.3	0	0.0	-12	0.00	0.1	133	0.00
15	748.2	0	0.0	143	0.01	0.4	158	0.00
16	798.1	0	0.0	155	0.00	0.1	-12	0.00
17	848.0	0	0.0	-166	0.00	0.2	-137	0.00
18	897.9	0	0.0	155	0.00	0.0	-112	0.00
19	947.7	0	0.0	81	0.00	0.2	56	0.00
20	997.6	0	0.0	-34	0.00	0.1	-4	0.00
21	1047.5	0	0.0	176	0.00	0.1	-62	0.00
22	1097.4	0	0.0	-118	0.00	0.1	-87	0.00
23	1147.3	0	0.0	-161	0.00	0.1	155	0.00
24	1197.1	0	0.0	131	0.00	0.1	-72	0.00
25	1247.0	0	0.0	-13	0.00	0.2	10	0.00
26	1296.9	0	0.0	68	0.00	0.1	34	0.00
27	1346.8	0	0.0	174	0.00	0.1	-135	0.00
28	1396.7	0	0.0	-132	0.00	0.0	56	0.00
29	1446.5	0	0.0	0	0.00	0.1	20	0.00
30	1496.4	0	0.0	41	0.00	0.1	4	0.00
31	1546.3	0	0.0	28	0.00	0.1	-39	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 2.5 N-m

ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

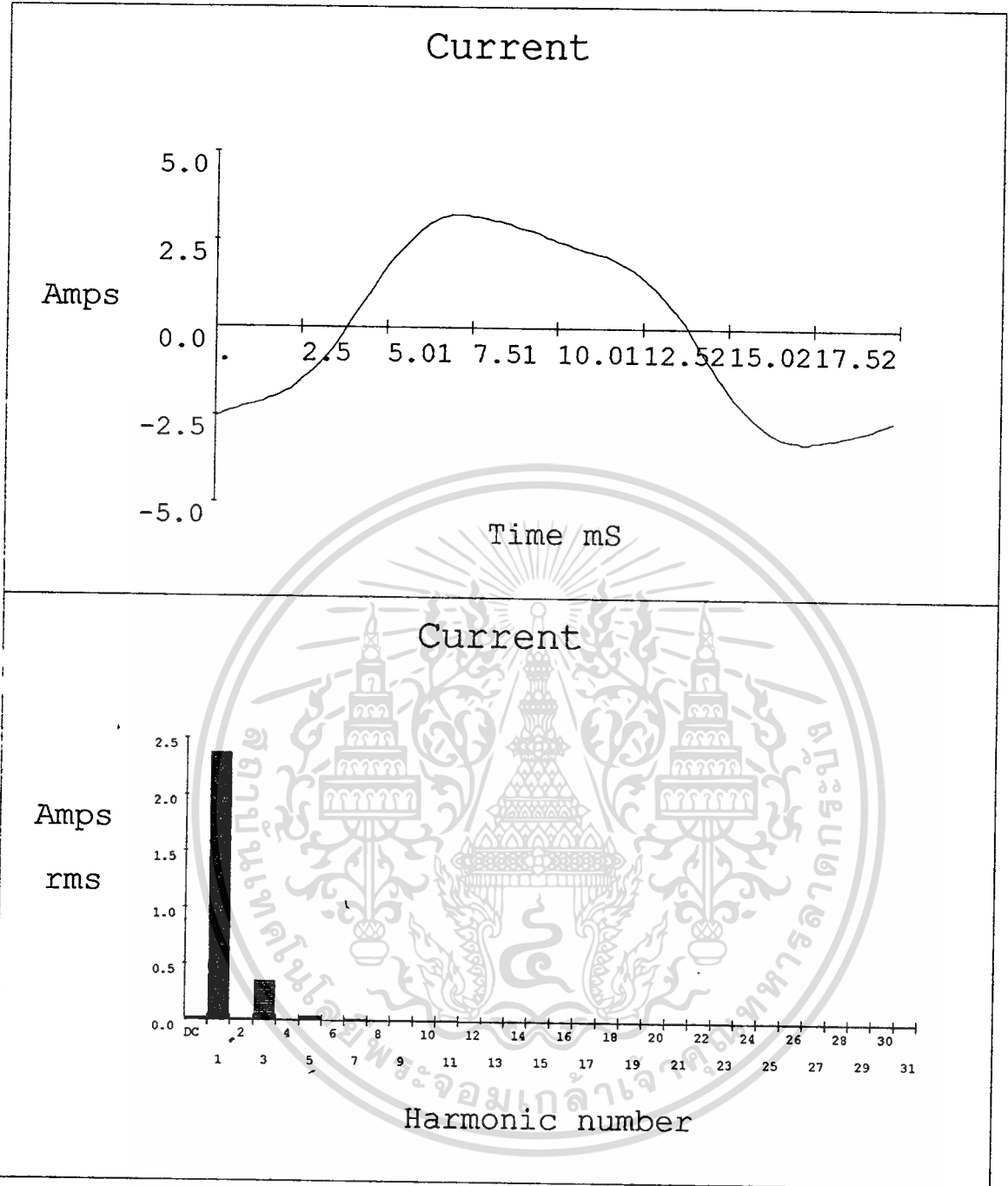
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 3.0 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 3.0 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Record Information

		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	49.9	RMS	220	2.39	V RMS		
Power		Peak	308	3.30	A RMS		
KW	0.24	DC Offset	-1	-0.03	V Peak		
KVA	0.53	Crest	1.4	1.38	A Peak		
KVAR	0.46	THD Rms	0.7	14.4	V THD-R%		
Peak KW	0.89	THD Fund	0.7	14.6	A THD-R%		
Phase	63° lag	HRMS	2	0.35	KWatts		
Total PF	0.45	KFactor		1.2	KVAR		
DPF	0.45				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

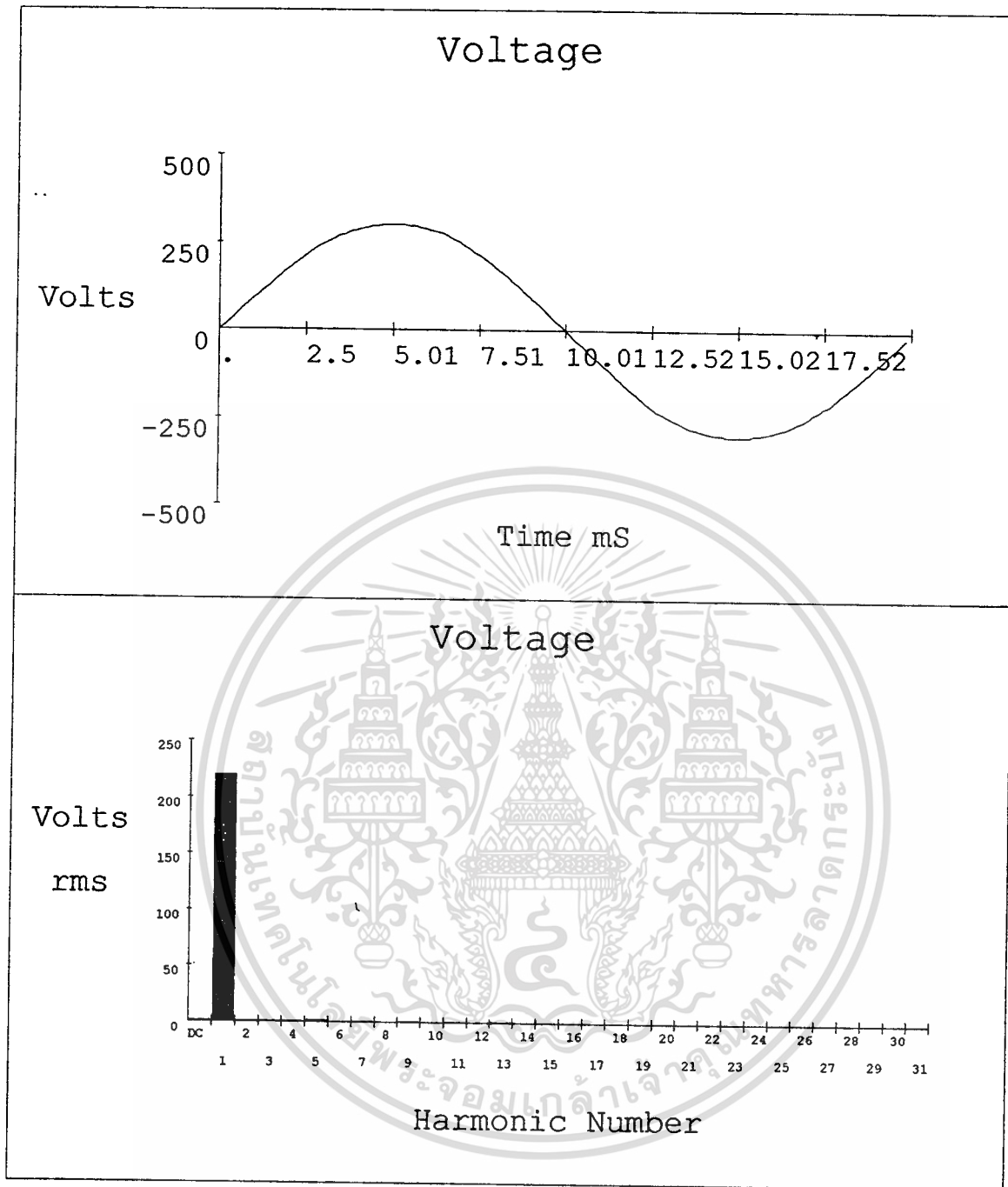
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	1	0.3	0	0.03	1.1	0	0.00
1	49.9	220	100.3	0	2.37	100.1	-63	0.23
2	99.9	0	0.1	-90	0.01	0.4	-129	0.00
3	149.8	1	0.3	-52	0.34	14.5	118	0.00
4	199.7	0	0.1	51	0.00	0.2	-32	0.00
5	249.7	1	0.5	178	0.04	1.5	-20	0.00
6	299.6	0	0.0	104	0.00	0.0	100	0.00
7	349.5	1	0.3	45	0.01	0.3	-37	0.00
8	399.5	0	0.0	0	0.00	0.1	-88	0.00
9	449.4	0	0.1	129	0.01	0.5	55	0.00
10	499.4	0	0.0	52	0.00	0.1	82	0.00
11	549.3	0	0.2	-56	0.01	0.3	-94	0.00
12	599.2	0	0.0	131	0.00	0.0	-15	0.00
13	649.2	0	0.1	50	0.00	0.0	-135	0.00
14	699.1	0	0.0	153	0.00	0.1	-126	0.00
15	749.0	0	0.0	125	0.00	0.1	60	0.00
16	799.0	0	0.0	82	0.00	0.1	122	0.00
17	848.9	0	0.0	-101	0.00	0.1	-91	0.00
18	898.8	0	0.0	64	0.00	0.1	-45	0.00
19	948.8	0	0.0	112	0.00	0.2	136	0.00
20	998.7	0	0.0	117	0.00	0.0	-49	0.00
21	1048.6	0	0.0	153	0.00	0.1	58	0.00
22	1098.6	0	0.0	-81	0.00	0.1	-45	0.00
23	1148.5	0	0.0	-151	0.00	0.2	-162	0.00
24	1198.5	0	0.0	89	0.00	0.0	-49	0.00
25	1248.4	0	0.0	-17	0.00	0.2	38	0.00
26	1298.3	0	0.0	134	0.00	0.1	48	0.00
27	1348.3	0	0.0	-139	0.00	0.1	-79	0.00
28	1398.2	0	0.0	-113	0.00	0.1	26	0.00
29	1448.1	0	0.0	0	0.00	0.1	169	0.00
30	1498.1	0	0.0	93	0.00	0.1	78	0.00
31	1548.0	0	0.0	16	0.00	0.1	0	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 3.0 N-m

ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

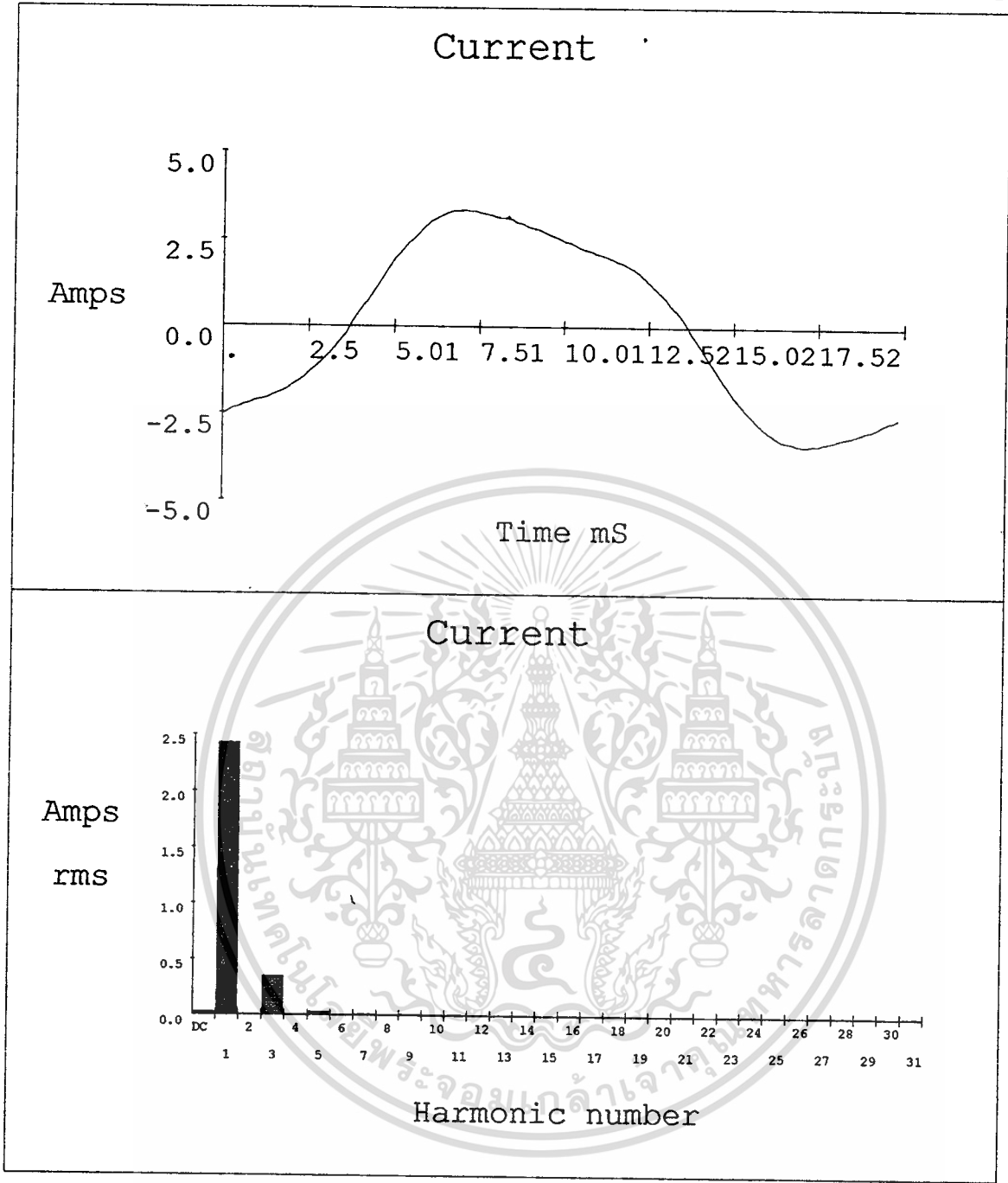
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 3.5 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 3.5 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Frequency	49.9	RMS	220	Current	2.45
Power		Peak	308		3.44
KW	0.27	DC Offset	-1		-0.02
KVA	0.54	Crest	1.4		1.41
KVAR	0.46	THD Rms	0.7		14.1
.Peak KW	0.94	THD Fund	0.7		14.2
Phase	60° lag	HRMS	2		0.34
Total PF	0.50	KFactor			1.2
DPF	0.50				

Record Information

Max	Average	Min
V RMS		
A RMS		
V Peak		
A Peak		
V THD-R%		
A THD-R%		
KWatts		
KVAR		
TPF		
DPF		
Frequency		

Harmonic Information

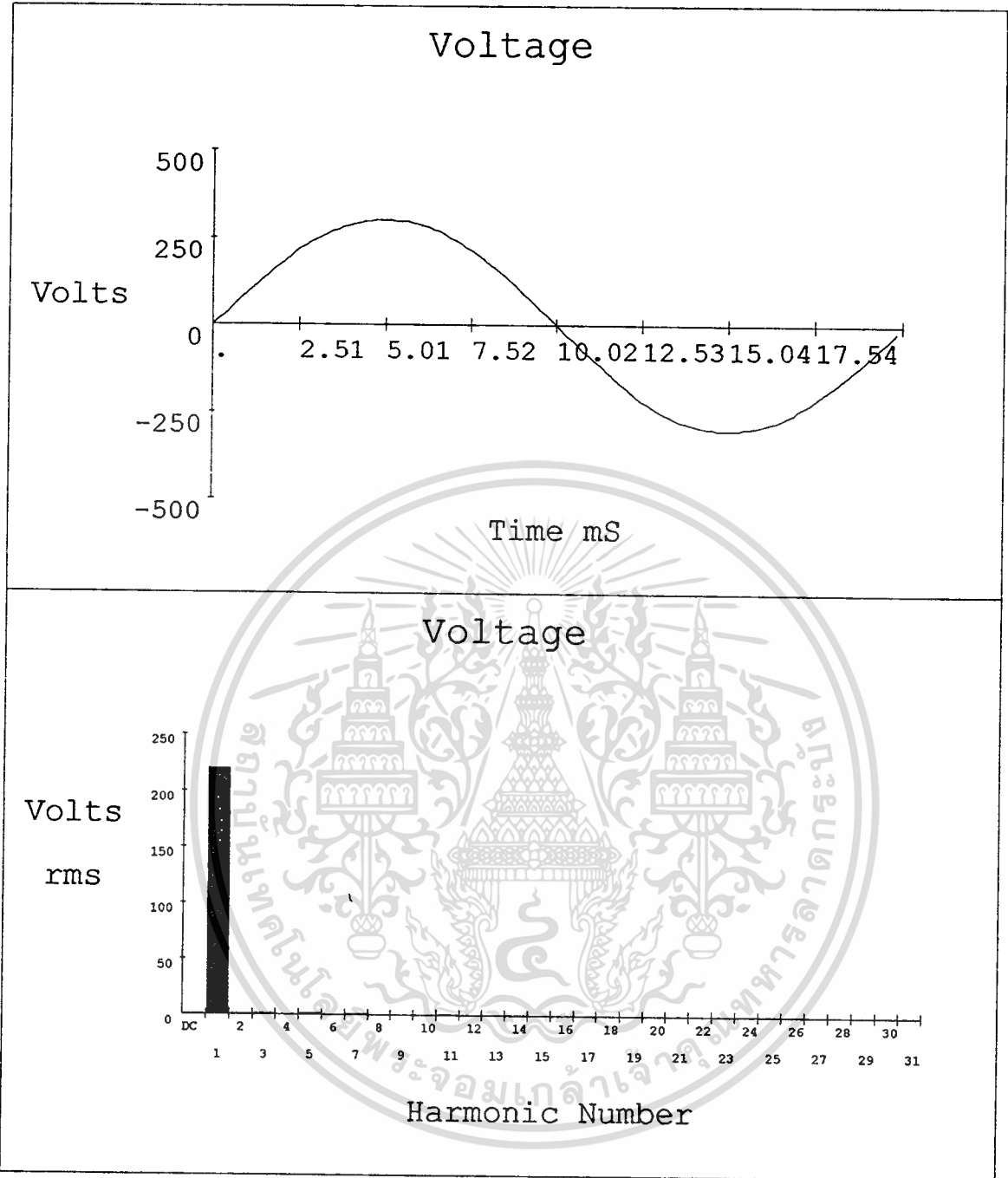
DC	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
	0.0	1	0.3	0	0.02	1.0	0	0.00
1	49.9	220	100.3	0	2.43	100.0	-60	0.27
2	99.9	0	0.1	-96	0.00	0.1	-68	0.00
3	149.8	0	0.2	-62	0.34	14.1	119	0.00
4	199.7	0	0.1	64	0.00	0.2	10	0.00
5	249.7	1	0.6	-174	0.03	1.3	-18	0.00
6	299.6	0	0.0	-155	0.00	0.1	139	0.00
7	349.5	0	0.2	51	0.01	0.3	-23	0.00
8	399.5	0	0.0	-54	0.00	0.1	-112	0.00
9	449.4	0	0.1	126	0.01	0.4	55	0.00
10	499.4	0	0.0	-153	0.00	0.1	118	0.00
11	549.3	0	0.2	-67	0.00	0.2	-75	0.00
12	599.2	0	0.0	71	0.00	0.1	34	0.00
13	649.2	0	0.0	49	0.00	0.1	-137	0.00
14	699.1	0	0.0	-180	0.00	0.1	-123	0.00
15	749.0	0	0.0	103	0.00	0.0	70	0.00
16	799.0	0	0.0	-165	0.00	0.1	169	0.00
17	848.9	0	0.0	-29	0.00	0.2	-34	0.00
18	898.8	0	0.0	69	0.00	0.1	-85	0.00
19	948.8	0	0.0	-177	0.00	0.2	-167	0.00
20	998.7	0	0.0	96	0.00	0.0	-70	0.00
21	1048.6	0	0.0	153	0.00	0.1	75	0.00
22	1098.6	0	0.0	35	0.00	0.0	0	0.00
23	1148.5	0	0.0	-180	0.00	0.1	-135	0.00
24	1198.5	0	0.0	-78	0.00	0.1	-56	0.00
25	1248.4	0	0.0	-59	0.00	0.1	10	0.00
26	1298.3	0	0.0	146	0.00	0.0	-133	0.00
27	1348.3	0	0.0	-53	0.00	0.1	-12	0.00
28	1398.2	0	0.0	0	0.00	0.1	8	0.00
29	1448.1	0	0.0	68	0.00	0.1	-86	0.00
30	1498.1	0	0.0	136	0.00	0.0	-170	0.00
31	1548.0	0	0.0	41	0.00	0.1	60	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 3.5 N-m

ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

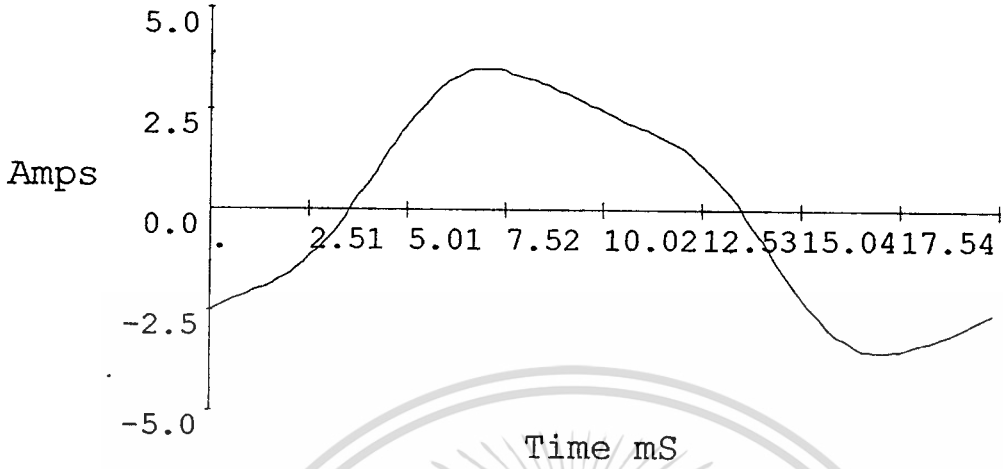
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



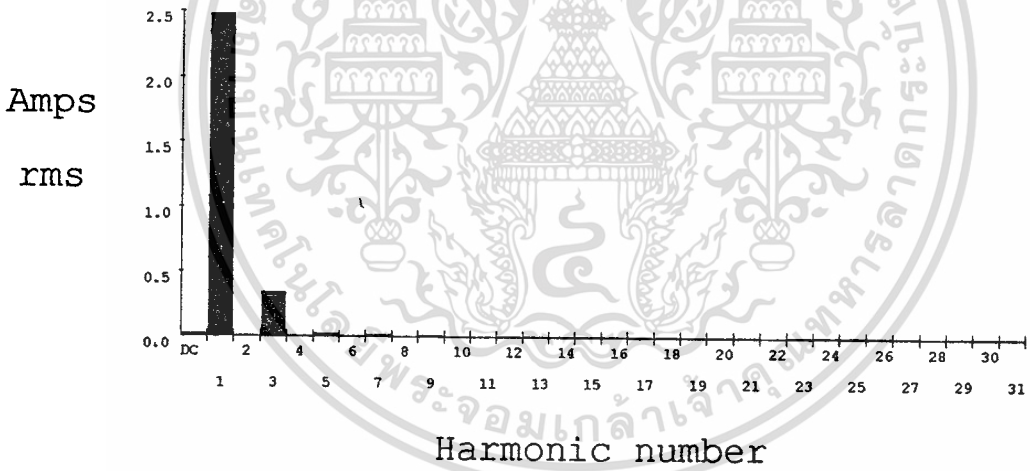
แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 4.0 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current



Current



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 4.0 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Summary Information				Record Information		
		Voltage	Current	Max	Average	Min
Frequency	49.9	RMS	219	2.50	V RMS	
Power		Peak	308	3.58	A RMS	
KW	0.30	DC Offset	0	-0.02	V Peak	
KVA	0.55	Crest	1.4	1.43	A Peak	
KVAR	0.46	THD Rms	0.7	13.4	V THD-R%	
Peak KW	0.98	THD Fund	0.7	13.6	A THD-R%	
Phase	57° lag	HRMS	2	0.34	KWatts	
Total PF	0.54	KFactor		1.2	KVAR	
DPF	0.55				TPF	
					DPF	
					Frequency	

Harmonic Information

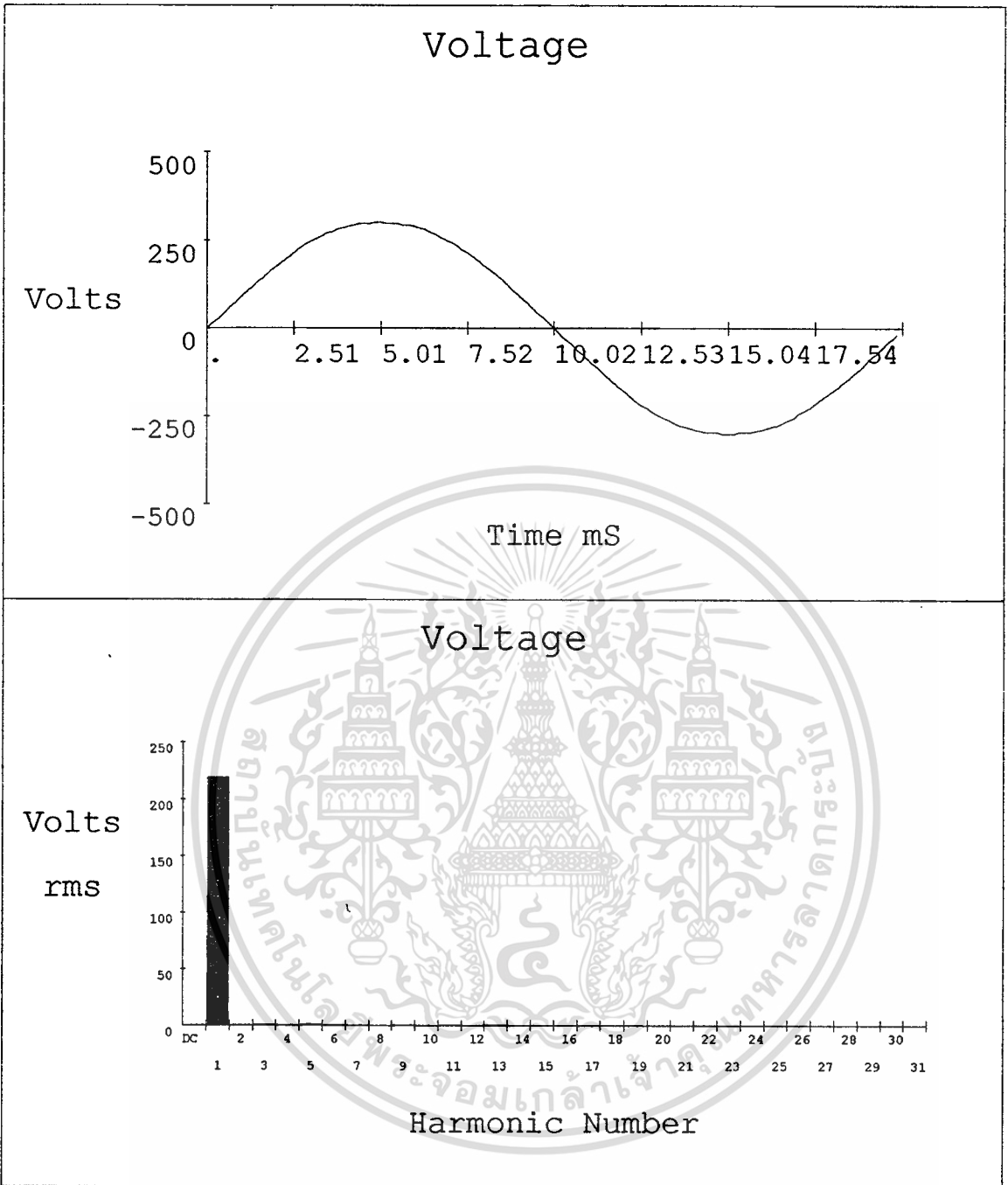
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	0	0.2	0	0.02	0.7	0	0.00
1	49.9	219	100.2	0	2.48	99.8	-57	0.30
2	99.8	0	0.1	80	0.00	0.1	-55	0.00
3	149.6	1	0.3	-58	0.33	13.5	119	0.00
4	199.5	0	0.0	134	0.00	0.1	44	0.00
5	249.4	1	0.5	-176	0.03	1.1	-20	0.00
6	299.3	0	0.0	-67	0.00	0.1	106	0.00
7	349.2	1	0.3	49	0.01	0.5	-19	0.00
8	399.0	0	0.0	20	0.00	0.0	0	0.00
9	448.9	0	0.0	129	0.01	0.3	69	0.00
10	498.8	0	0.0	167	0.00	0.0	53	0.00
11	548.7	0	0.2	-49	0.00	0.0	-131	0.00
12	598.6	0	0.0	-63	0.00	0.1	42	0.00
13	648.5	0	0.0	75	0.00	0.2	-96	0.00
14	698.3	0	0.0	69	0.00	0.1	-124	0.00
15	748.2	0	0.0	146	0.00	0.2	-169	0.00
16	798.1	0	0.0	158	0.00	0.1	169	0.00
17	848.0	0	0.0	16	0.00	0.2	38	0.00
18	897.9	0	0.0	-177	0.00	0.1	101	0.00
19	947.7	0	0.0	42	0.00	0.1	-86	0.00
20	997.6	0	0.0	-121	0.00	0.1	0	0.00
21	1047.5	0	0.0	140	0.01	0.2	120	0.00
22	1097.4	0	0.0	141	0.00	0.0	82	0.00
23	1147.3	0	0.0	-165	0.00	0.1	180	0.00
24	1197.1	0	0.0	-162	0.00	0.1	62	0.00
25	1247.0	0	0.0	9	0.00	0.1	-71	0.00
26	1296.9	0	0.0	163	0.00	0.1	-70	0.00
27	1346.8	0	0.0	177	0.00	0.1	139	0.00
28	1396.7	0	0.0	-86	0.00	0.0	-63	0.00
29	1446.5	0	0.0	-91	0.00	0.2	-68	0.00
30	1496.4	0	0.0	152	0.00	0.1	-20	0.00
31	1546.3	0	0.0	94	0.00	0.1	118	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 4.0 N-m

ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

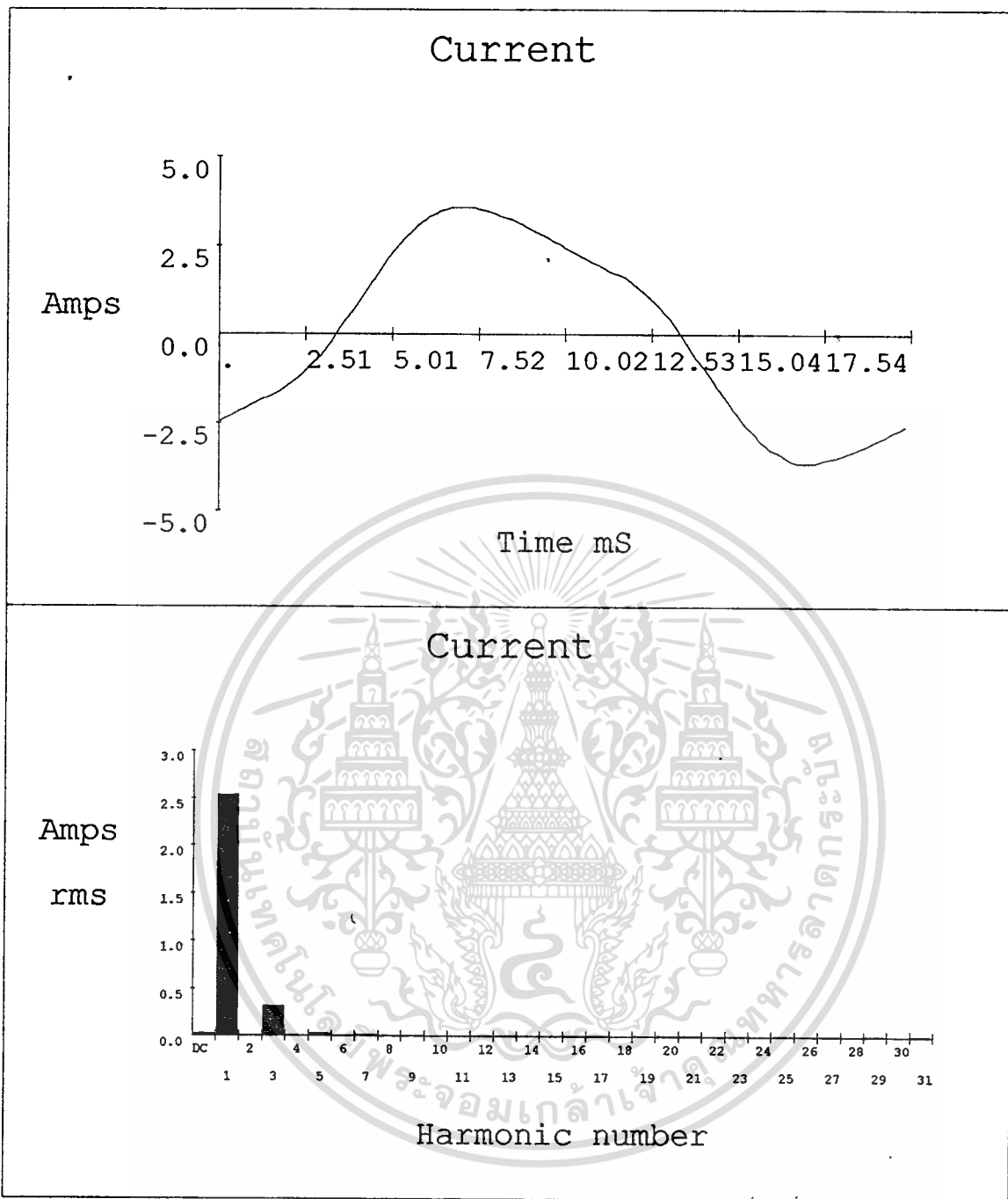
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงค้ำขณะโหลด 4.5 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 4.5 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Frequency	49.9
Power	
KW	0.33
KVA	0.56
KVAR	0.45
Peak KW	1.02
Phase	54° lag
Total PF	0.58
DPF	0.59

Voltage		Current	
RMS	219	2.56	
Peak	306	3.68	
DC Offset	0	-0.02	
Crest	1.4	1.44	
THD Rms	0.8	12.4	
THD Fund	0.8	12.5	
HRMS	2	0.32	
KFactor		1.1	

Record Information

Max	Average	Min
V RMS		
A RMS		
V Peak		
A Peak		
V THD-R%		
A THD-R%		
KWatts		
KVAR		
TPF		
DPF		
Frequency		

Harmonic Information

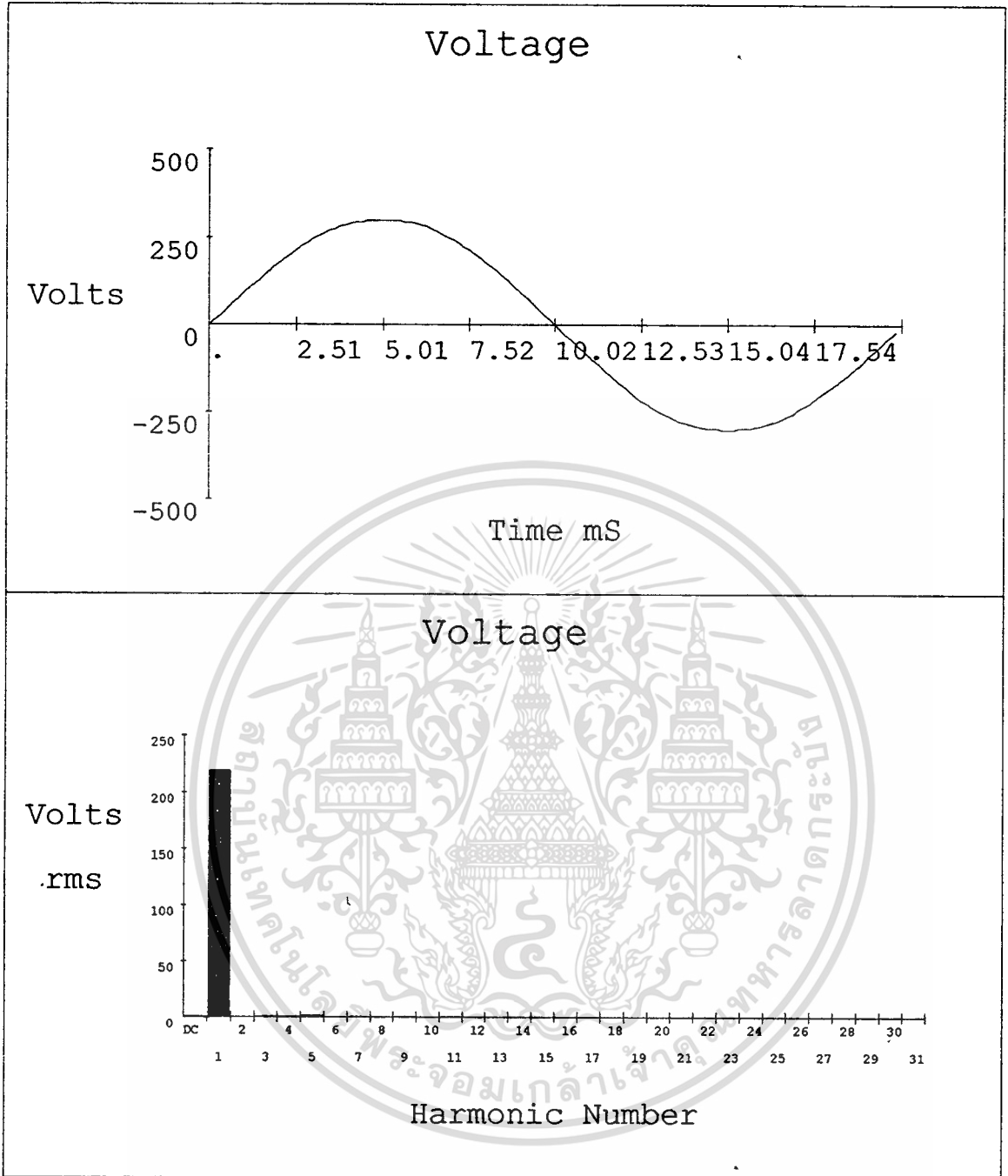
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	0	0.2	0	0.02	0.8	0	0.00
1	49.9	219	100.2	0	2.54	100.0	-54	0.33
2	99.8	0	0.1	86	0.00	0.0	-98	0.00
3	149.6	1	0.3	-49	0.31	12.4	120	0.00
4	199.5	0	0.1	163	0.00	0.1	87	0.00
5	249.4	1	0.6	180	0.03	1.0	6	0.00
6	299.3	0	0.1	-38	0.00	0.2	-130	0.00
7	349.2	1	0.3	54	0.02	0.6	-14	0.00
8	399.0	0	0.0	67	0.00	0.0	-5	0.00
9	448.9	0	0.1	160	0.00	0.0	46	0.00
10	498.8	0	0.0	172	0.00	0.0	31	0.00
11	548.7	0	0.2	-46	0.00	0.0	95	0.00
12	598.6	0	0.0	112	0.00	0.1	156	0.00
13	648.5	0	0.1	49	0.01	0.2	-52	0.00
14	698.3	0	0.0	-122	0.00	0.1	-46	0.00
15	748.2	0	0.0	174	0.00	0.2	160	0.00
16	798.1	0	0.0	119	0.00	0.1	173	0.00
17	848.0	0	0.0	36	0.00	0.2	76	0.00
18	897.9	0	0.0	-180	0.00	0.0	121	0.00
19	947.7	0	0.0	27	0.00	0.2	-22	0.00
20	997.6	0	0.0	-15	0.00	0.1	-37	0.00
21	1047.5	0	0.0	115	0.00	0.1	162	0.00
22	1097.4	0	0.0	180	0.00	0.0	-151	0.00
23	1147.3	0	0.0	-180	0.00	0.0	45	0.00
24	1197.1	0	0.0	118	0.00	0.0	30	0.00
25	1247.0	0	0.0	-22	0.00	0.1	-39	0.00
26	1296.9	0	0.0	169	0.00	0.0	-23	0.00
27	1346.8	0	0.0	139	0.00	0.1	180	0.00
28	1396.7	0	0.0	-115	0.00	0.0	171	0.00
29	1446.5	0	0.0	-26	0.00	0.1	-4	0.00
30	1496.4	0	0.0	38	0.00	0.0	0	0.00
31	1546.3	0	0.0	-133	0.00	0.0	16	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 4.5 N-m

ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

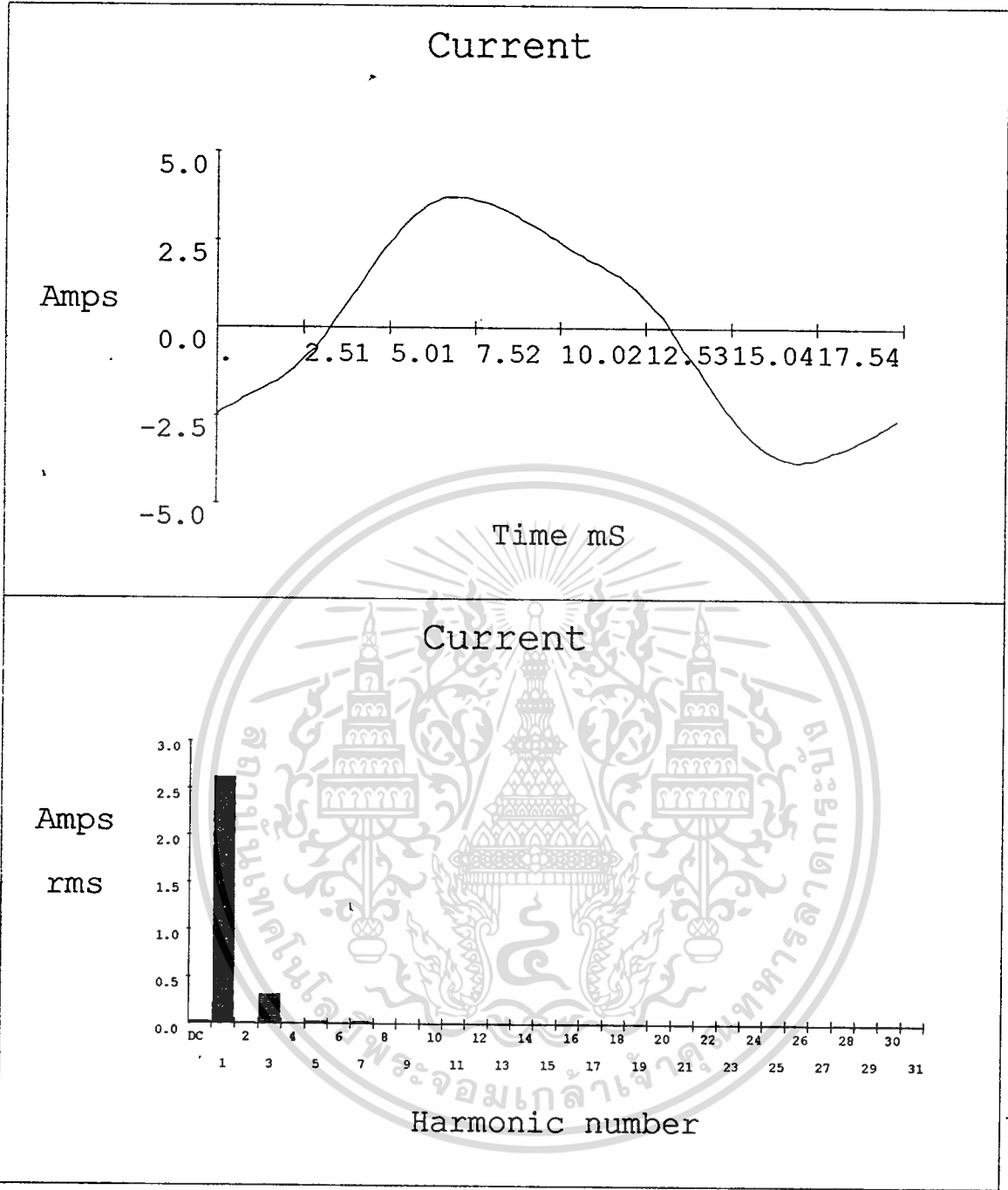
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 5.0 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 5.0 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

		Voltage	Current
Frequency	49.9	RMS 219	2.63
Power		Peak 306	3.84
KW	0.36	DC Offset -1	-0.02
KVA	0.58	Crest 1.4	1.46
KVAR	0.45	THD Rms 0.7	11.8
Peak KW	1.06	THD Fund 0.7	11.9
Phase	52° lag	HRMS 2	0.31
Total PF	0.62	KFactor	1.1
DPF	0.62		

Record Information

	Max	Average	Min
V RMS			
A RMS			
V Peak			
A Peak			
V THD-R%			
A THD-R%			
KWatts			
KVAR			
TPF			
DPF			
Frequency			

Harmonic Information

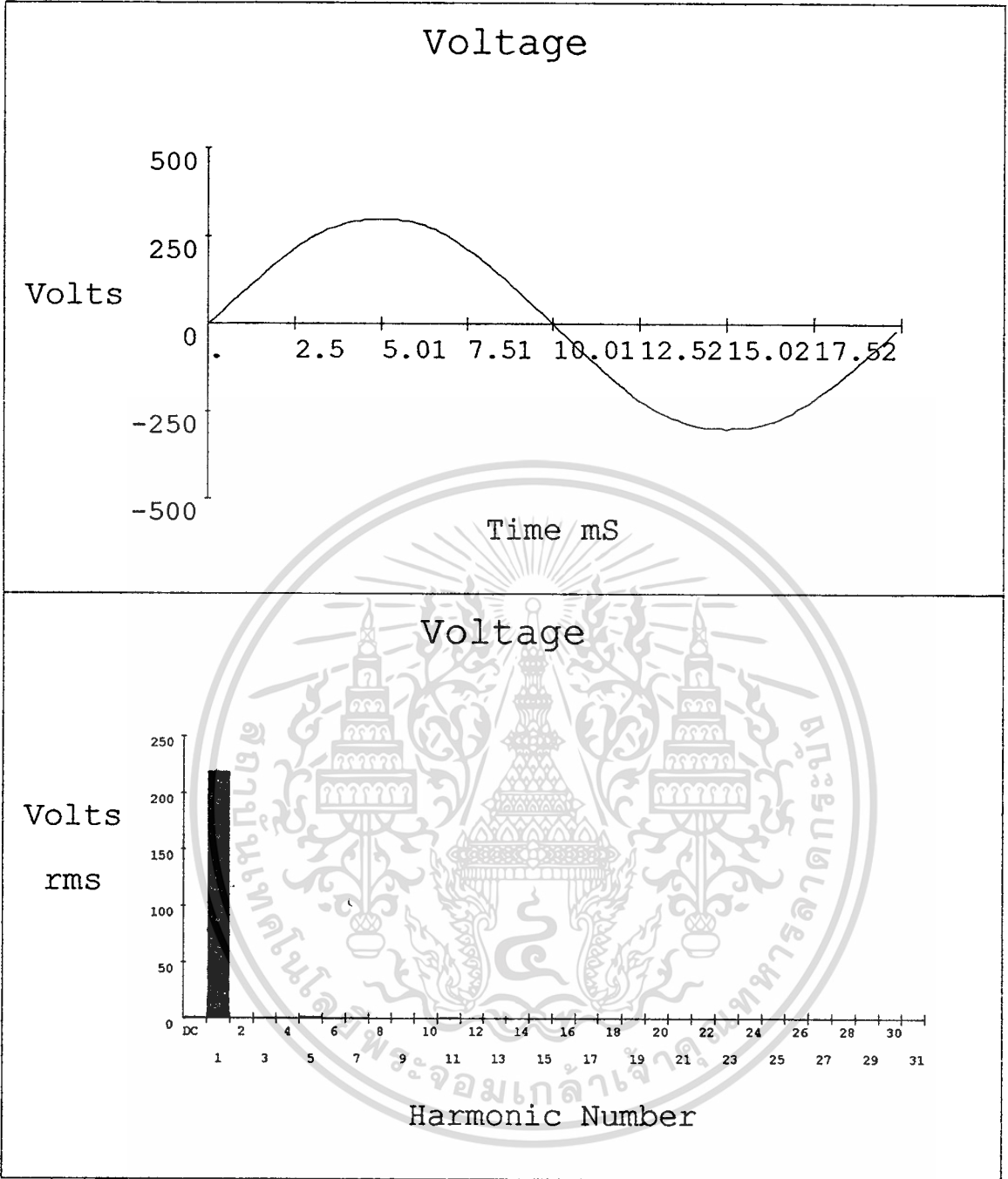
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	1	0.2	0	0.02	0.8	0	0.00
1	49.9	219	100.2	0	2.61	100.1	-52	0.35
2	99.8	0	0.0	84	0.00	0.0	9	0.00
3	149.6	1	0.3	-51	0.31	11.8	118	0.00
4	199.5	0	0.1	115	0.00	0.1	26	0.00
5	249.4	1	0.6	179	0.02	0.9	8	0.00
6	299.3	0	0.0	23	0.00	0.0	-61	0.00
7	349.2	1	0.3	57	0.02	0.7	-11	0.00
8	399.0	0	0.0	-70	0.00	0.0	-88	0.00
9	448.9	0	0.1	160	0.00	0.0	131	0.00
10	498.8	0	0.0	-131	0.00	0.0	49	0.00
11	548.7	0	0.1	-46	0.00	0.1	127	0.00
12	598.6	0	0.0	66	0.00	0.1	138	0.00
13	648.5	0	0.0	39	0.01	0.3	-34	0.00
14	698.3	0	0.0	0	0.00	0.0	-156	0.00
15	748.2	0	0.0	124	0.00	0.2	-153	0.00
16	798.1	0	0.0	180	0.00	0.0	146	0.00
17	848.0	0	0.0	91	0.01	0.3	101	0.00
18	897.9	0	0.0	127	0.00	0.0	151	0.00
19	947.7	0	0.0	67	0.00	0.1	0	0.00
20	997.6	0	0.0	89	0.00	0.0	180	0.00
21	1047.5	0	0.0	-175	0.01	0.2	-176	0.00
22	1097.4	0	0.0	-97	0.00	0.0	-141	0.00
23	1147.3	0	0.0	83	0.00	0.1	94	0.00
24	1197.1	0	0.0	122	0.00	0.0	131	0.00
25	1247.0	0	0.0	-60	0.00	0.1	-23	0.00
26	1296.9	0	0.0	95	0.00	0.1	-14	0.00
27	1346.8	0	0.0	-165	0.00	0.0	-122	0.00
28	1396.7	0	0.0	-103	0.00	0.0	-11	0.00
29	1446.5	0	0.0	16	0.00	0.1	69	0.00
30	1496.4	0	0.0	66	0.00	0.1	108	0.00
31	1546.3	0	0.0	-118	0.00	0.1	-20	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 5.0 N-m

ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

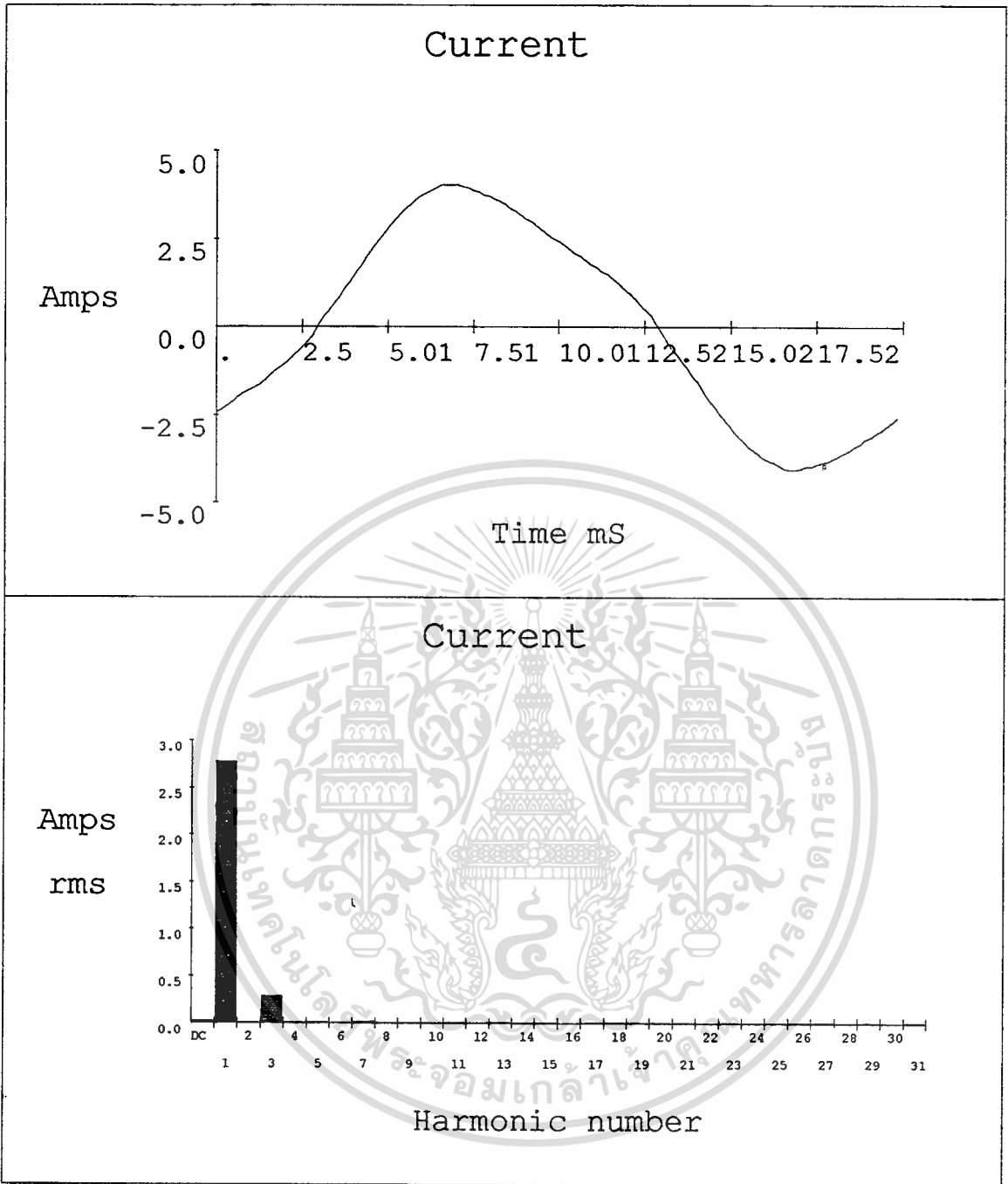
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 6.0 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 6.0 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	49.9	RMS	219	2.79	V RMS		
Power		Peak	306	4.14	A RMS		
KW	0.42	DC Offset	-1	-0.02	V Peak		
KVA	0.61	Crest	1.4	1.48	A Peak		
KVAR	0.44	THD Rms	0.9	10.2	V THD-R%		
Peak KW	1.15	THD Fund	0.9	10.3	A THD-R%		
Phase	47° lag	HRMS	2	0.28	KWatts		
Total PF	0.68	KFactor		1.1	KVAR		
DPF	0.68				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

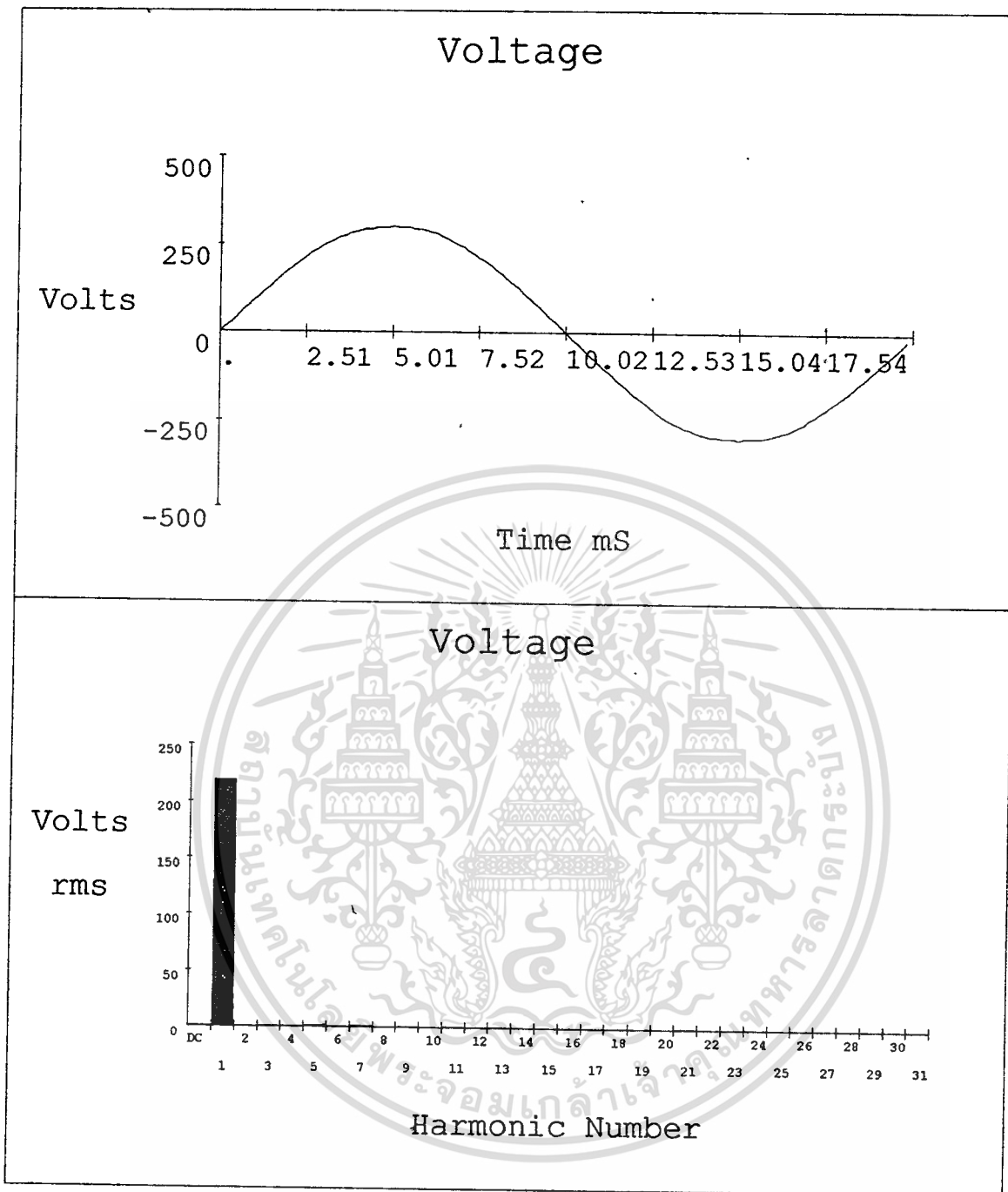
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	1	0.3	0	0.02	0.8	0	0.00
1	49.9	219	100.3	0	2.77	100.3	-47	0.41
2	99.9	0	0.1	-117	0.00	0.1	-160	0.00
3	149.8	1	0.2	-54	0.28	10.2	120	0.00
4	199.7	0	0.1	74	0.01	0.2	3	0.00
5	249.7	2	0.7	-167	0.01	0.5	45	0.00
6	299.6	0	0.0	147	0.00	0.0	91	0.00
7	349.5	1	0.3	40	0.02	0.7	6	0.00
8	399.5	0	0.0	-117	0.00	0.0	-138	0.00
9	449.4	0	0.0	136	0.00	0.2	-46	0.00
10	499.4	0	0.0	23	0.00	0.0	-60	0.00
11	549.3	0	0.1	-62	0.01	0.3	176	0.00
12	599.2	0	0.0	26	0.00	0.1	60	0.00
13	649.2	0	0.0	17	0.01	0.3	8	0.00
14	699.1	0	0.0	110	0.00	0.0	76	0.00
15	749.0	0	0.0	101	0.00	0.1	-52	0.00
16	799.0	0	0.0	-98	0.00	0.0	-63	0.00
17	848.9	0	0.0	-118	0.01	0.2	165	0.00
18	898.8	0	0.0	-4	0.00	0.1	180	0.00
19	948.8	0	0.0	60	0.00	0.1	69	0.00
20	998.7	0	0.0	127	0.00	0.1	134	0.00
21	1048.6	0	0.0	148	0.00	0.1	6	0.00
22	1098.6	0	0.0	-129	0.00	0.0	-133	0.00
23	1148.5	0	0.0	-180	0.00	0.2	176	0.00
24	1198.5	0	0.0	100	0.00	0.0	-165	0.00
25	1248.4	0	0.0	15	0.00	0.1	105	0.00
26	1298.3	0	0.0	132	0.00	0.1	63	0.00
27	1348.3	0	0.0	-148	0.00	0.1	13	0.00
28	1398.2	0	0.0	-122	0.00	0.0	57	0.00
29	1448.1	0	0.0	-41	0.00	0.2	-80	0.00
30	1498.1	0	0.0	36	0.00	0.0	-41	0.00
31	1548.0	0	0.0	134	0.00	0.1	149	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 6.0 N-m

ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

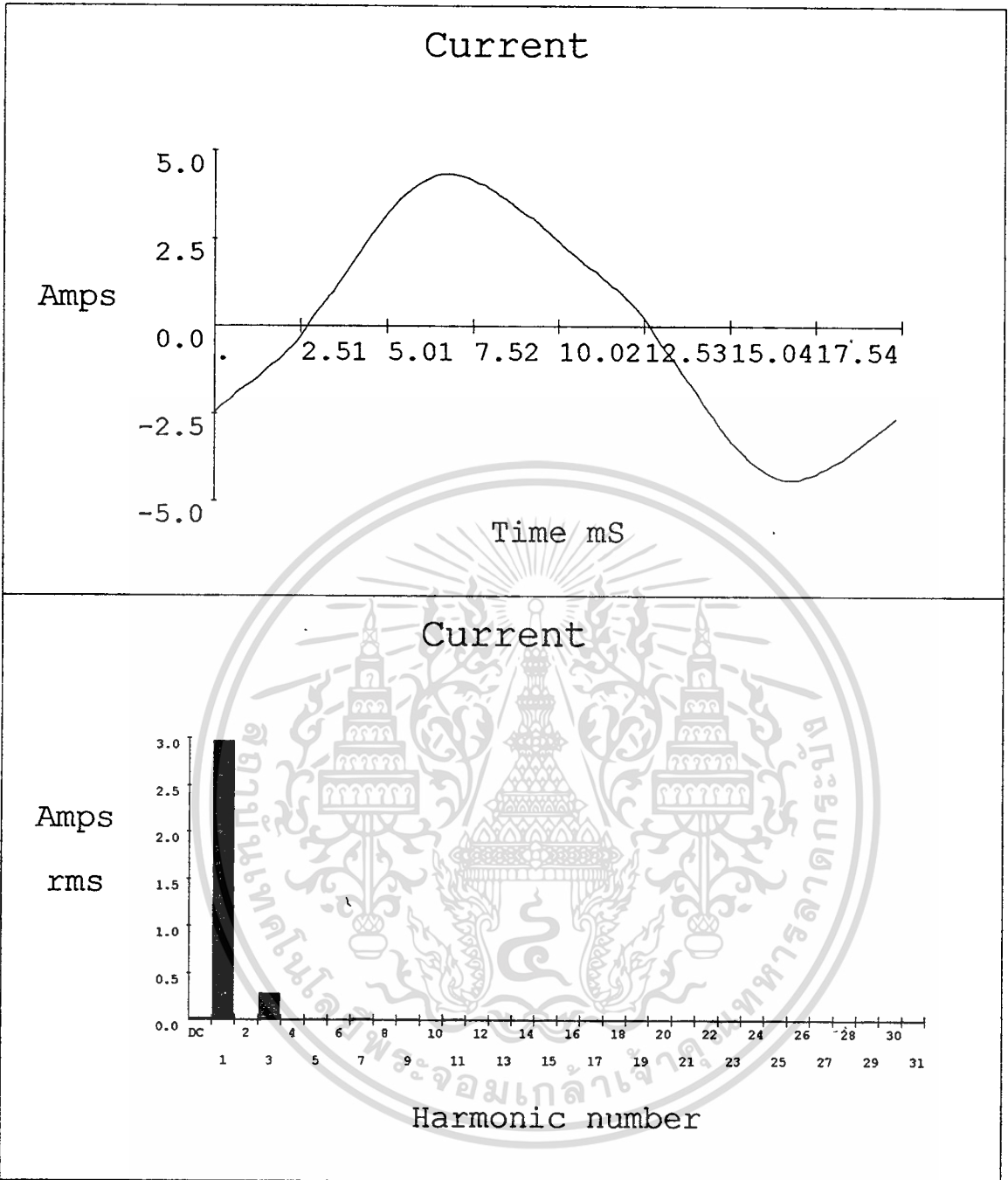
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 7.0 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 7.0 N-m ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Frequency	49.9	RMS	218	2.98
Power		Peak	306	4.47
KW	0.48	DC Offset	0	-0.02
KVA	0.65	Crest	1.4	1.5
KVAR	0.44	THD Rms	0.7	9.5
Peak KW	1.26	THD Fund	0.7	9.5
Phase	43° lag	HRMS	2	0.28
Total PF	0.73	KFactor		1.1
DPF	0.73			

Record Information

	Max	Average	Min
V RMS			
A RMS			
V Peak			
A Peak			
V THD-R%			
A THD-R%			
KWatts			
KVAR			
TPF			
DPF			
Frequency			

Harmonic Information

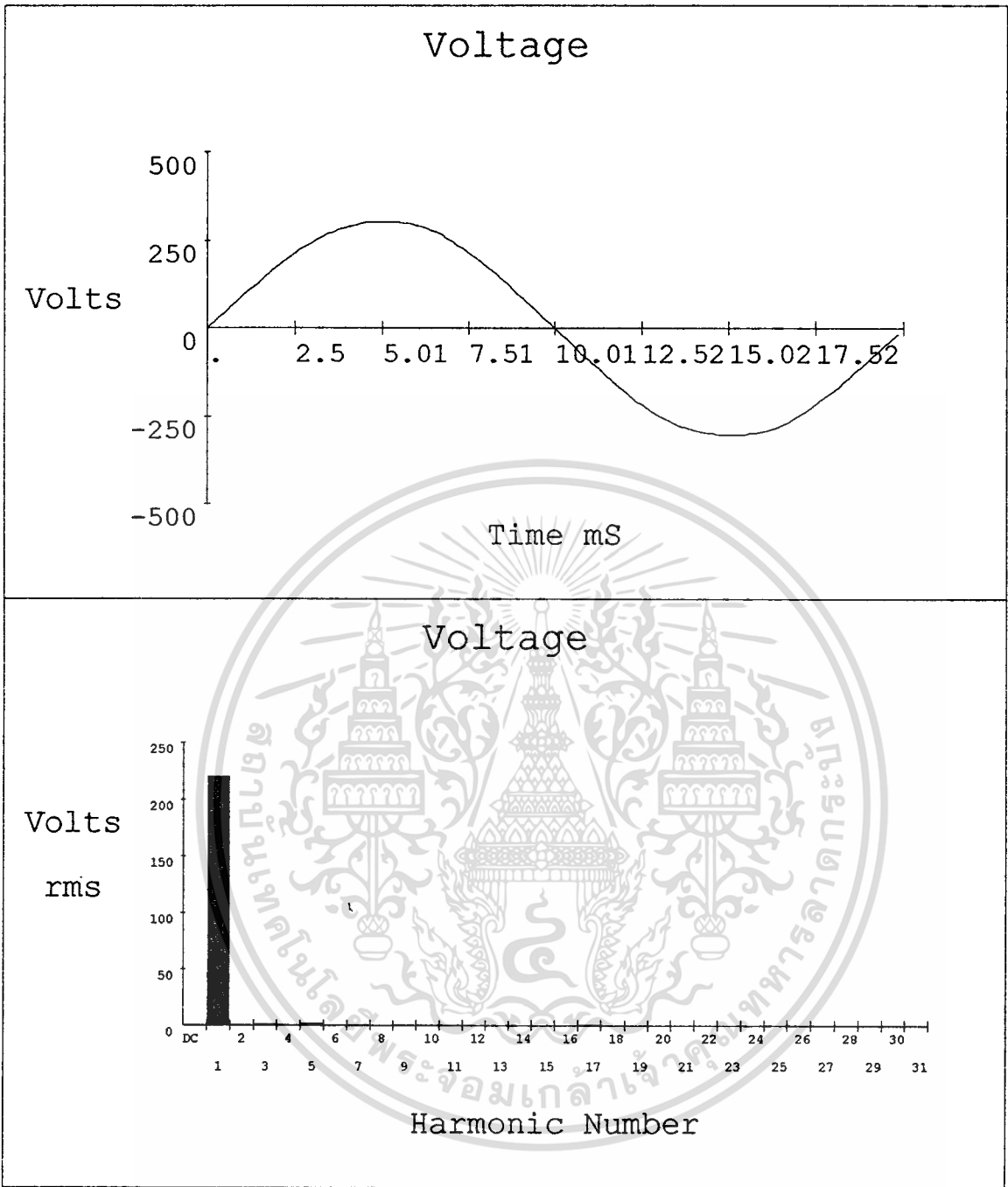
DC	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	0	0.2	0	0.02	0.7	0	0.00
1	49.9	218	100.2	0	2.97	100.2	-43	0.47
2	99.8	0	0.0	65	0.00	0.0	-96	0.00
3	149.6	0	0.2	-78	0.28	9.5	120	0.00
4	199.5	0	0.1	146	0.00	0.1	70	0.00
5	249.4	1	0.6	-169	0.01	0.3	6	0.00
6	299.3	0	0.1	-49	0.00	0.2	-133	0.00
7	349.2	1	0.3	44	0.02	0.6	8	0.00
8	399.0	0	0.0	-3	0.00	0.1	40	0.00
9	448.9	0	0.1	122	0.01	0.3	-16	0.00
10	498.8	0	0.0	117	0.00	0.0	-122	0.00
11	548.7	0	0.1	-51	0.01	0.3	-150	0.00
12	598.6	0	0.0	-95	0.00	0.1	-172	0.00
13	648.5	0	0.1	28	0.01	0.2	60	0.00
14	698.3	0	0.0	-31	0.00	0.0	8	0.00
15	748.2	0	0.0	180	0.01	0.2	13	0.00
16	798.1	0	0.0	117	0.00	0.0	0	0.00
17	848.0	0	0.0	-33	0.00	0.1	-88	0.00
18	897.9	0	0.0	-57	0.00	0.0	-50	0.00
19	947.7	0	0.0	73	0.00	0.1	164	0.00
20	997.6	0	0.0	-158	0.00	0.0	-174	0.00
21	1047.5	0	0.1	118	0.00	0.2	106	0.00
22	1097.4	0	0.0	-112	0.00	0.1	172	0.00
23	1147.3	0	0.0	176	0.00	0.0	-54	0.00
24	1197.1	0	0.0	180	0.00	0.1	-7	0.00
25	1247.0	0	0.0	176	0.00	0.1	-148	0.00
26	1296.9	0	0.0	-137	0.00	0.0	-16	0.00
27	1346.8	0	0.0	124	0.00	0.1	103	0.00
28	1396.7	0	0.0	53	0.00	0.0	-121	0.00
29	1446.5	0	0.0	41	0.01	0.2	32	0.00
30	1496.4	0	0.0	167	0.00	0.1	110	0.00
31	1546.3	0	0.0	-101	0.00	0.1	-42	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 7.0 N-m

ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน วัดจากเครื่องมือวัด FLUKE 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

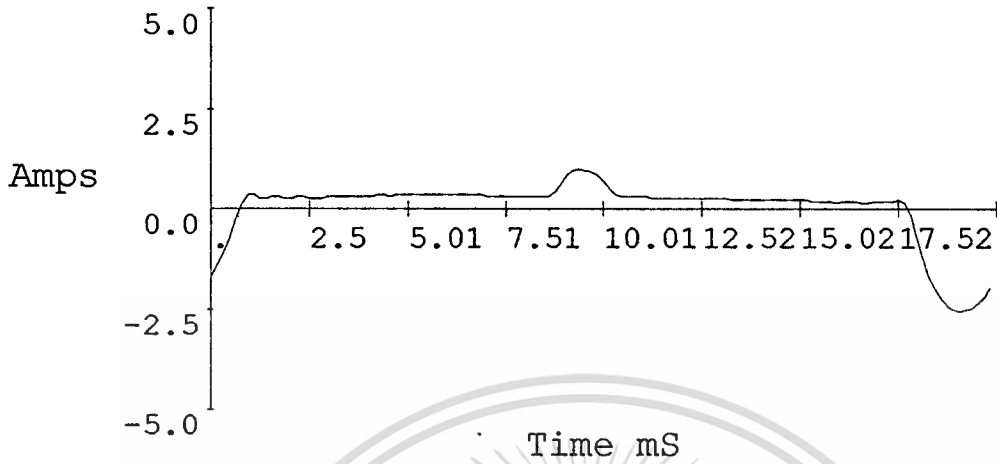
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



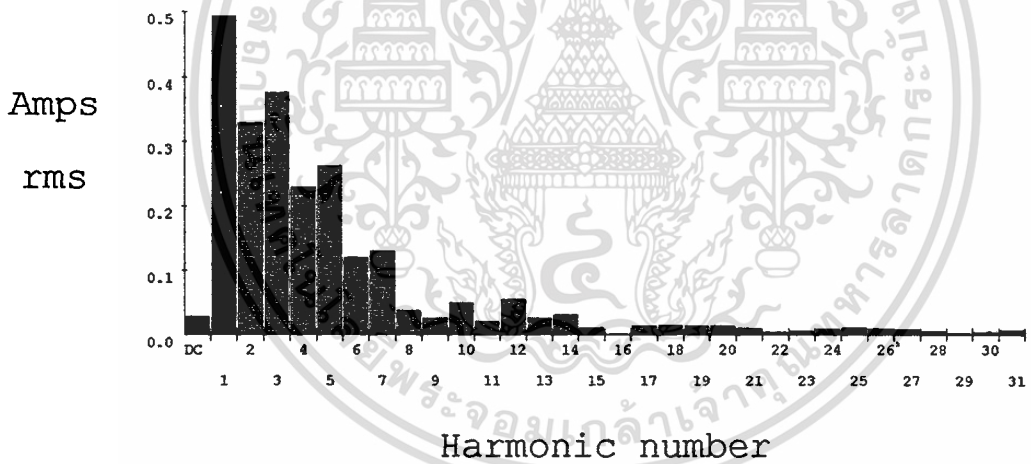
**แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะ No-Load มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current



Current



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะ NO-Load มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
 เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	49.9	RMS	220	0.81	V RMS		
Power		Peak	309	1.82	A RMS		
Watts	32	DC Offset	0	0.03	V Peak		
VA	178	Crest	1.41	2.24	A Peak		
Vars	103	THD Rms	1.0	79.3	V THD-R%		
Peak W	294	THD Fund	1.0	130.3	A THD-R%		
Phase	72° lag	HRMS	2	0.64	Watts		
Total PF	0.18	KFactor		11.8	Volt * Amps		
DPF	0.31				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

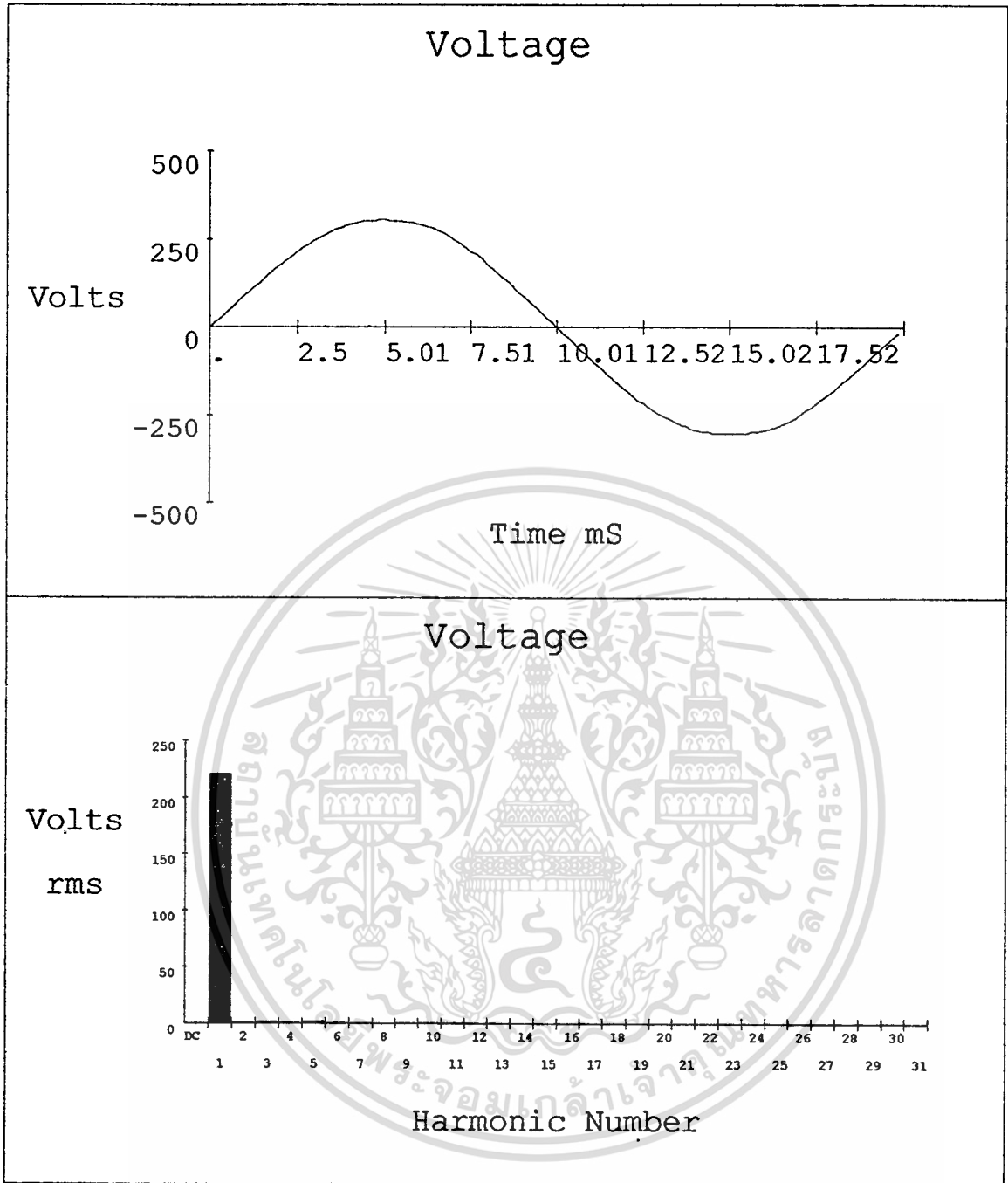
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (W)
DC	0.0	0	0.1	0	0.03	3.5	0	0
1	49.9	220	100.1	-0	0.49	62.9	-72	34
2	99.9	0	0.2	158	0.33	41.9	-59	0
3	149.8	1	0.5	136	0.38	47.9	-49	-1
4	199.7	0	0.2	117	0.23	29.3	-27	0
5	249.7	2	0.8	-166	0.26	33.4	-22	-1
6	299.6	0	0.0	-71	0.12	15.2	8	0
7	349.5	0	0.1	12	0.13	16.6	5	0
8	399.5	0	0.0	-85	0.04	4.9	86	0
9	449.4	0	0.1	172	0.03	3.3	22	0
10	499.4	0	0.1	18	0.05	6.3	-167	0
11	549.3	0	0.2	-68	0.02	2.5	-99	0
12	599.2	0	0.0	124	0.05	6.9	-128	0
13	649.2	0	0.0	18	0.03	3.3	-76	0
14	699.1	0	0.0	108	0.03	3.9	-95	0
15	749.0	0	0.0	142	0.01	1.4	-14	0
16	799.0	0	0.0	-180	0.00	0.1	-30	0
17	848.9	0	0.1	-72	0.01	1.8	118	0
18	898.8	0	0.0	8	0.02	2.0	134	0
19	948.8	0	0.0	44	0.01	1.8	162	0
20	998.7	0	0.0	61	0.01	1.8	151	0
21	1048.6	0	0.0	111	0.01	1.3	-154	0
22	1098.6	0	0.0	-131	0.00	0.5	134	0
23	1148.5	0	0.0	169	0.01	0.7	-34	0
24	1198.5	0	0.0	98	0.01	1.1	62	0
25	1248.4	0	0.0	-35	0.01	1.4	18	0
26	1298.3	0	0.0	16	0.01	1.3	85	0
27	1348.3	0	0.0	-26	0.01	1.0	49	0
28	1398.2	0	0.0	-114	0.00	0.6	121	0
29	1448.1	0	0.0	41	0.00	0.2	0	0
30	1498.1	0	0.0	48	0.00	0.5	-81	0
31	1548.0	0	0.0	-58	0.01	0.9	-58	0

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะ NO-Load

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

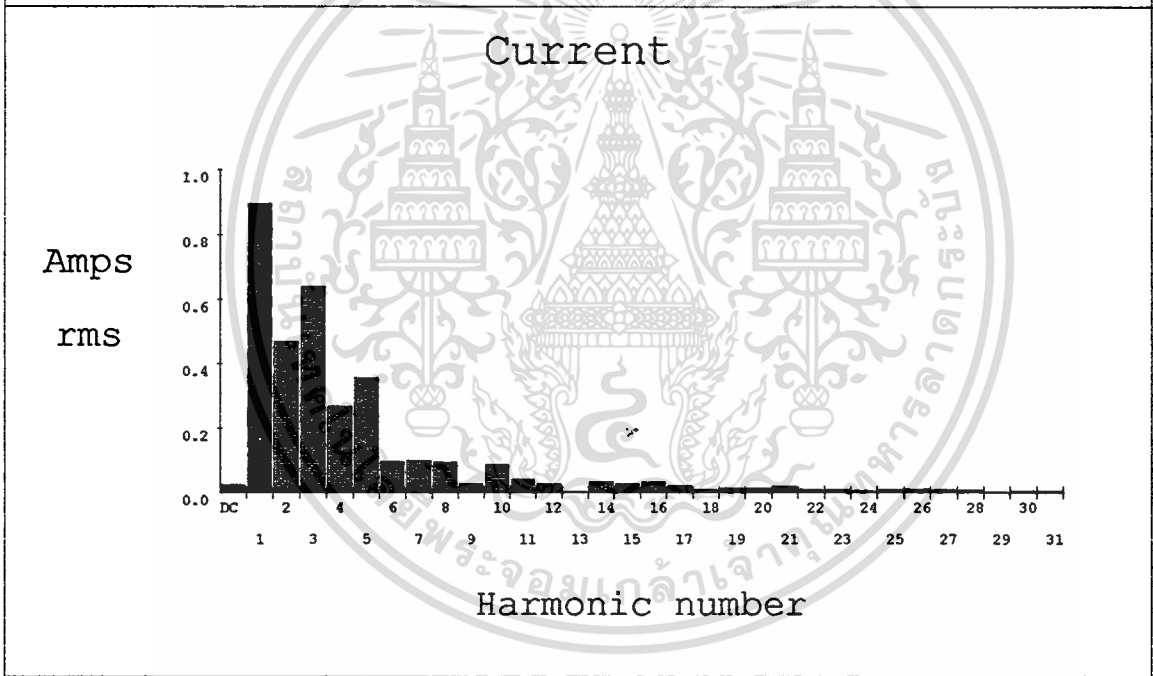
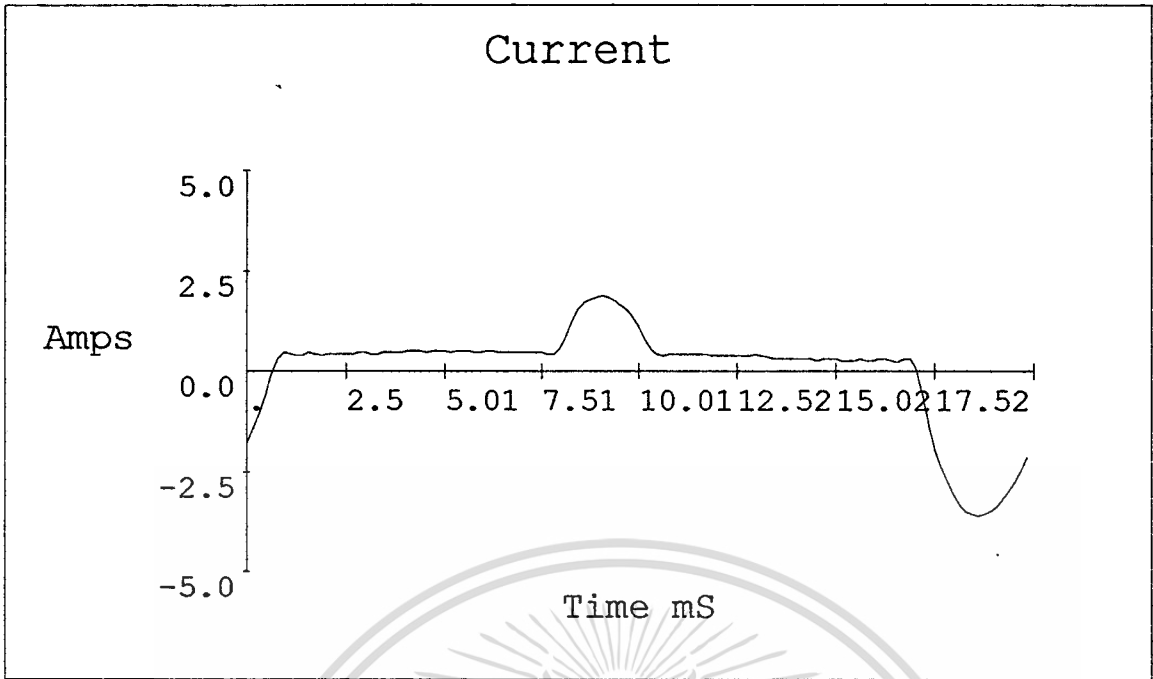
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 1.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 1.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	49.9	RMS	220	1.29	V RMS		
Power		Peak	310	2.79	A RMS		
KW	0.08	DC Offset	0	0.03	V Peak		
KVA	0.29	Crest	1.41	2.16	A Peak		
KVAR	0.18	THD Rms	1.1	72.1	V THD-R%		
Peak KW	0.57	THD Fund	1.1	104.0	A THD-R%		
Phase	66° lag	HRMS	2	0.93	KWatts		
Total PF	0.27	KFactor		8.3	KVAR		
DPF	0.41				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

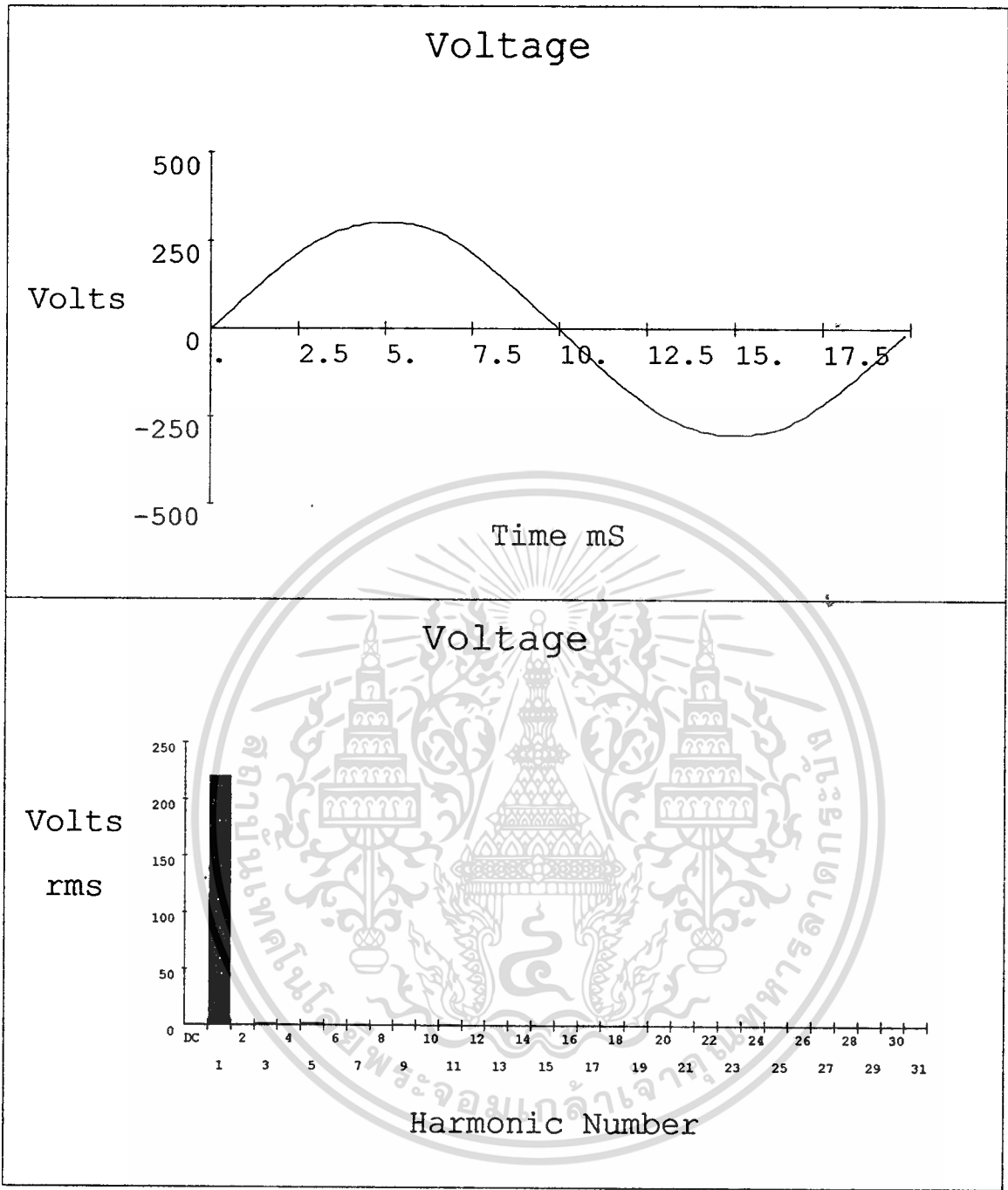
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	0	0.0	0	0.02	2.0	0	0.00
1	49.9	221	100.0	0	0.90	70.7	-66	0.08
2	99.9	0	0.2	175	0.47	36.8	-41	0.00
3	149.8	1	0.6	159	0.64	50.4	-28	0.00
4	199.7	0	0.2	158	0.27	21.1	11	0.00
5	249.7	2	0.8	-168	0.36	28.1	14	0.00
6	299.6	0	0.1	-24	0.09	7.4	97	0.00
7	349.5	0	0.2	-30	0.10	7.8	52	0.00
8	399.5	0	0.0	65	0.09	7.4	-143	0.00
9	449.4	0	0.1	153	0.03	2.2	-79	0.00
10	499.4	0	0.1	131	0.09	6.7	-77	0.00
11	549.3	0	0.1	-58	0.04	3.2	-34	0.00
12	599.2	0	0.0	-159	0.03	2.2	0	0.00
13	649.2	0	0.0	20	0.00	0.2	-68	0.00
14	699.1	0	0.0	72	0.03	2.6	148	0.00
15	749.0	0	0.0	122	0.03	2.2	-123	0.00
16	799.0	0	0.0	98	0.03	2.6	-153	0.00
17	848.9	0	0.0	-98	0.02	1.7	-58	0.00
18	898.8	0	0.0	-175	0.01	0.8	-122	0.00
19	948.8	0	0.0	41	0.01	1.1	53	0.00
20	998.7	0	0.0	27	0.01	1.1	127	0.00
21	1048.6	0	0.0	122	0.02	1.6	157	0.00
22	1098.6	0	0.0	117	0.01	0.8	160	0.00
23	1148.5	0	0.0	112	0.01	0.8	-132	0.00
24	1198.5	0	0.0	15	0.00	0.4	67	0.00
25	1248.4	0	0.0	-49	0.01	0.8	-11	0.00
26	1298.3	0	0.0	0	0.01	1.0	77	0.00
27	1348.3	0	0.0	-28	0.01	0.7	72	0.00
28	1398.2	0	0.0	131	0.01	0.5	133	0.00
29	1448.1	0	0.0	13	0.00	0.1	-180	0.00
30	1498.1	0	0.0	172	0.01	0.5	-39	0.00
31	1548.0	0	0.0	-93	0.01	0.4	-44	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 1.0 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

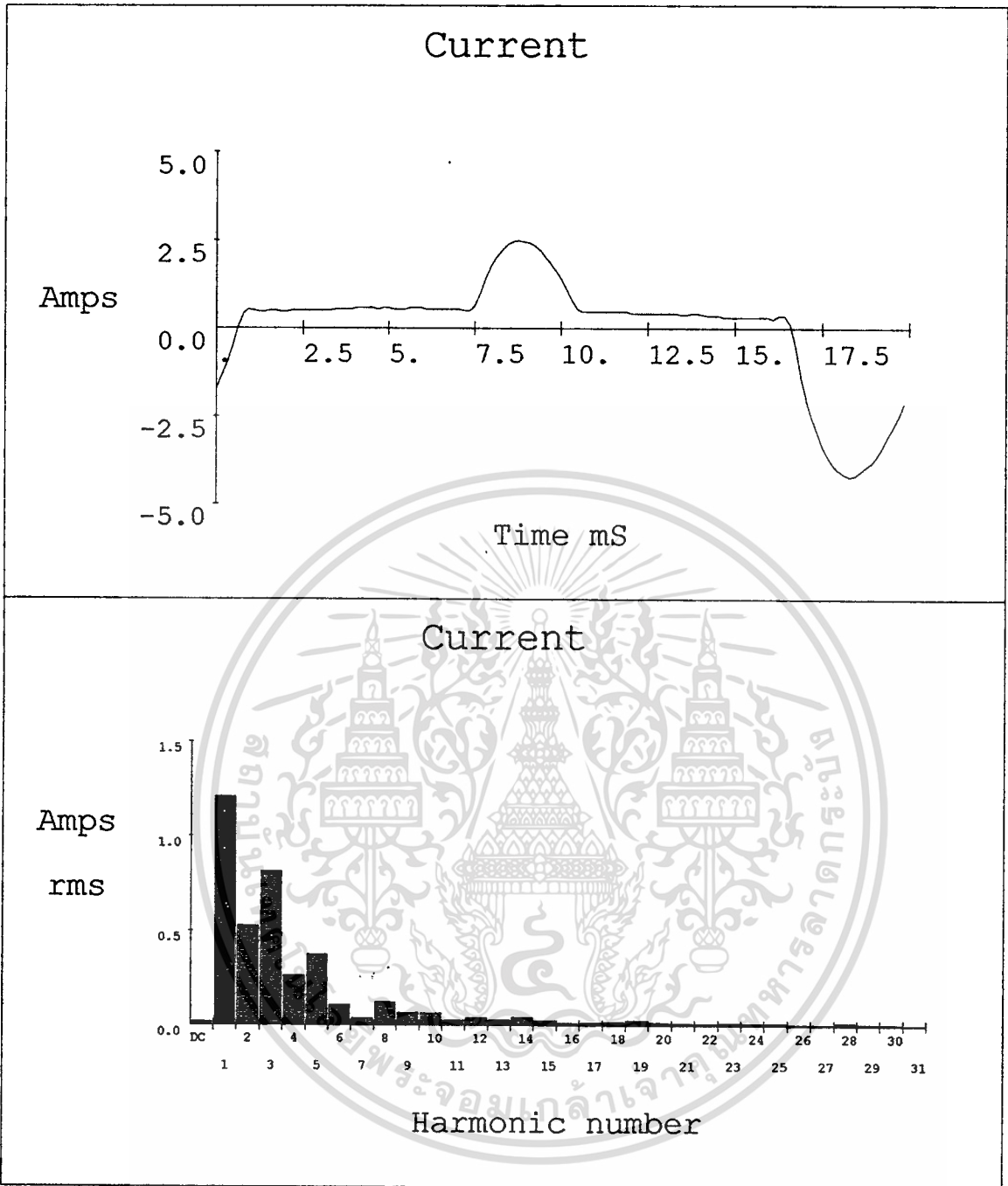
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 1.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 1.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Frequency	50.0
Power	
KW	0.12
KVA	0.36
KVAR	0.24
Peak KW	0.78
Phase	63° lag
Total PF	0.34
DPF	0.45

Record Information

	Max	Average	Min
V RMS			
A RMS			
V Peak			
A Peak			
V THD-R%			
A THD-R%			
KWatts			
KVAR			
TPF			
DPF			
Frequency			

Harmonic Information

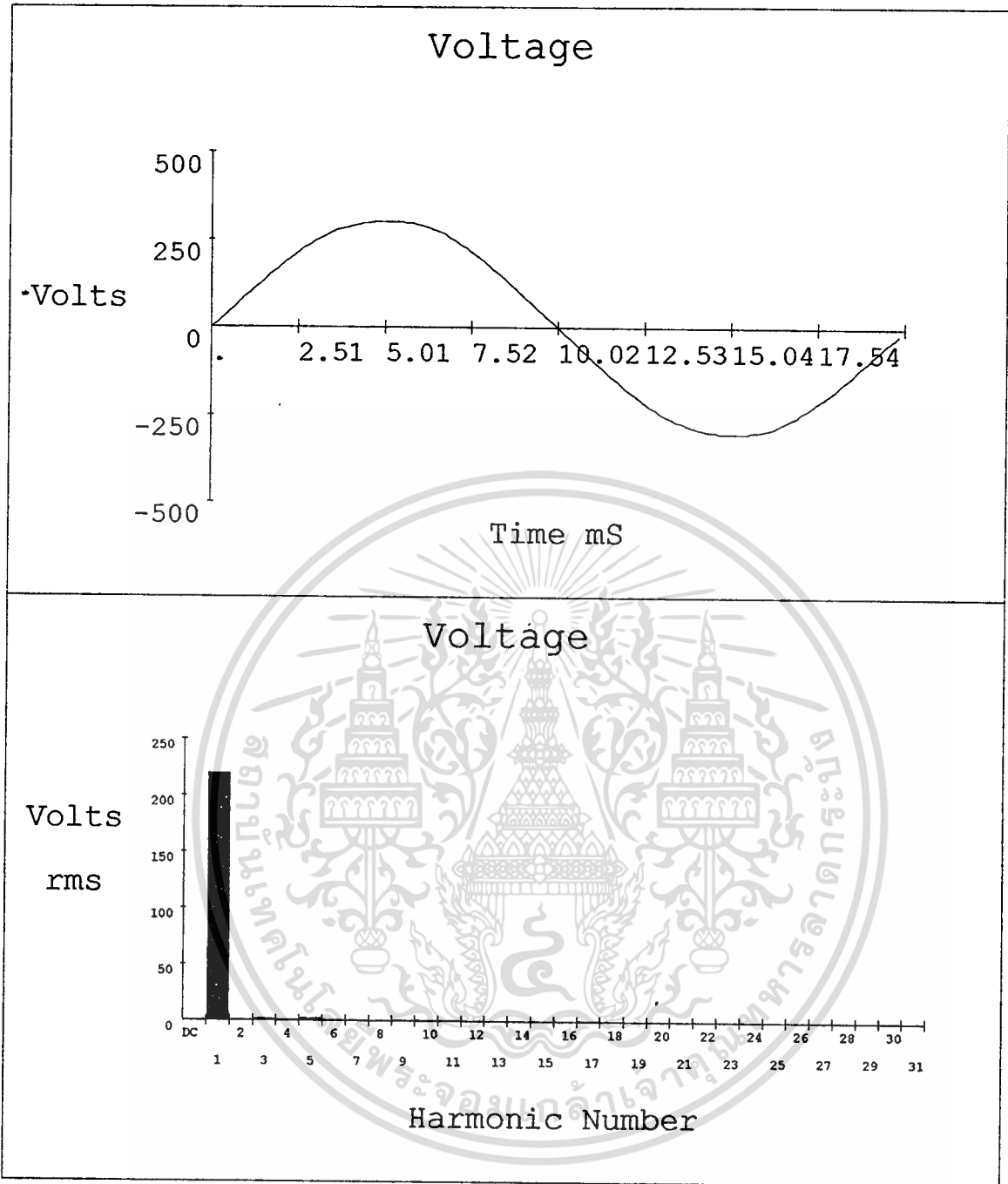
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	0	0.1	0	0.02	1.2	0	0.00
1	50.0	220	100.1	0	1.21	75.0	-63	0.12
2	100.0	0	0.2	-158	0.53	32.7	-29	0.00
3	150.0	1	0.6	165	0.81	50.5	-15	0.00
4	200.0	0	0.1	-142	0.26	16.4	41	0.00
5	250.0	2	0.9	-165	0.38	23.3	34	0.00
6	299.9	0	0.1	20	0.11	6.8	160	0.00
7	349.9	0	0.2	-3	0.04	2.5	89	0.00
8	399.9	0	0.0	141	0.12	7.6	-93	0.00
9	449.9	0	0.1	145	0.07	4.1	-51	0.00
10	499.9	0	0.0	-151	0.06	3.9	-4	0.00
11	549.9	0	0.2	-77	0.03	1.7	-20	0.00
12	599.9	0	0.0	-5	0.04	2.6	141	0.00
13	649.9	0	0.0	23	0.03	1.9	-101	0.00
14	699.9	0	0.0	101	0.05	2.9	-138	0.00
15	749.9	0	0.0	171	0.03	1.7	-48	0.00
16	799.9	0	0.0	-149	0.01	0.6	-48	0.00
17	849.8	0	0.0	-79	0.01	0.9	134	0.00
18	899.8	0	0.0	90	0.02	1.3	131	0.00
19	949.8	0	0.0	89	0.03	1.6	-147	0.00
20	999.8	0	0.0	85	0.01	0.8	174	0.00
21	1049.8	0	0.0	163	0.01	0.7	-65	0.00
22	1099.8	0	0.0	-43	0.01	0.5	89	0.00
23	1149.8	0	0.0	-63	0.01	0.9	103	0.00
24	1199.8	0	0.0	-11	0.01	0.7	124	0.00
25	1249.8	0	0.0	-39	0.01	0.7	179	0.00
26	1299.8	0	0.0	32	0.01	0.4	11	0.00
27	1349.8	0	0.0	-158	0.00	0.3	-32	0.00
28	1399.7	0	0.0	78	0.01	0.9	52	0.00
29	1449.7	0	0.0	17	0.01	0.5	52	0.00
30	1499.7	0	0.0	-13	0.01	0.4	109	0.00
31	1549.7	0	0.0	-8	0.00	0.0	-180	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 1.5 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

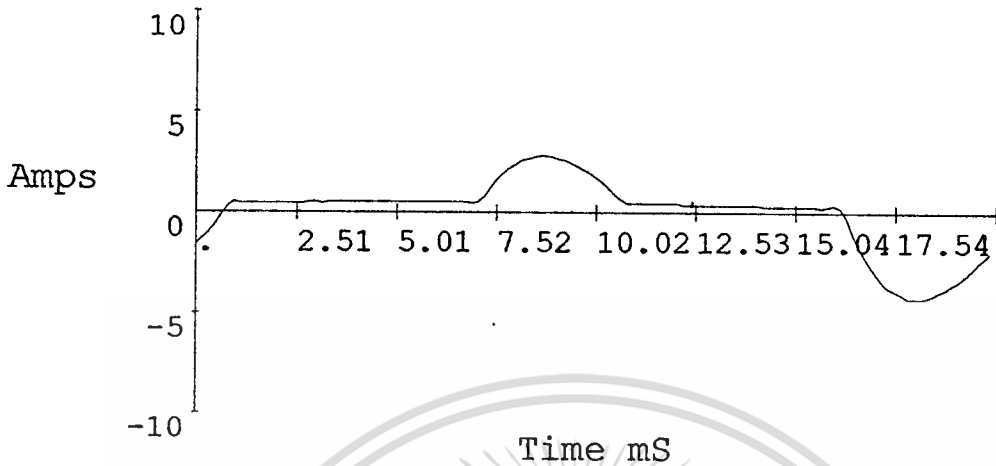
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



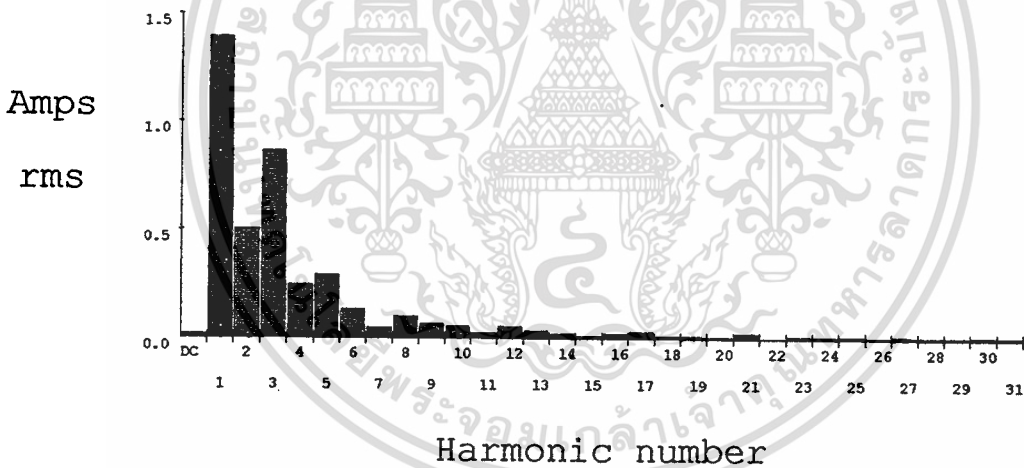
**แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 2.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current



Current



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 2.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	49.9	RMS	219	1.77	V RMS		
Power		Peak	308	3.59	A RMS		
KW	0.15	DC Offset	0	0.02	V Peak		
KVA	0.39	Crest	1.41	2.03	A Peak		
KVAR	0.26	THD Rms	1.1	61.4	V THD-R%		
Peak KW	0.87	THD Fund	1.1	77.9	A THD-R%		
Phase	60° lag	HRMS	3	1.09	KWatts		
Total PF	0.40	KFactor		5.4	KVAR		
DPF	0.50				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

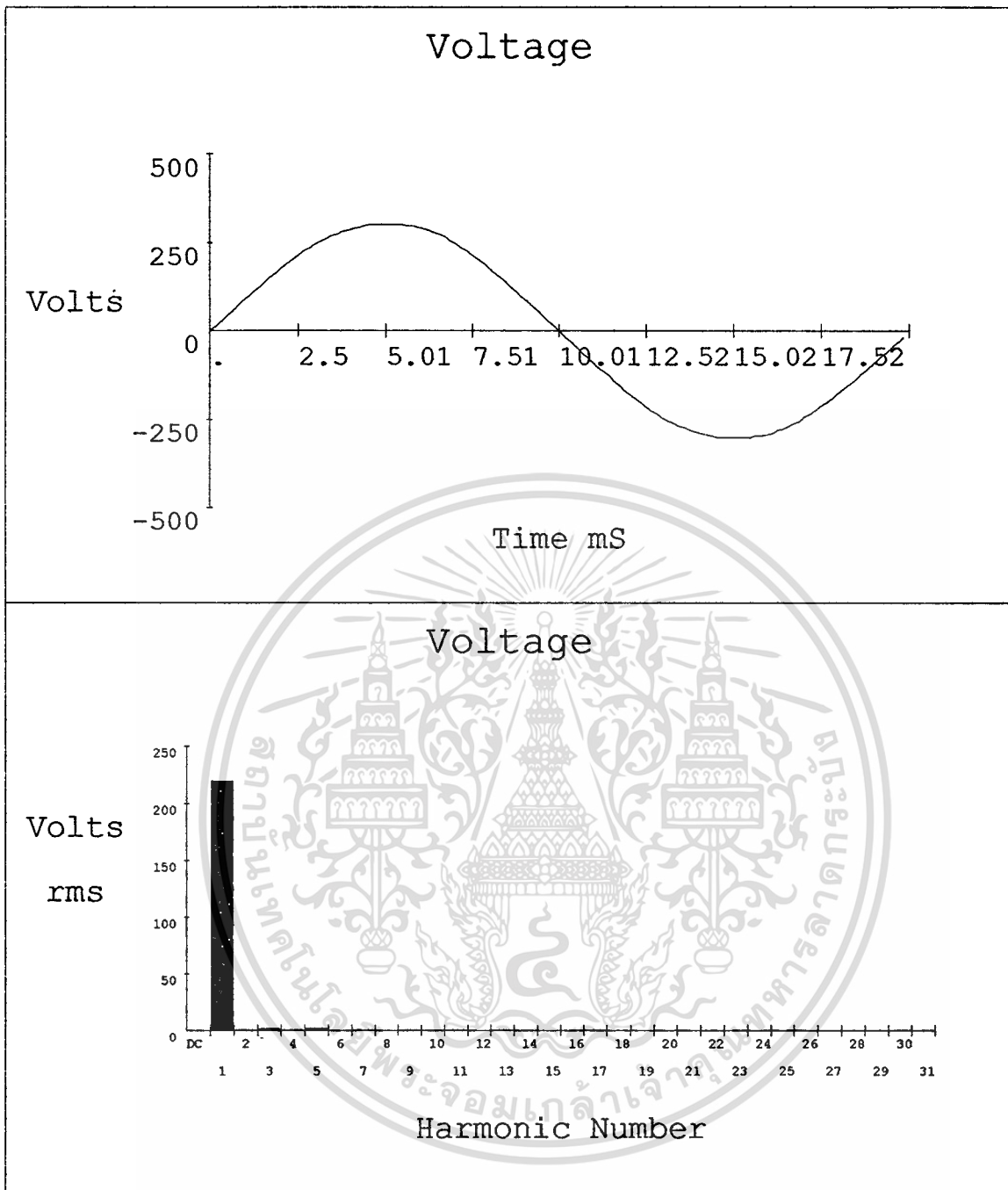
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	0	0.1	0	0.02	1.0	0	0.00
1	49.9	219	100.1	0	1.40	79.7	-60	0.15
2	99.8	0	0.2	-153	0.50	28.6	-15	0.00
3	149.6	1	0.6	172	0.86	49.1	-6	0.00
4	199.5	0	0.1	-124	0.24	14.0	75	0.00
5	249.4	2	0.9	-164	0.29	16.6	51	0.00
6	299.3	0	0.1	64	0.13	7.6	-157	0.00
7	349.2	1	0.2	12	0.05	2.7	-94	0.00
8	399.0	0	0.0	-143	0.10	5.8	-45	0.00
9	448.9	0	0.1	179	0.07	3.9	-34	0.00
10	498.8	0	0.0	-93	0.06	3.2	87	0.00
11	548.7	0	0.1	-83	0.03	1.5	-97	0.00
12	598.6	0	0.0	9	0.05	3.1	-150	0.00
13	648.5	0	0.0	87	0.04	2.0	-76	0.00
14	698.3	0	0.0	95	0.02	1.4	-30	0.00
15	748.2	0	0.0	35	0.01	0.7	154	0.00
16	798.1	0	0.0	19	0.02	1.3	117	0.00
17	848.0	0	0.1	-40	0.03	1.9	-141	0.00
18	897.9	0	0.0	134	0.01	0.7	-165	0.00
19	947.7	0	0.0	117	0.01	0.6	-25	0.00
20	997.6	0	0.0	145	0.01	0.4	85	0.00
21	1047.5	0	0.0	29	0.02	1.3	131	0.00
22	1097.4	0	0.0	63	0.00	0.2	-180	0.00
23	1147.3	0	0.0	18	0.01	0.7	-155	0.00
24	1197.1	0	0.0	-25	0.01	0.5	20	0.00
25	1247.0	0	0.0	-41	0.01	0.7	37	0.00
26	1296.9	0	0.0	158	0.01	0.5	101	0.00
27	1346.8	0	0.0	-67	0.01	0.6	111	0.00
28	1396.7	0	0.0	-27	0.01	0.4	-72	0.00
29	1446.5	0	0.0	-72	0.01	0.4	-10	0.00
30	1496.4	0	0.0	0	0.01	0.6	2	0.00
31	1546.3	0	0.0	-51	0.01	0.4	44	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 2.0 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

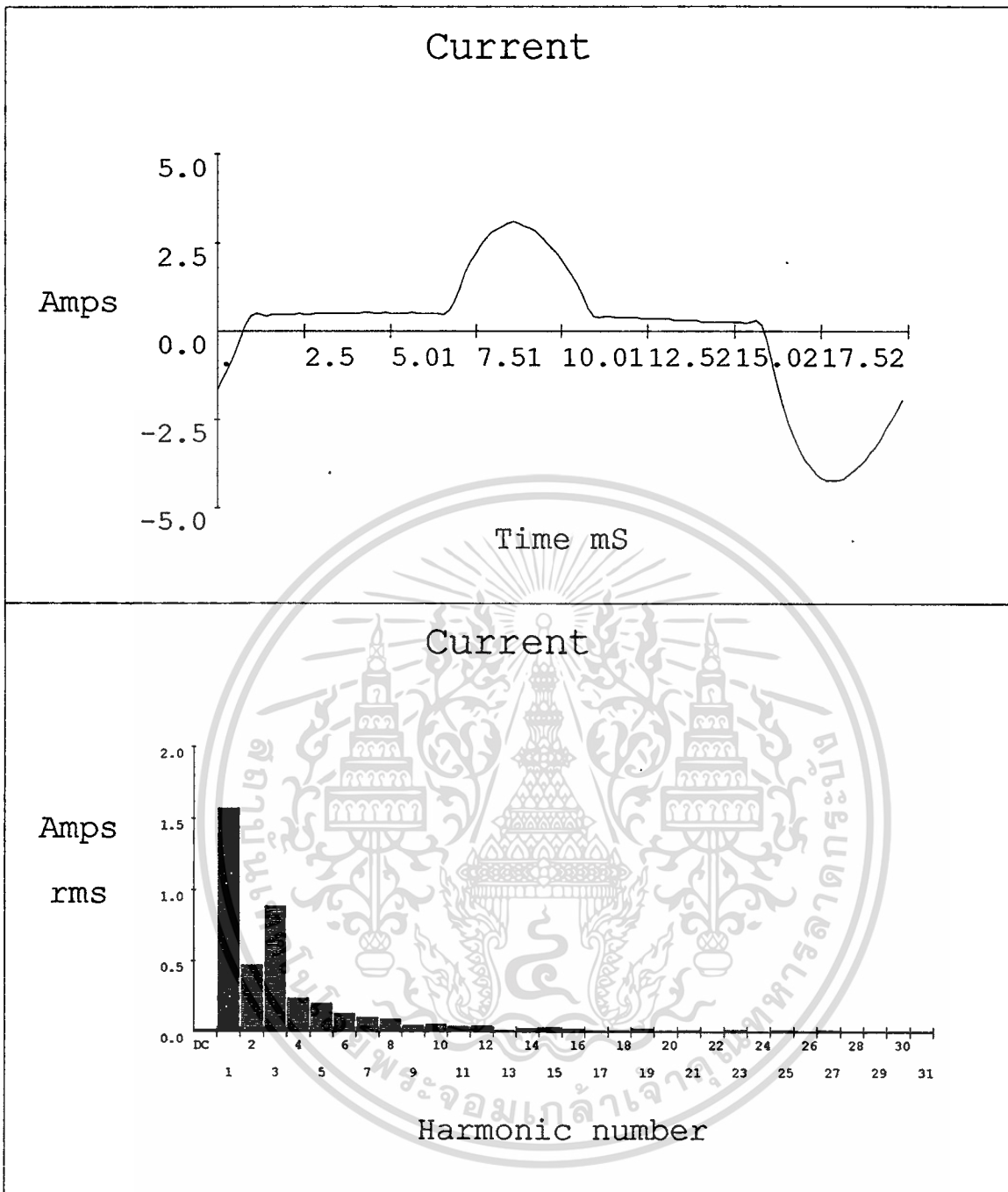
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 2.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 2.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
 เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

		Voltage	Current
Frequency	49.9	RMS 219	1.90
Power		Peak 309	3.74
KW	0.18	DC Offset 0	0.02
KVA	0.42	Crest 1.41	1.96
KVAR	0.29	THD Rms 1.0	56.4
Peak KW	0.94	THD Fund 1.0	68.3
Phase	58° lag	HRMS 2	1.07
Total PF	0.43	KFactor	4.5
DPF	0.53		

Record Information

	Max	Average	Min
V RMS			
A RMS			
V Peak			
A Peak			
V THD-R%			
A THD-R%			
KWatts			
KVAR			
TPF			
DPF			
Frequency			

Harmonic Information

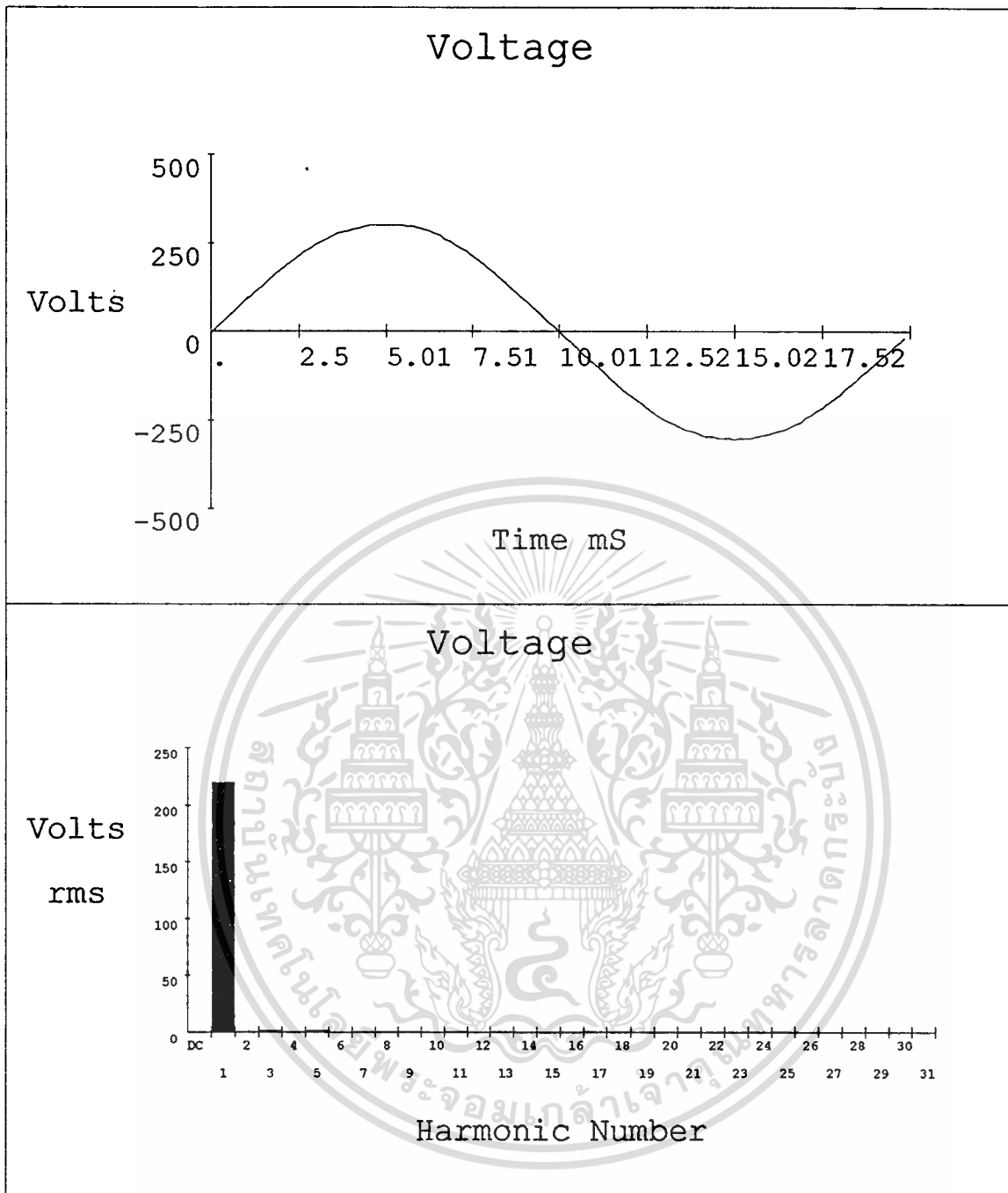
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	0	0.0	0	0.01	0.8	0	0.00
1	49.9	219	100.0	0	1.57	83.2	-58	0.18
2	99.9	0	0.2	-149	0.47	24.8	-3	0.00
3	149.8	1	0.6	179	0.89	46.9	-1	0.00
4	199.7	0	0.1	-93	0.24	12.7	98	0.00
5	249.7	2	0.8	-159	0.20	10.7	65	0.00
6	299.6	0	0.0	67	0.13	6.9	-129	0.00
7	349.5	1	0.2	11	0.10	5.3	-81	0.00
8	399.5	0	0.0	-105	0.09	4.7	2	0.00
9	449.4	0	0.1	170	0.05	2.6	-36	0.00
10	499.4	0	0.0	-20	0.06	3.0	141	0.00
11	549.3	0	0.1	-71	0.04	2.2	-113	0.00
12	599.2	0	0.0	-171	0.04	2.3	-89	0.00
13	649.2	0	0.0	53	0.01	0.5	-113	0.00
14	699.1	0	0.0	105	0.03	1.5	56	0.00
15	749.0	0	0.0	111	0.03	1.8	-170	0.00
16	799.0	0	0.0	78	0.02	1.1	-170	0.00
17	848.9	0	0.0	-116	0.01	0.4	-102	0.00
18	898.8	0	0.0	92	0.01	0.4	-30	0.00
19	948.8	0	0.0	33	0.02	1.3	113	0.00
20	998.7	0	0.0	-42	0.01	0.3	125	0.00
21	1048.6	0	0.0	148	0.01	0.6	-166	0.00
22	1098.6	0	0.0	11	0.00	0.2	-43	0.00
23	1148.5	0	0.0	-91	0.02	0.9	37	0.00
24	1198.5	0	0.0	68	0.00	0.2	108	0.00
25	1248.4	0	0.0	-26	0.01	0.5	94	0.00
26	1298.3	0	0.0	-139	0.01	0.3	-60	0.00
27	1348.3	0	0.0	-21	0.01	0.5	-33	0.00
28	1398.2	0	0.0	88	0.01	0.4	61	0.00
29	1448.1	0	0.0	-58	0.01	0.4	7	0.00
30	1498.1	0	0.0	33	0.00	0.3	-172	0.00
31	1548.0	0	0.0	-12	0.01	0.4	-75	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 2.5 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

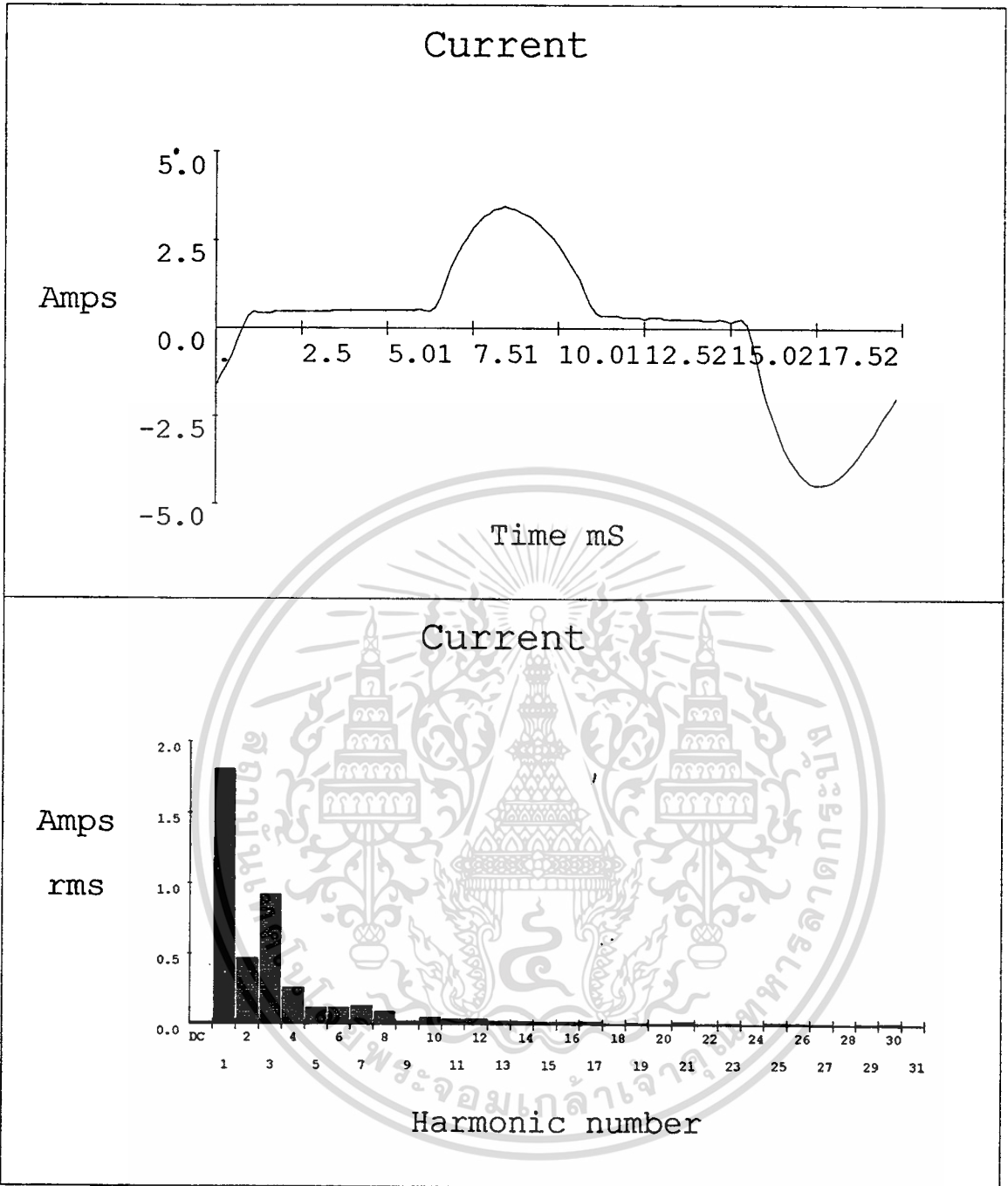
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 3.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
 เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 3.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	49.9	RMS	220	2.11	V RMS		
Power		Peak	310	4.03	A RMS		
KW	0.22	DC Offset	0	0.01	V Peak		
KVA	0.46	Crest	1.41	1.91	A Peak		
KVAR	0.33	THD Rms	1.0	51.9	V THD-R%		
Peak KW	1.05	THD Fund	1.0	60.7	A THD-R%		
Phase	56° lag	HRMS	2	1.10	KWatts		
Total PF	0.48	KFactor		3.8	KVAR		
DPF	0.56				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

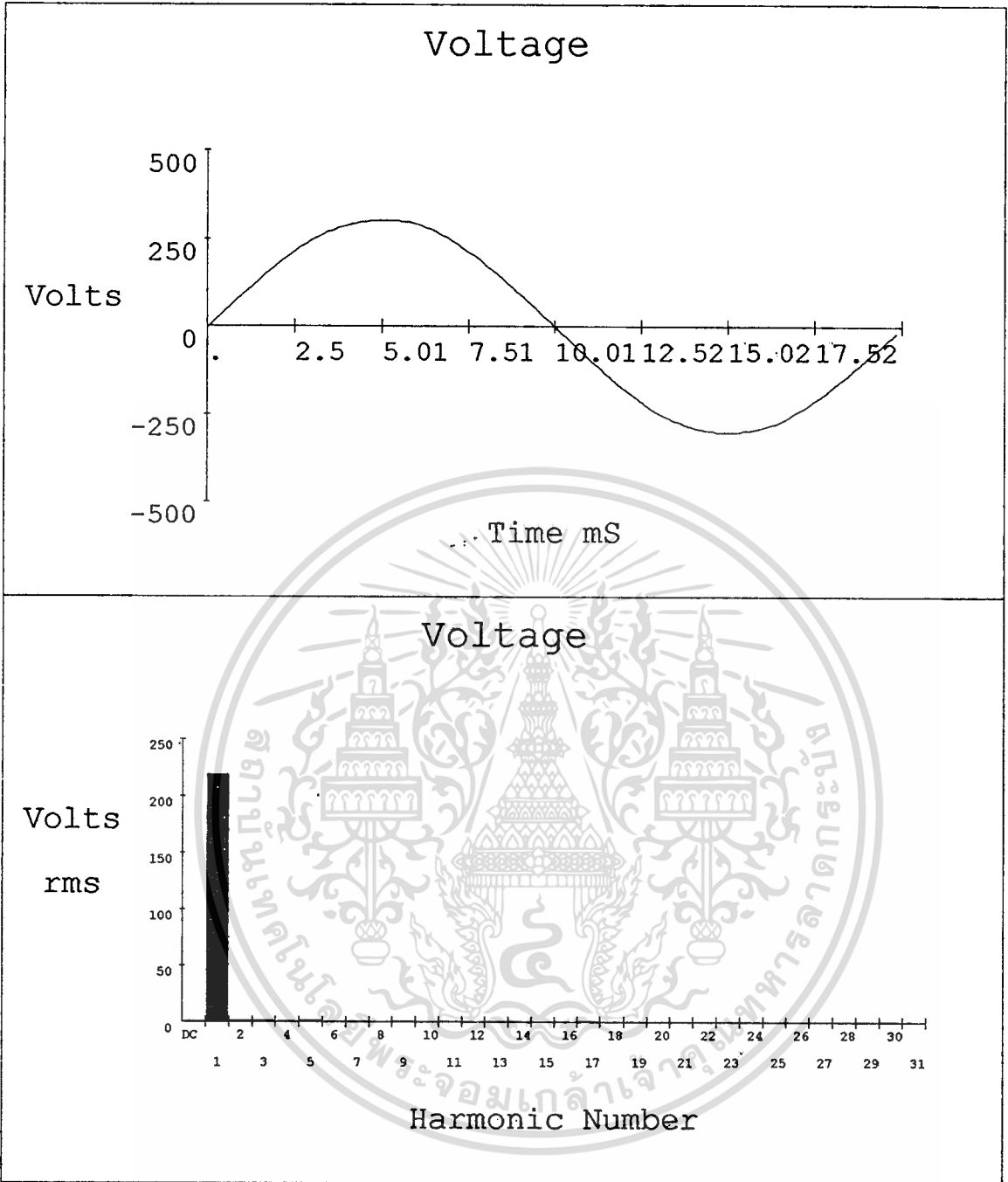
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	0	0.0	0	0.01	0.7	0	0.00
1	49.9	220	100.1	0	1.80	86.0	-56	0.22
2	99.9	1	0.2	-136	0.47	22.3	13	0.00
3	149.8	1	0.5	-170	0.92	44.0	6	0.00
4	199.7	0	0.1	-65	0.26	12.3	120	0.00
5	249.7	2	0.7	-158	0.12	5.7	91	0.00
6	299.6	0	0.0	-150	0.12	5.7	-94	0.00
7	349.5	0	0.1	4	0.13	6.2	-70	0.00
8	399.5	0	0.1	-74	0.09	4.2	46	0.00
9	449.4	0	0.1	158	0.02	1.1	-67	0.00
10	499.4	0	0.0	67	0.05	2.6	-155	0.00
11	549.3	0	0.1	-65	0.04	1.8	-109	0.00
12	599.2	0	0.0	-168	0.04	2.1	-25	0.00
13	649.2	0	0.1	39	0.02	1.1	178	0.00
14	699.1	0	0.0	-12	0.02	1.1	143	0.00
15	749.0	0	0.0	-163	0.02	1.0	-135	0.00
16	799.0	0	0.0	120	0.02	1.0	-93	0.00
17	848.9	0	0.1	-59	0.02	1.2	92	0.00
18	898.8	0	0.0	180	0.01	0.4	103	0.00
19	948.8	0	0.0	54	0.01	0.7	174	0.00
20	998.7	0	0.0	-75	0.01	0.3	-167	0.00
21	1048.6	0	0.0	-178	0.02	0.8	29	0.00
22	1098.6	0	0.0	-26	0.01	0.3	122	0.00
23	1148.5	0	0.0	-61	0.01	0.5	117	0.00
24	1198.5	0	0.0	-88	0.00	0.1	-44	0.00
25	1248.4	0	0.0	-85	0.01	0.7	-43	0.00
26	1298.3	0	0.0	-136	0.01	0.5	70	0.00
27	1348.3	0	0.0	135	0.01	0.3	21	0.00
28	1398.2	0	0.0	7	0.00	0.2	-108	0.00
29	1448.1	0	0.0	37	0.01	0.3	-86	0.00
30	1498.1	0	0.0	51	0.01	0.5	3	0.00
31	1548.0	0	0.0	-168	0.00	0.1	-58	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 3.0 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

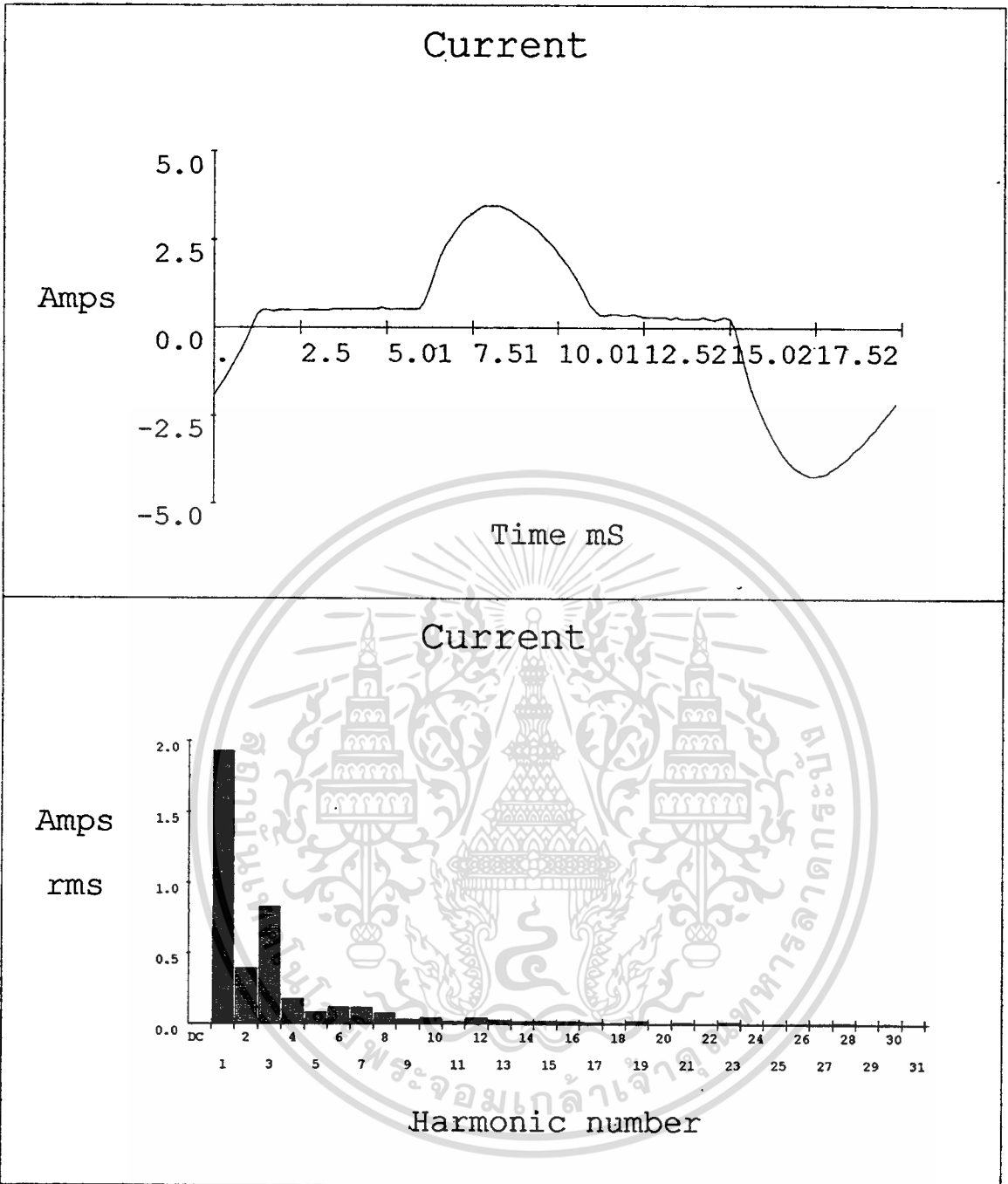
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 3.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
 เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 3.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	49.9	RMS	219	2.16	V RMS		
Power		Peak	309	3.93	A RMS		
KW	0.25	DC Offset	0	0.00	V Peak		
KVA	0.47	Crest	1.41	1.82	A Peak		
KVAR	0.34	THD Rms	1.0	44.8	V THD-R%		
Peak KW	1.05	THD Fund	1.0	50.1	A THD-R%		
Phase	54° lag	HRMS	2	0.97	KWatts		
Total PF	0.53	KFactor		3.2	KVAR		
DPF	0.59				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

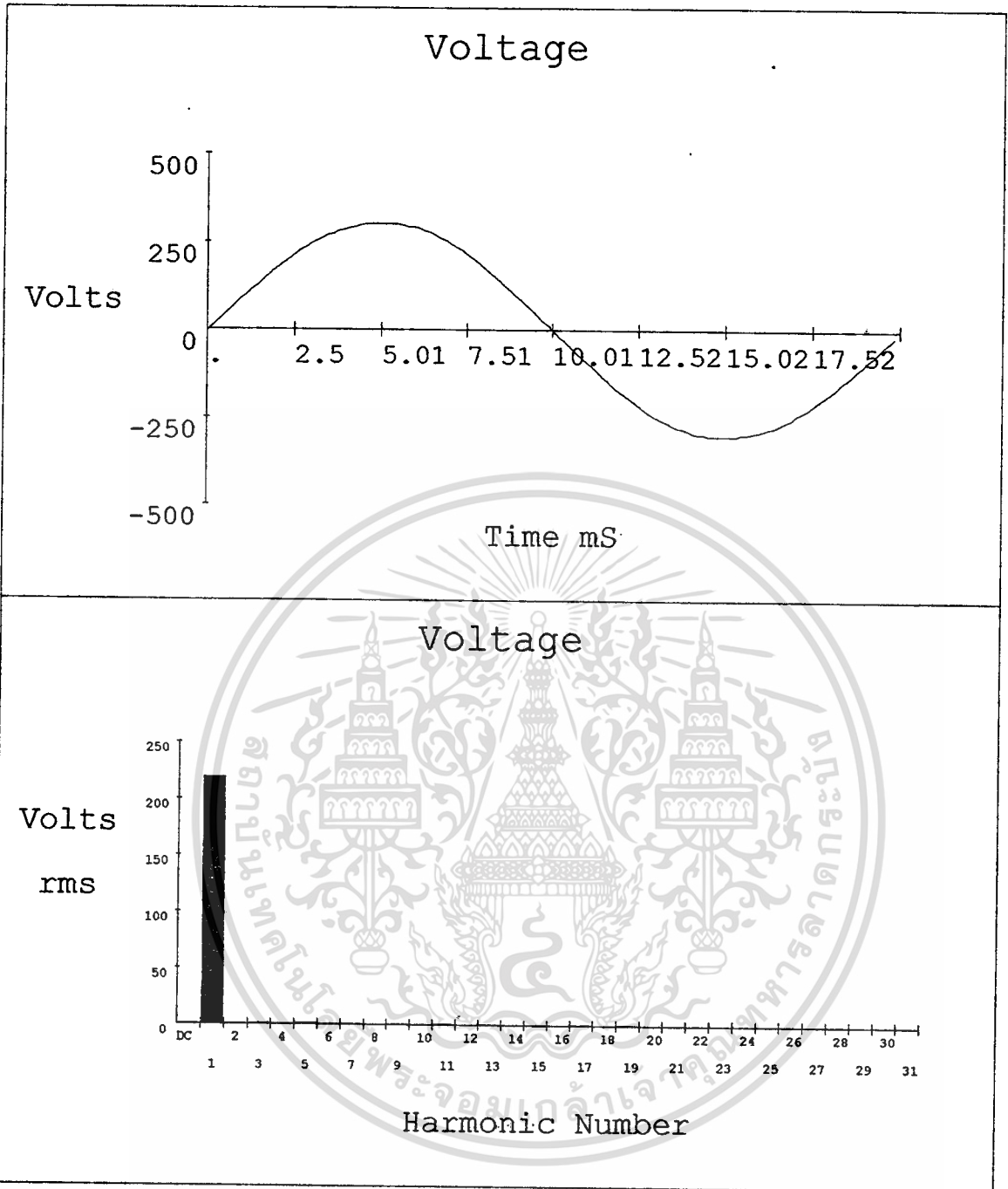
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	0	0.2	0	0.00	0.1	0	0.00
1	49.9	219	100.2	0	1.93	89.5	-54	0.25
2	99.9	1	0.3	-128	0.39	18.2	11	0.00
3	149.8	1	0.5	-172	0.83	38.7	15	0.00
4	199.7	0	0.1	-33	0.18	8.2	162	0.00
5	249.7	2	0.8	-158	0.08	3.8	176	0.00
6	299.6	0	0.1	159	0.12	5.7	-58	0.00
7	349.5	0	0.2	16	0.12	5.6	-64	0.00
8	399.5	0	0.0	-63	0.08	3.7	123	0.00
9	449.4	0	0.1	124	0.04	1.6	-139	0.00
10	499.4	0	0.0	128	0.05	2.3	-98	0.00
11	549.3	0	0.1	-70	0.02	0.9	-158	0.00
12	599.2	0	0.0	21	0.05	2.1	79	0.00
13	649.2	0	0.1	28	0.03	1.2	-172	0.00
14	699.1	0	0.0	34	0.02	0.8	-135	0.00
15	749.0	0	0.0	156	0.02	1.0	69	0.00
16	799.0	0	0.0	-104	0.02	0.9	31	0.00
17	848.9	0	0.1	-59	0.02	0.8	152	0.00
18	898.8	0	0.0	0	0.00	0.2	-99	0.00
19	948.8	0	0.0	-119	0.02	1.1	4	0.00
20	998.7	0	0.0	133	0.00	0.2	-10	0.00
21	1048.6	0	0.0	162	0.01	0.4	140	0.00
22	1098.6	0	0.0	-65	0.01	0.4	-89	0.00
23	1148.5	0	0.0	-160	0.02	0.7	-51	0.00
24	1198.5	0	0.0	-104	0.00	0.1	135	0.00
25	1248.4	0	0.0	-28	0.00	0.1	153	0.00
26	1298.3	0	0.0	78	0.01	0.3	-120	0.00
27	1348.3	0	0.0	-157	0.01	0.4	-103	0.00
28	1398.2	0	0.0	-122	0.01	0.5	96	0.00
29	1448.1	0	0.0	-13	0.00	0.2	133	0.00
30	1498.1	0	0.0	94	0.00	0.1	-165	0.00
31	1548.0	0	0.0	-53	0.00	0.1	112	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 3.5 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

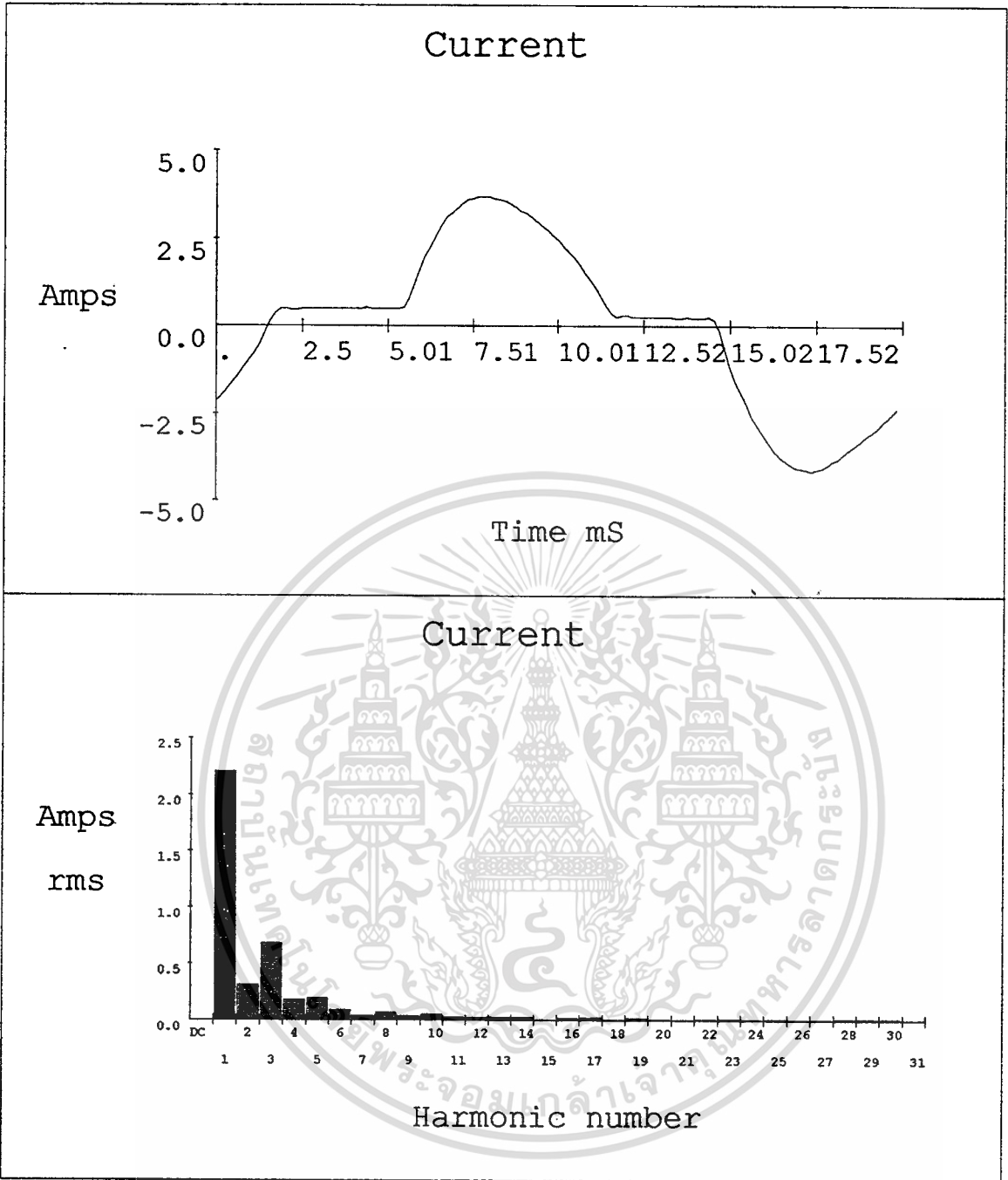
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 4.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 4.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
 เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

		Voltage	Current
Frequency	49.9	RMS 219	2.35
Power		Peak 309	3.99
KW	0.29	DC Offset 0	0.00
KVA	0.51	Crest 1.41	1.7
KVAR	0.38	THD Rms 0.9	34.5
Peak KW	1.08	THD Fund 0.9	36.8
Phase	53° lag	HRMS 2	0.81
Total PF	0.57	KFactor	2.4
DPF	0.61		

Record Information

	Max	Average	Min
V RMS			
A RMS			
V Peak			
A Peak			
V THD-R%			
A THD-R%			
KWatts			
KVAR			
TPF			
DPF			
Frequency			

Harmonic Information

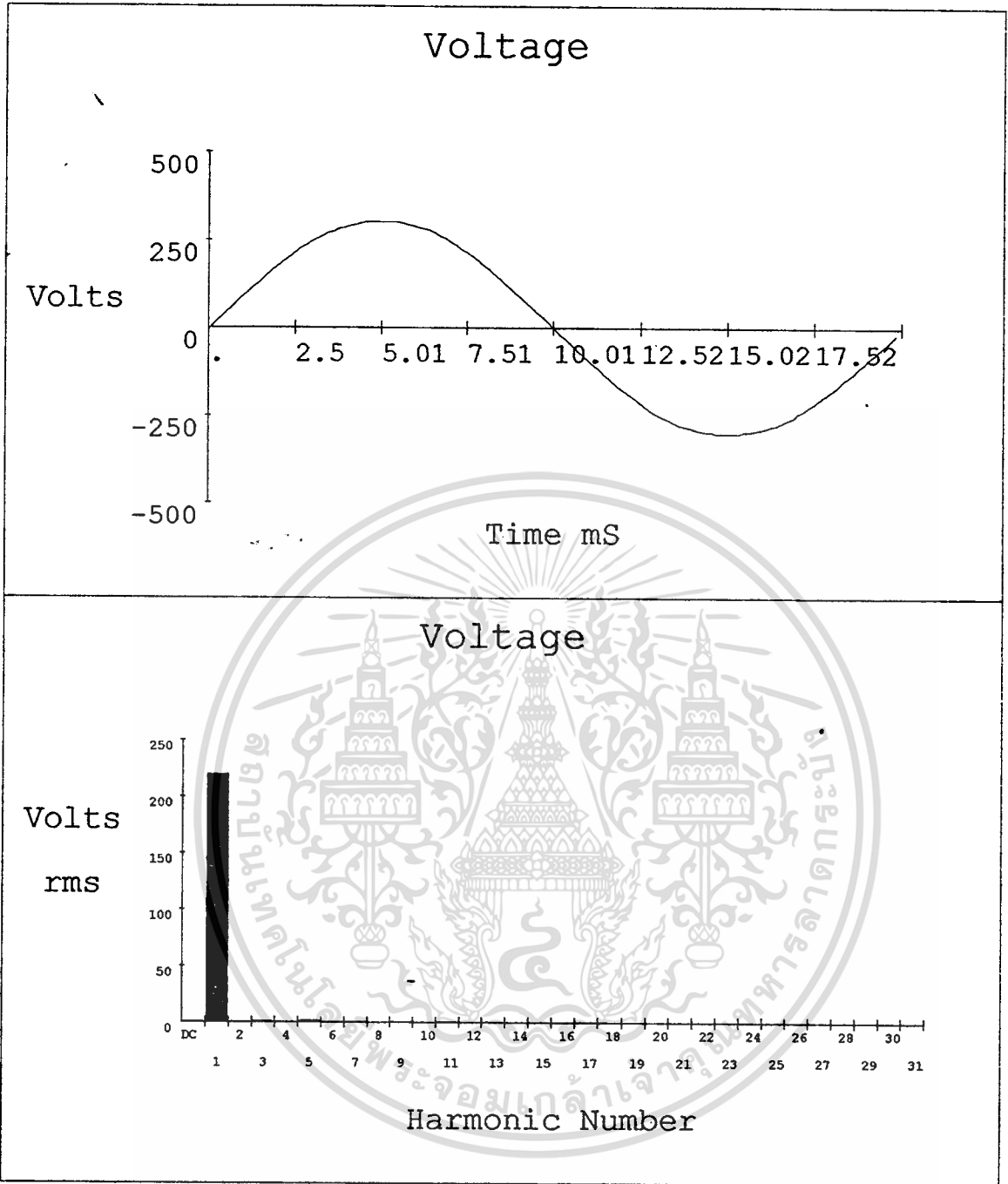
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	0	0.1	0	0.00	0.0	0	0.00
1	49.9	219	100.1	0	2.20	93.9	-53	0.29
2	99.9	0	0.2	-121	0.31	13.3	27	0.00
3	149.8	1	0.4	-153	0.68	29.0	22	0.00
4	199.7	0	0.1	-6	0.18	7.6	-161	0.00
5	249.7	2	0.7	-169	0.20	8.4	-133	0.00
6	299.6	0	0.0	-146	0.09	3.7	6	0.00
7	349.5	0	0.1	-5	0.04	1.7	-75	0.00
8	399.5	0	0.0	22	0.07	3.1	180	0.00
9	449.4	0	0.0	127	0.04	1.8	-179	0.00
10	499.4	0	0.0	-160	0.05	2.3	11	0.00
11	549.3	0	0.1	-51	0.03	1.1	115	0.00
12	599.2	0	0.0	17	0.03	1.1	178	0.00
13	649.2	0	0.0	22	0.02	0.9	26	0.00
14	699.1	0	0.0	-180	0.02	1.0	-6	0.00
15	749.0	0	0.0	31	0.00	0.2	156	0.00
16	799.0	0	0.0	58	0.02	0.8	-155	0.00
17	848.9	0	0.1	-84	0.02	1.0	-42	0.00
18	898.8	0	0.0	131	0.00	0.1	23	0.00
19	948.8	0	0.0	84	0.02	0.7	-172	0.00
20	998.7	0	0.0	-166	0.01	0.3	169	0.00
21	1048.6	0	0.0	167	0.00	0.2	0	0.00
22	1098.6	0	0.0	-64	0.01	0.3	89	0.00
23	1148.5	0	0.0	-21	0.01	0.6	152	0.00
24	1198.5	0	0.0	-79	0.00	0.2	-12	0.00
25	1248.4	0	0.0	-3	0.01	0.5	8	0.00
26	1298.3	0	0.0	117	0.00	0.2	151	0.00
27	1348.3	0	0.0	-175	0.00	0.1	136	0.00
28	1398.2	0	0.0	-11	0.01	0.4	-53	0.00
29	1448.1	0	0.0	176	0.01	0.3	-32	0.00
30	1498.1	0	0.0	85	0.01	0.3	150	0.00
31	1548.0	0	0.0	-11	0.00	0.2	-103	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 4.0 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

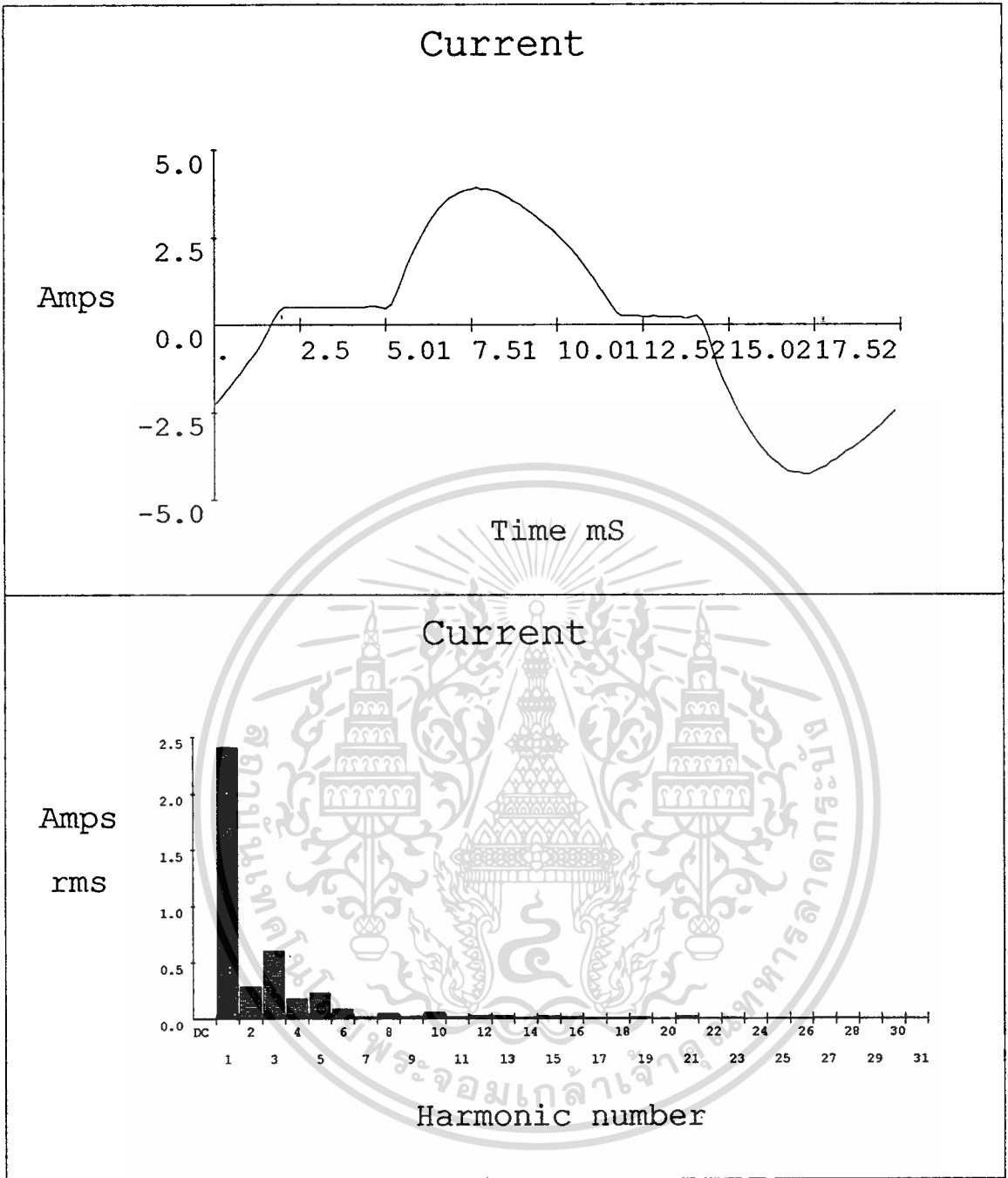
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 4.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 4.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	49.9	RMS	219	2.52	V RMS		
Power		Peak	309	4.17	A RMS		
KW	0.33	DC Offset	0	0.00	V Peak		
KVA	0.55	Crest	1.41	1.65	A Peak		
KVAR	0.41	THD Rms	0.8	29.4	V THD-R%		
Peak KW	1.15	THD Fund	0.8	30.7	A THD-R%		
Phase	51° lag	HRMS	2	0.74	KWatts		
Total PF	0.60	KFactor		2.1	KVAR		
DPF	0.62				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

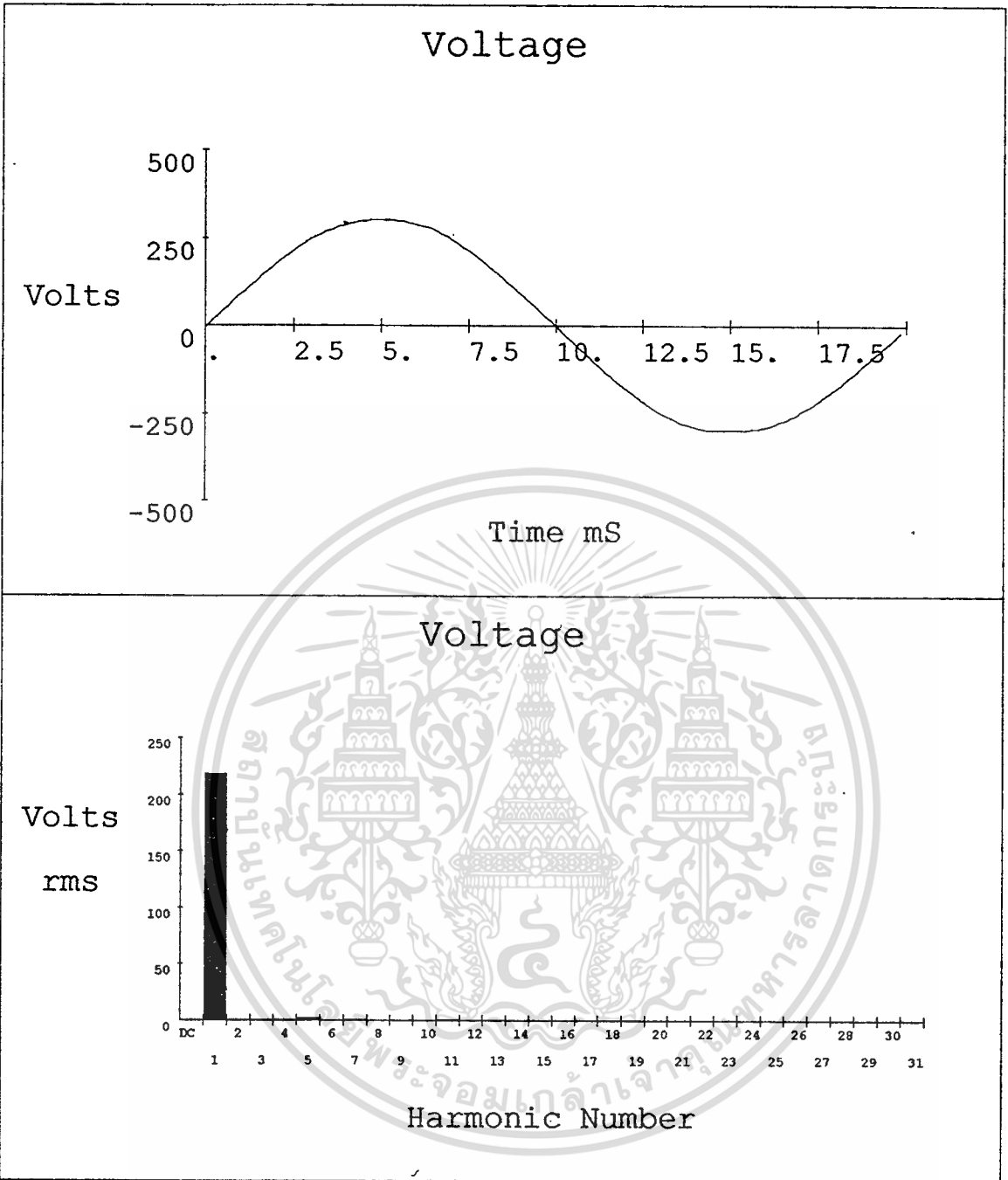
DC	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
	0.0	0	0.1	0	0.00	0.1	0	0.00
1	49.9	219	100.2	0	2.41	95.7	-51	0.33
2	99.9	0	0.2	-105	0.29	11.5	39	0.00
3	149.8	1	0.3	-145	0.60	23.8	30	0.00
4	199.7	0	0.1	20	0.18	7.1	-141	0.00
5	249.7	1	0.7	-163	0.23	9.2	-120	0.00
6	299.6	0	0.1	-94	0.09	3.4	51	0.00
7	349.5	0	0.1	2	0.02	0.7	179	0.00
8	399.5	0	0.0	62	0.06	2.3	-128	0.00
9	449.4	0	0.0	132	0.02	1.0	160	0.00
10	499.4	0	0.0	-112	0.06	2.4	61	0.00
11	549.3	0	0.1	-68	0.02	0.7	103	0.00
12	599.2	0	0.0	150	0.03	1.3	-97	0.00
13	649.2	0	0.1	14	0.02	0.9	34	0.00
14	699.1	0	0.0	-82	0.02	0.6	94	0.00
15	749.0	0	0.0	141	0.02	1.0	-82	0.00
16	799.0	0	0.0	160	0.02	0.7	-98	0.00
17	848.9	0	0.1	-94	0.01	0.3	131	0.00
18	898.8	0	0.0	154	0.01	0.4	125	0.00
19	948.8	0	0.0	75	0.01	0.5	-99	0.00
20	998.7	0	0.0	116	0.00	0.1	49	0.00
21	1048.6	0	0.0	107	0.02	0.7	113	0.00
22	1098.6	0	0.0	-180	0.00	0.1	-63	0.00
23	1148.5	0	0.0	-170	0.01	0.4	-27	0.00
24	1198.5	0	0.0	137	0.00	0.0	84	0.00
25	1248.4	0	0.0	-20	0.00	0.1	82	0.00
26	1298.3	0	0.0	163	0.00	0.2	-68	0.00
27	1348.3	0	0.0	-137	0.01	0.3	-48	0.00
28	1398.2	0	0.0	-79	0.01	0.2	162	0.00
29	1448.1	0	0.0	50	0.00	0.2	-171	0.00
30	1498.1	0	0.0	115	0.00	0.2	-22	0.00
31	1548.0	0	0.0	-50	0.00	0.0	148	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 4.5 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

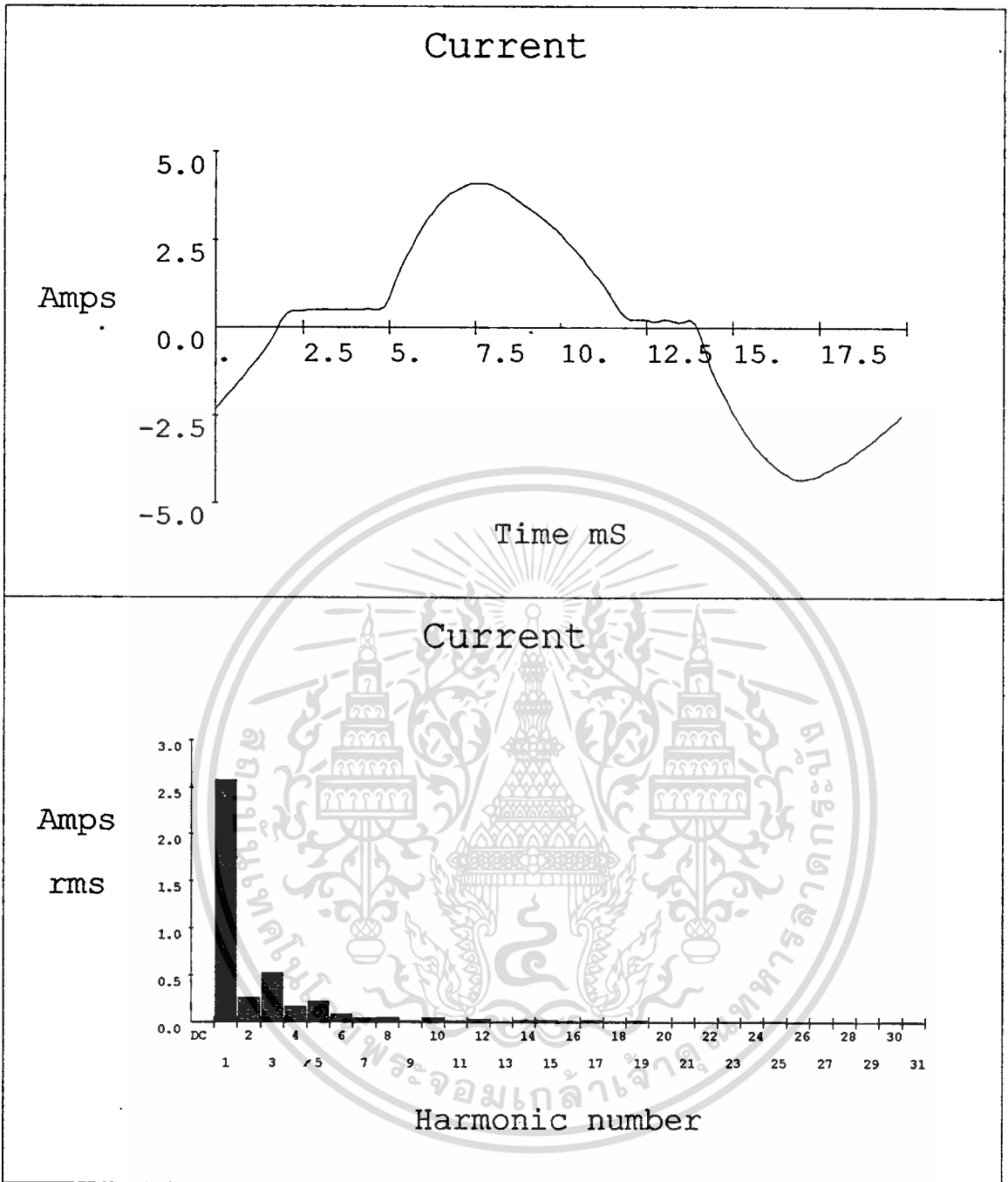
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 5.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 5.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	50.0	RMS	219	2.66	V RMS		
Power		Peak	306	4.31	A RMS		
KW	0.37	DC Offset	0	-0.01	V Peak		
KVA	0.58	Crest	1.4	1.62	A Peak		
KVAR	0.43	THD Rms	0.9	24.9	V THD-R%		
Peak KW	1.18	THD Fund	0.9	25.7	A THD-R%		
Phase	49° lag	HRMS	2	0.66	KWatts		
Total PF	0.63	KFactor		1.8	KVAR		
DPF	0.65				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

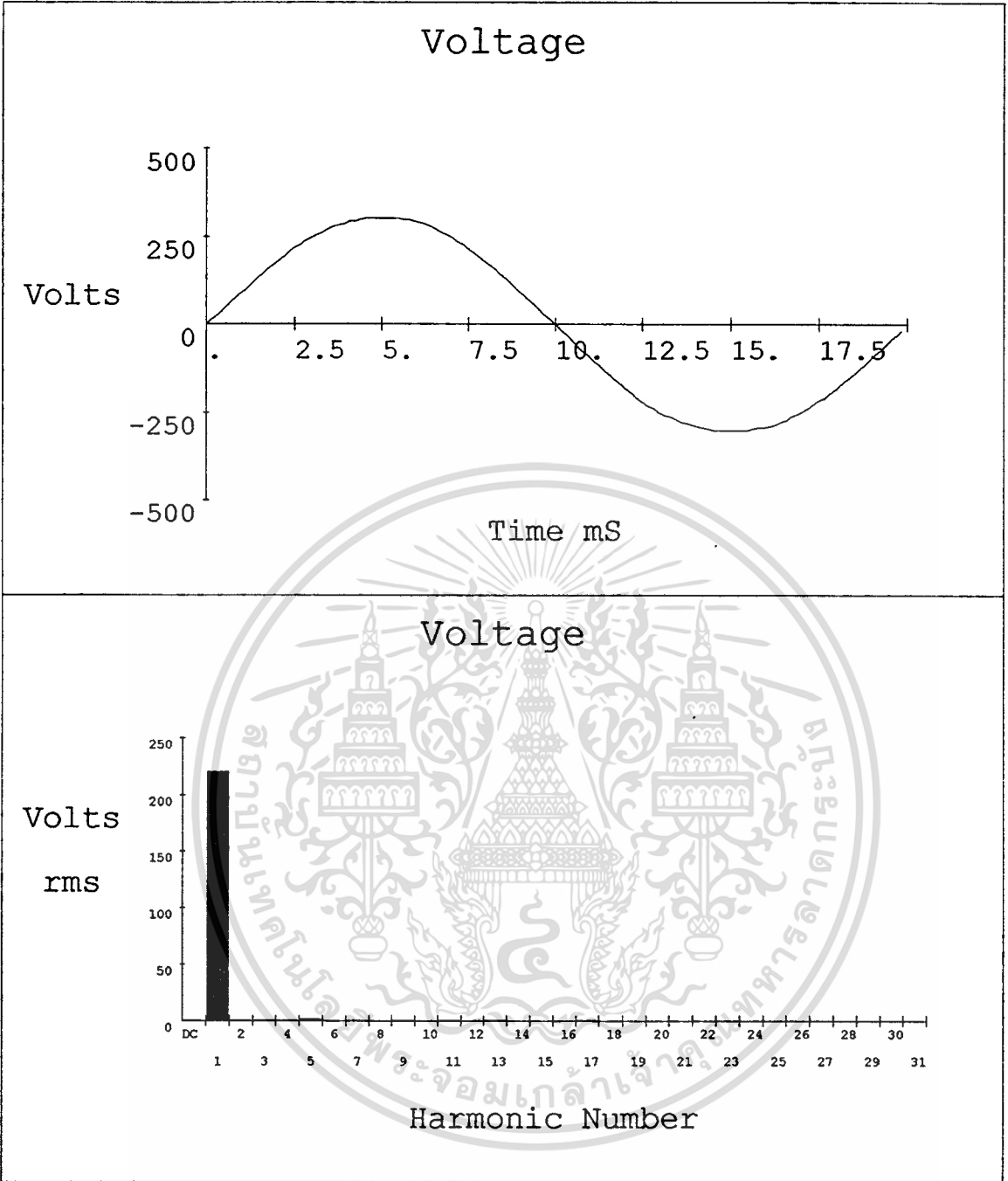
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	0	0.2	0	0.01	0.2	0	0.00
1	50.0	219	100.2	0	2.57	97.1	-49	0.37
2	100.0	1	0.3	-103	0.26	9.7	51	0.00
3	150.0	1	0.2	-145	0.52	19.7	39	0.00
4	200.0	0	0.1	51	0.17	6.3	-122	0.00
5	250.0	2	0.8	-172	0.22	8.4	-110	0.00
6	300.0	0	0.0	-88	0.09	3.4	85	0.00
7	350.0	1	0.2	3	0.05	1.8	157	0.00
8	400.0	0	0.0	85	0.05	1.9	-67	0.00
9	450.0	0	0.0	174	0.02	0.7	106	0.00
10	500.0	0	0.0	-72	0.05	1.7	109	0.00
11	550.1	0	0.1	-54	0.02	0.6	43	0.00
12	600.1	0	0.0	155	0.03	1.2	-46	0.00
13	650.1	0	0.0	9	0.01	0.3	-9	0.00
14	700.1	0	0.0	-117	0.02	0.8	-174	0.00
15	750.1	0	0.0	-154	0.02	0.8	-44	0.00
16	800.1	0	0.0	173	0.01	0.4	32	0.00
17	850.1	0	0.0	-63	0.02	0.8	-169	0.00
18	900.1	0	0.0	-21	0.01	0.3	178	0.00
19	950.1	0	0.0	-8	0.01	0.5	56	0.00
20	1000.1	0	0.0	118	0.01	0.2	61	0.00
21	1050.1	0	0.0	148	0.01	0.3	-148	0.00
22	1100.1	0	0.0	106	0.00	0.1	-14	0.00
23	1150.1	0	0.0	-77	0.01	0.5	56	0.00
24	1200.1	0	0.0	-110	0.01	0.3	-105	0.00
25	1250.1	0	0.0	-118	0.01	0.5	-68	0.00
26	1300.1	0	0.0	69	0.01	0.2	115	0.00
27	1350.1	0	0.0	52	0.00	0.1	153	0.00
28	1400.1	0	0.0	49	0.00	0.1	-44	0.00
29	1450.1	0	0.0	0	0.00	0.0	-114	0.00
30	1500.1	0	0.0	101	0.01	0.2	139	0.00
31	1550.1	0	0.0	169	0.00	0.1	30	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 5.0 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

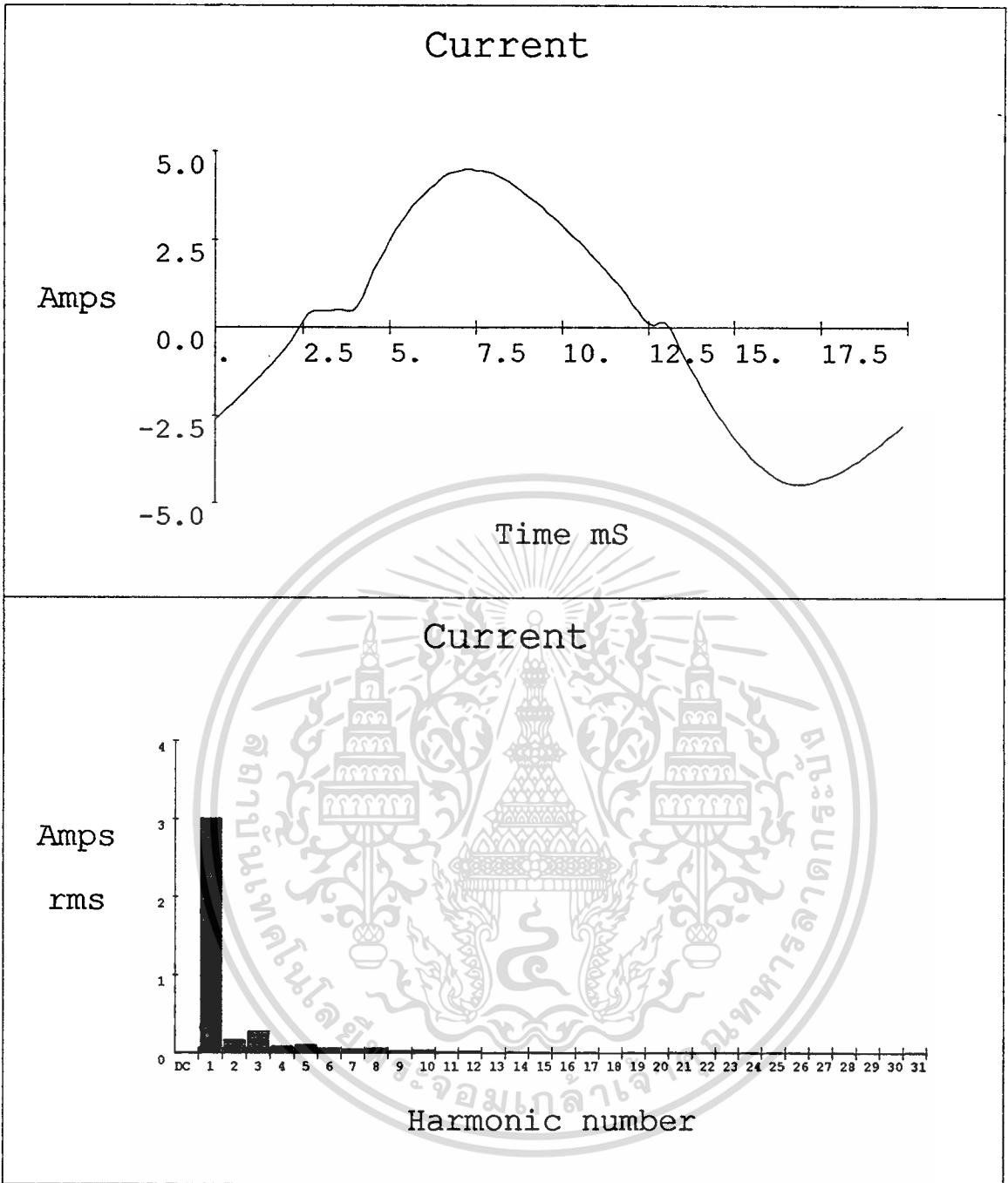
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 6.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 6.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	50.0	RMS	220	3.03	V RMS		
Power		Peak	309	4.57	A RMS		
KW	0.45	DC Offset	0	-0.02	V Peak		
KVA	0.67	Crest	1.4	1.51	A Peak		
KVAR	0.48	THD Rms	0.8	12.6	V THD-R%		
Peak KW	1.28	THD Fund	0.8	12.7	A THD-R%		
Phase	47° lag	HRMS	2	0.38	KWatts		
Total PF	0.68	KFactor		1.3	KVAR		
DPF	0.68				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

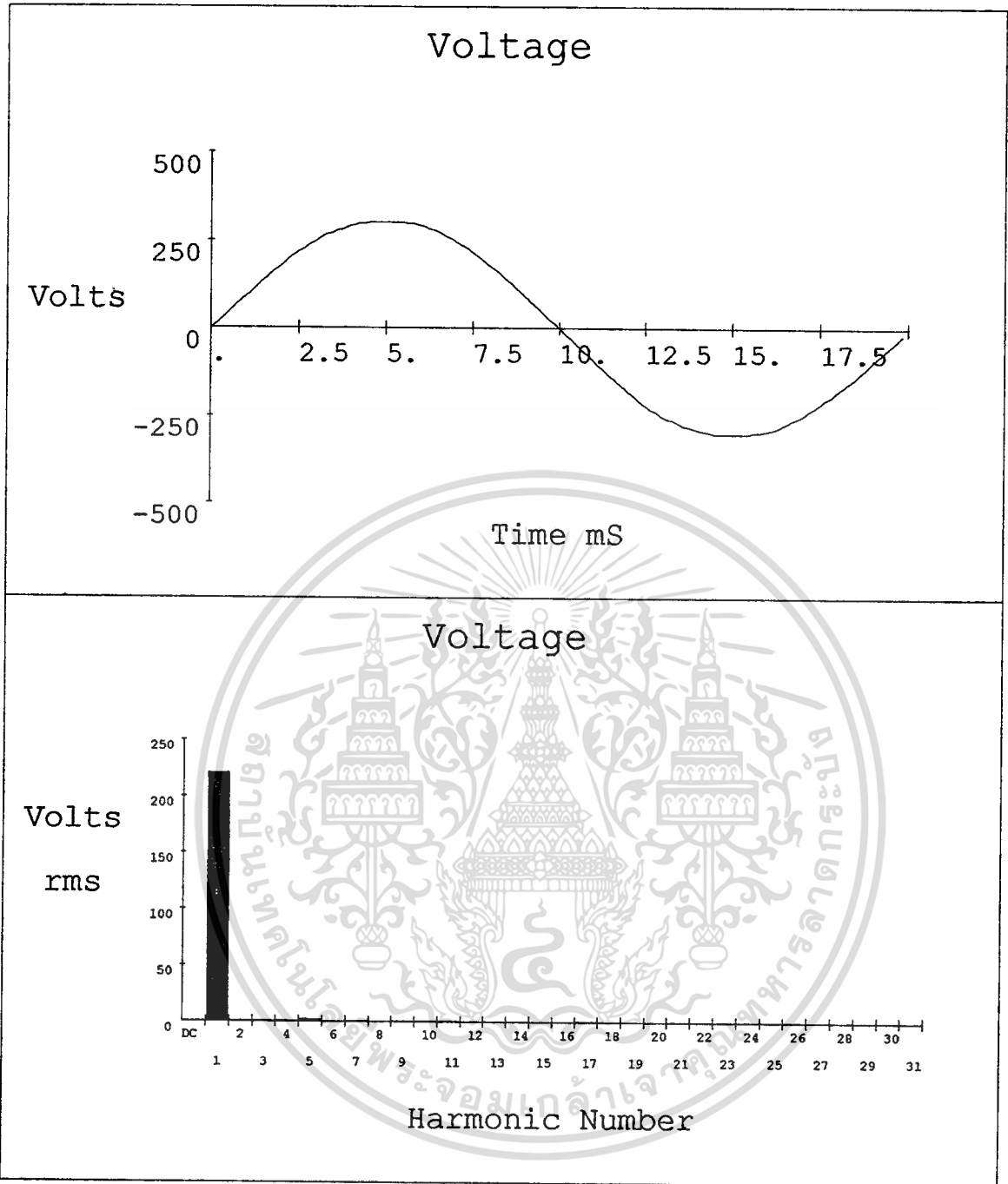
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	0	0.2	0	0.02	0.5	0	0.00
1	50.0	220	100.2	0	3.00	99.7	-47	0.45
2	100.0	0	0.1	-84	0.17	5.5	91	0.00
3	150.0	0	0.1	-97	0.28	9.3	74	0.00
4	200.0	0	0.1	81	0.10	3.2	-75	0.00
5	250.0	2	0.7	-169	0.11	3.7	-98	0.00
6	299.9	0	0.0	96	0.06	2.1	153	0.00
7	349.9	0	0.2	51	0.06	2.0	142	0.00
8	399.9	0	0.0	-31	0.06	2.2	30	0.00
9	449.9	0	0.1	155	0.04	1.2	32	0.00
10	499.9	0	0.0	87	0.04	1.5	-97	0.00
11	549.9	0	0.1	-72	0.02	0.6	-82	0.00
12	599.9	0	0.0	24	0.03	0.9	145	0.00
13	649.9	0	0.0	12	0.01	0.3	-94	0.00
14	699.9	0	0.0	79	0.02	0.6	36	0.00
15	749.9	0	0.0	72	0.01	0.4	155	0.00
16	799.9	0	0.0	54	0.01	0.3	-80	0.00
17	849.8	0	0.0	-91	0.01	0.5	67	0.00
18	899.8	0	0.0	-18	0.00	0.0	-86	0.00
19	949.8	0	0.0	45	0.02	0.5	-45	0.00
20	999.8	0	0.0	-108	0.00	0.1	-178	0.00
21	1049.8	0	0.0	141	0.01	0.5	-167	0.00
22	1099.8	0	0.0	11	0.00	0.2	42	0.00
23	1149.8	0	0.0	-96	0.01	0.3	82	0.00
24	1199.8	0	0.0	82	0.00	0.1	-27	0.00
25	1249.8	0	0.0	-46	0.01	0.2	-20	0.00
26	1299.8	0	0.0	76	0.00	0.1	157	0.00
27	1349.8	0	0.0	-110	0.00	0.1	-145	0.00
28	1399.7	0	0.0	-46	0.00	0.1	20	0.00
29	1449.7	0	0.0	-77	0.00	0.0	-35	0.00
30	1499.7	0	0.0	66	0.00	0.0	168	0.00
31	1549.7	0	0.0	6	0.00	0.1	49	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 6.0 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

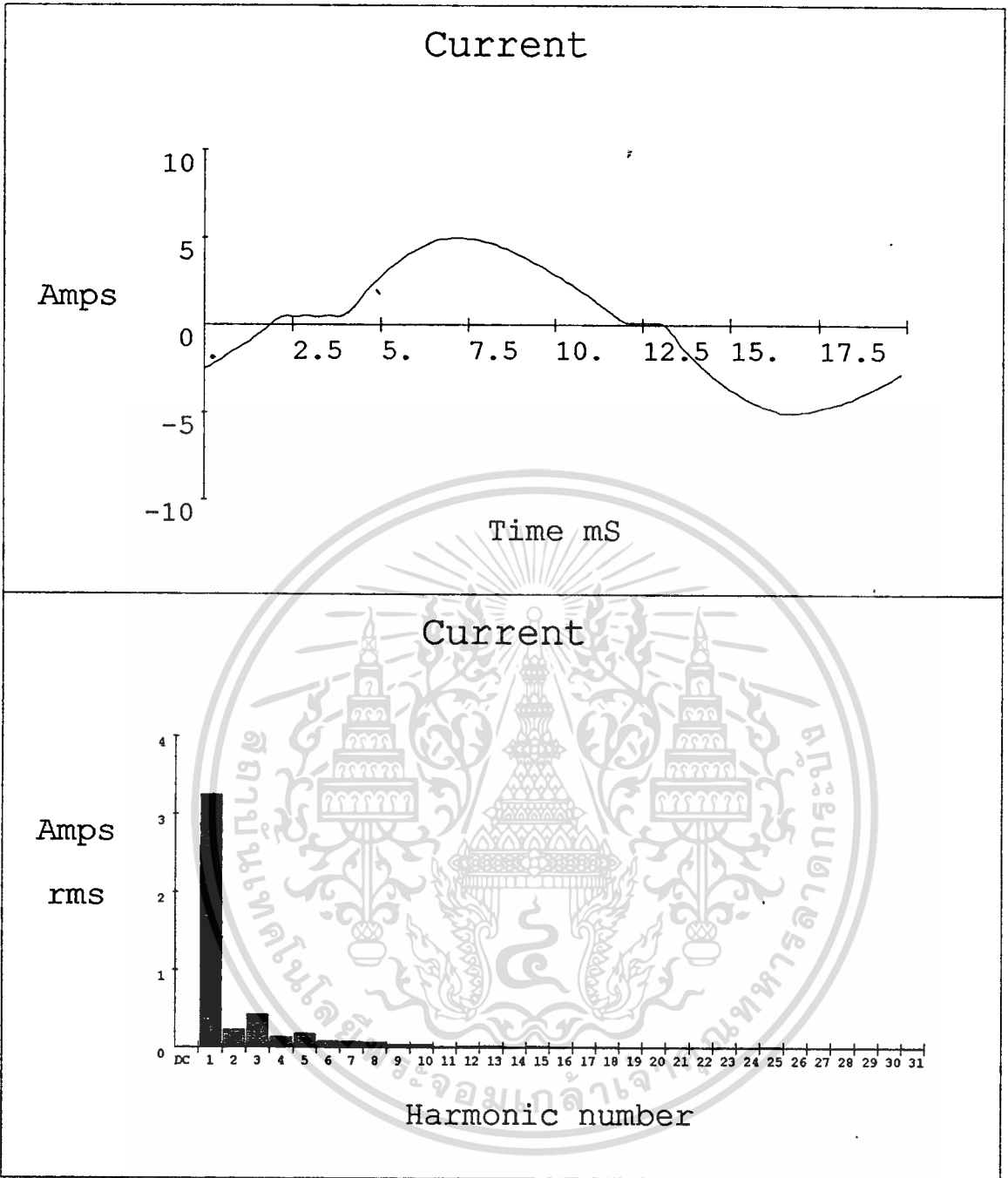
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 7.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 7.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Summary Information		Voltage		Current		Record Information		
						Max	Average	Min
Frequency	50.0	RMS	221	3.30	V RMS			
Power		Peak	309	5.12	A RMS			
KW	0.53	DC Offset	0	-0.01	V Peak			
KVA	0.73	Crest	1.4	1.55	A Peak			
KVAR	0.49	THD Rms	0.9	17.0	V THD-R%			
Peak KW	1.45	THD Fund	0.9	17.3	A THD-R%			
Phase	43° lag	HRMS	2	0.56	KWatts			
Total PF	0.72	KFactor		1.4	KVAR			
DPF	0.73				TPF			
					DPF			
					Frequency			

Harmonic Information

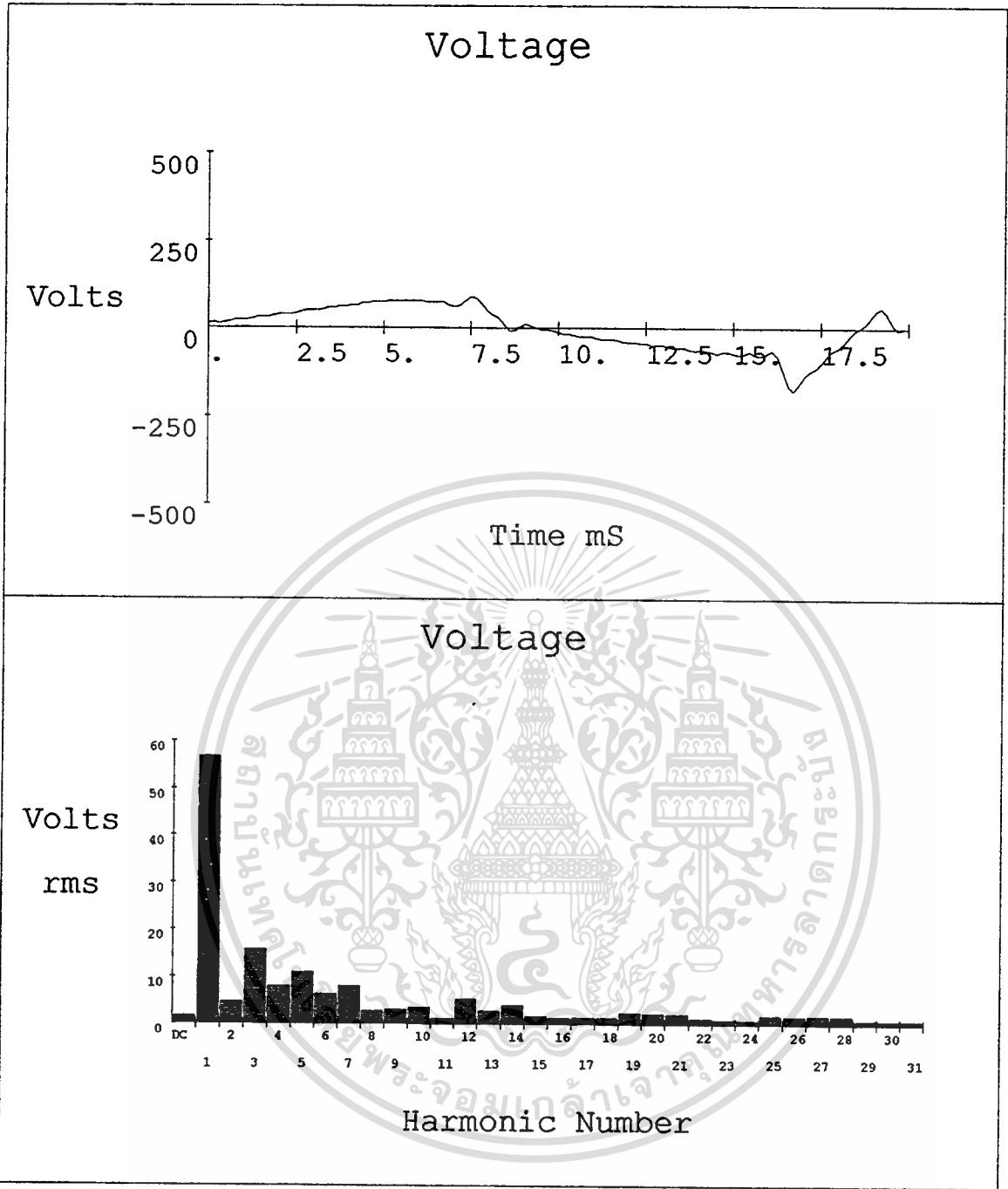
	Freq.	V Mag.	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	0	0.1	0	0.01	0.2	0	0.00
1	50.0	220	100.1	0	3.25	98.8	-43	0.52
2	100.0	0	0.1	-65	0.23	7.0	84	0.00
3	150.0	0	0.2	-108	0.43	13.1	65	0.00
4	200.0	0	0.1	98	0.14	4.2	-72	0.00
5	250.0	2	0.8	-167	0.18	5.5	-72	0.00
6	299.9	0	0.0	-7	0.09	2.6	162	0.00
7	349.9	0	0.2	60	0.08	2.4	-171	0.00
8	399.9	0	0.0	-53	0.07	2.1	44	0.00
9	449.9	0	0.1	159	0.04	1.3	95	0.00
10	499.9	0	0.1	99	0.04	1.3	-83	0.00
11	549.9	0	0.1	-64	0.02	0.5	39	0.00
12	599.9	0	0.0	-4	0.02	0.6	145	0.00
13	649.9	0	0.0	43	0.03	0.8	-23	0.00
14	699.9	0	0.0	-13	0.02	0.5	-4	0.00
15	749.9	0	0.0	126	0.02	0.6	-128	0.00
16	799.9	0	0.0	46	0.01	0.3	-148	0.00
17	849.8	0	0.0	-82	0.01	0.4	122	0.00
18	899.8	0	0.0	103	0.01	0.3	97	0.00
19	949.8	0	0.0	29	0.01	0.2	-23	0.00
20	999.8	0	0.0	6	0.00	0.2	19	0.00
21	1049.8	0	0.0	103	0.01	0.2	145	0.00
22	1099.8	0	0.0	-130	0.00	0.1	-89	0.00
23	1149.8	0	0.0	-106	0.01	0.3	30	0.00
24	1199.8	0	0.0	97	0.00	0.1	-108	0.00
25	1249.8	0	0.0	-68	0.01	0.3	-77	0.00
26	1299.8	0	0.0	167	0.01	0.2	129	0.00
27	1349.8	0	0.0	138	0.01	0.2	172	0.00
28	1399.7	0	0.0	-69	0.01	0.2	16	0.00
29	1449.7	0	0.0	-148	0.00	0.1	62	0.00
30	1499.7	0	0.0	76	0.00	0.1	-104	0.00
31	1549.7	0	0.0	-74	0.00	0.1	-8	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 7.0 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อก่อนอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

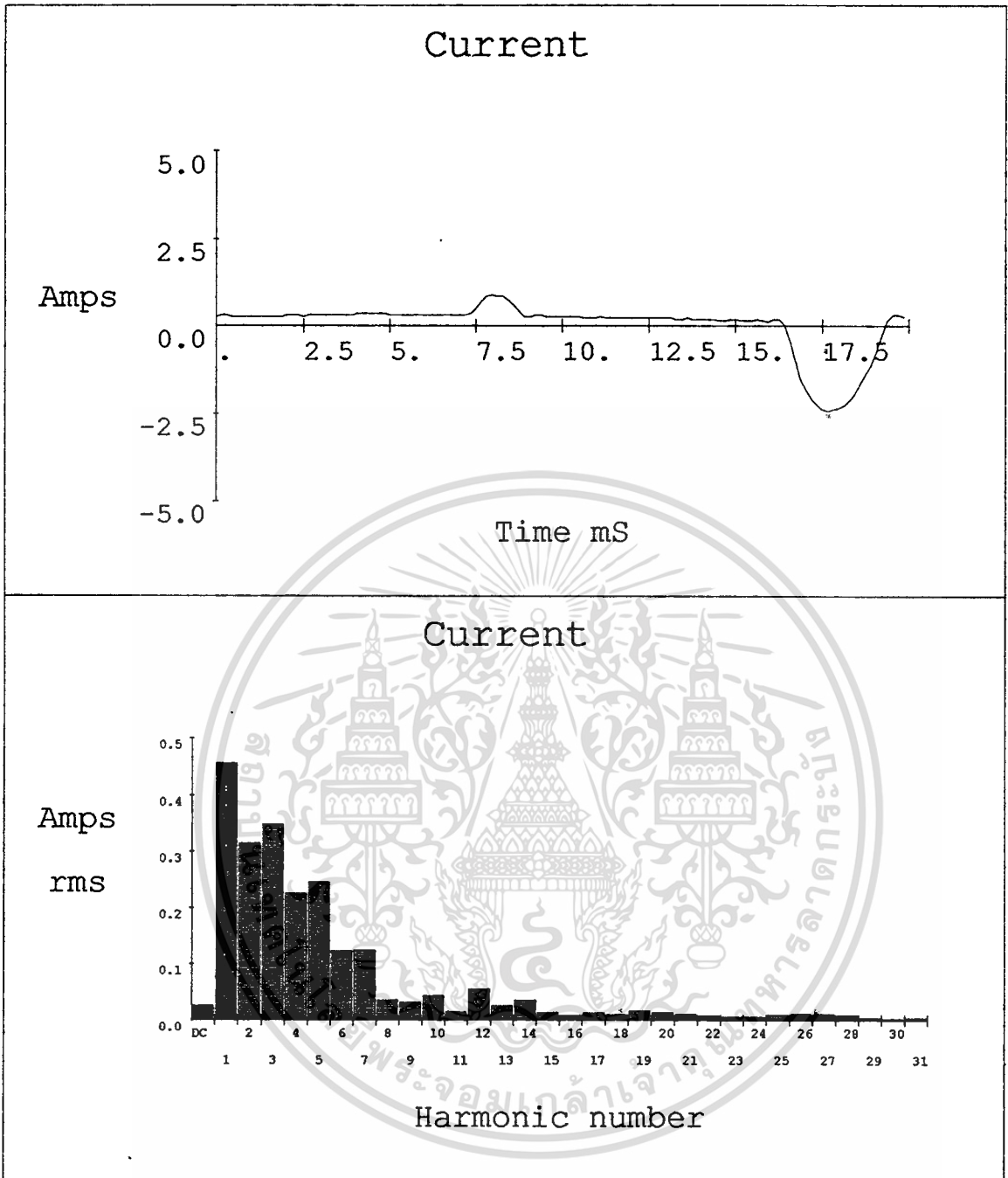
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะ No-Load มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
 เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะ NO-Load มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
 เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	50.0	RMS	63	0.76	V RMS		
Power		Peak	136	1.71	A RMS		
Watts	22	DC Offset	-2	0.03	V Peak		
VA	47	Crest	2.18	2.23	A Peak		
Vars	18	THD Rms	41.5	80.1	V THD-R%		
Peak W	265	THD Fund	45.6	133.9	A THD-R%		
Phase	47° lag	HRMS	26	0.61	Watts		
Total PF	0.46	KFactor		12.5	Volt * Amps		
DPF	0.68				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

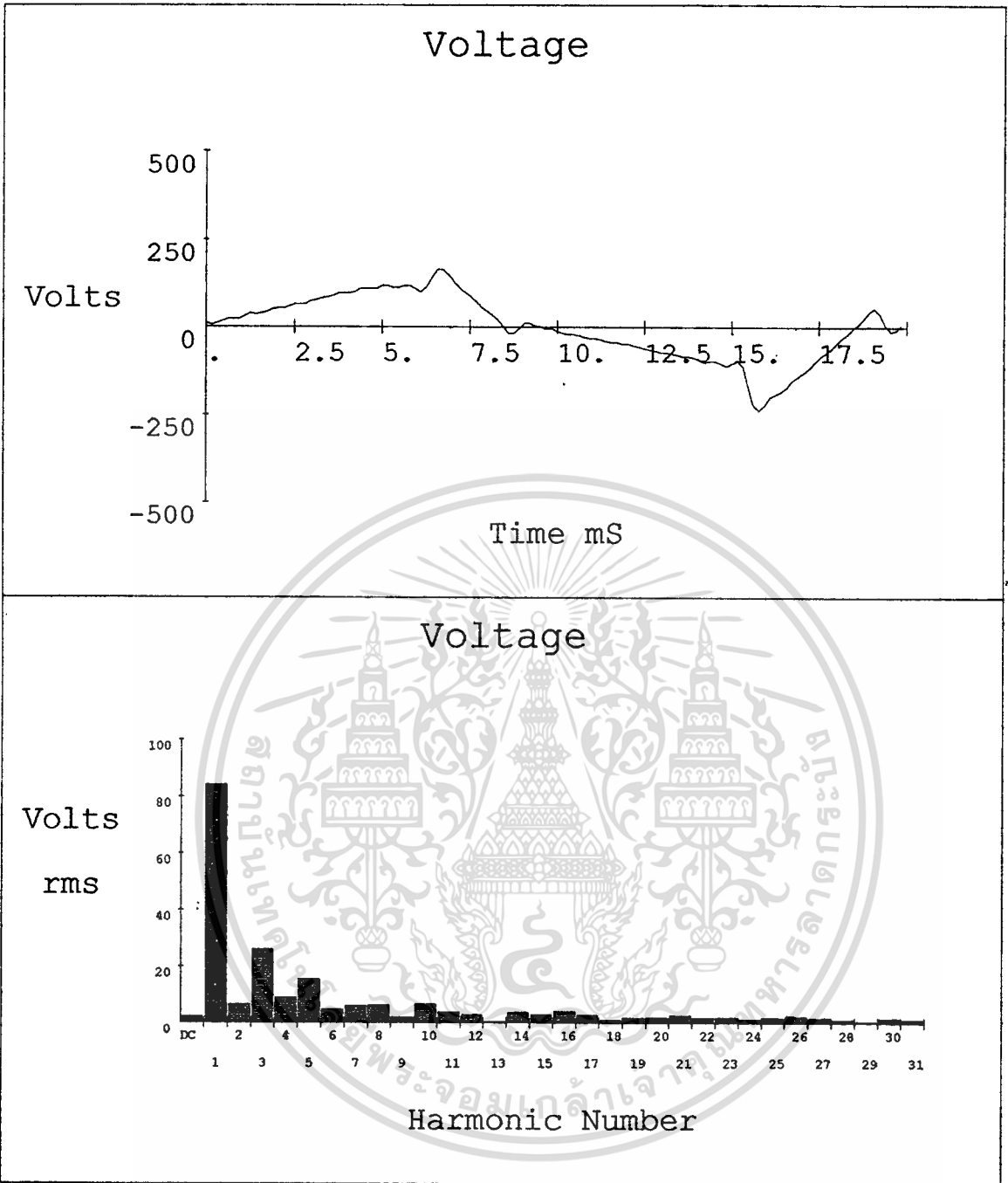
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (W)
DC	0.0	2	2.7	0	0.02	3.4	0	0
1	50.0	57	93.1	0	0.46	61.6	-47	18
2	100.0	5	7.7	39	0.31	42.5	-10	1
3	150.0	16	25.8	99	0.35	47.1	27	2
4	200.0	8	12.9	142	0.23	30.5	71	0
5	250.0	11	17.9	178	0.24	33.1	102	1
6	299.9	6	10.4	-129	0.12	16.6	153	0
7	349.9	8	12.8	-103	0.12	16.8	179	0
8	399.9	3	4.5	-10	0.04	4.9	-94	0
9	449.9	3	4.7	-25	0.03	4.3	-110	0
10	499.9	3	5.6	155	0.04	5.7	77	0
11	549.9	1	1.9	-101	0.02	2.1	165	0
12	599.9	5	8.6	-108	0.05	7.4	170	0
13	649.9	3	4.4	-30	0.02	3.4	-115	0
14	699.9	4	6.4	-25	0.04	4.8	-110	0
15	749.9	2	2.9	75	0.01	1.9	-10	0
16	799.9	1	2.1	51	0.01	1.2	-36	0
17	849.8	1	2.4	-124	0.01	1.8	154	0
18	899.8	1	2.3	-52	0.01	1.4	-139	0
19	949.8	2	3.8	-14	0.02	2.2	-105	0
20	999.8	2	3.6	27	0.01	1.9	-64	0
21	1049.8	2	3.3	89	0.01	1.4	-7	0
22	1099.8	1	2.1	92	0.01	1.0	2	0
23	1149.8	1	1.6	-136	0.01	0.8	152	0
24	1199.8	1	1.2	38	0.01	0.8	-61	0
25	1249.8	2	2.9	0	0.01	1.4	-84	0
26	1299.8	2	2.9	100	0.01	1.4	5	0
27	1349.8	2	3.0	91	0.01	1.4	-6	0
28	1399.7	2	2.7	-179	0.01	1.2	78	0
29	1449.7	1	1.3	153	0.00	0.5	51	0
30	1499.7	1	1.2	-45	0.00	0.2	-106	0
31	1549.7	1	1.2	86	0.00	0.5	19	0

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะ NO-Load

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

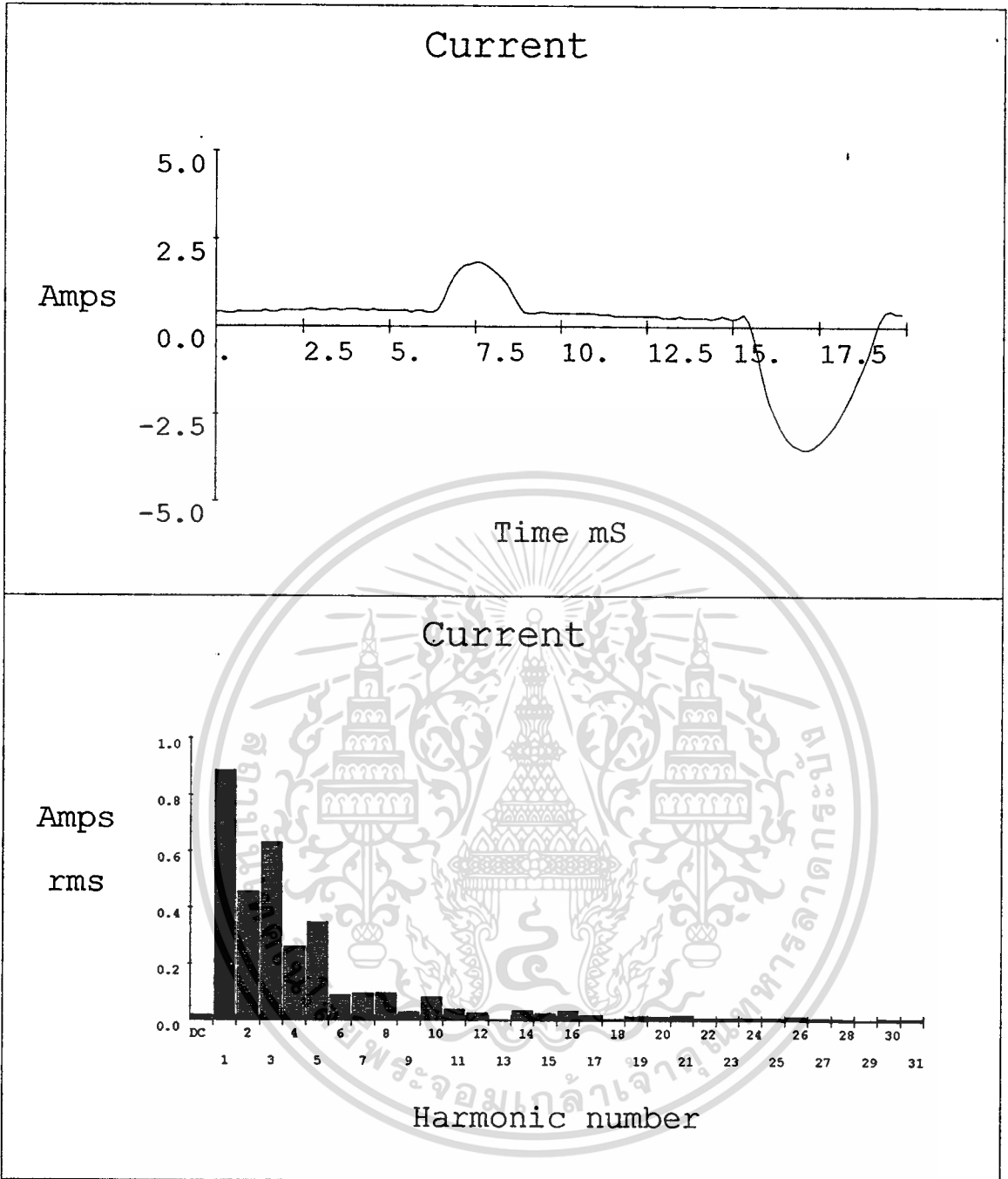
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 1 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 1 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Frequency	50.0
Power	
KW	0.07
KVA	0.12
KVAR	0.05
Peak KW	0.57
Phase	39° lag
Total PF	0.58
DPF	0.78

Record Information

	Max	Average	Min
V RMS			
A RMS			
V Peak			
A Peak			
V THD-R%			
A THD-R%			
KWatts			
KVAR			
TPF			
DPF			
Frequency			

Harmonic Information

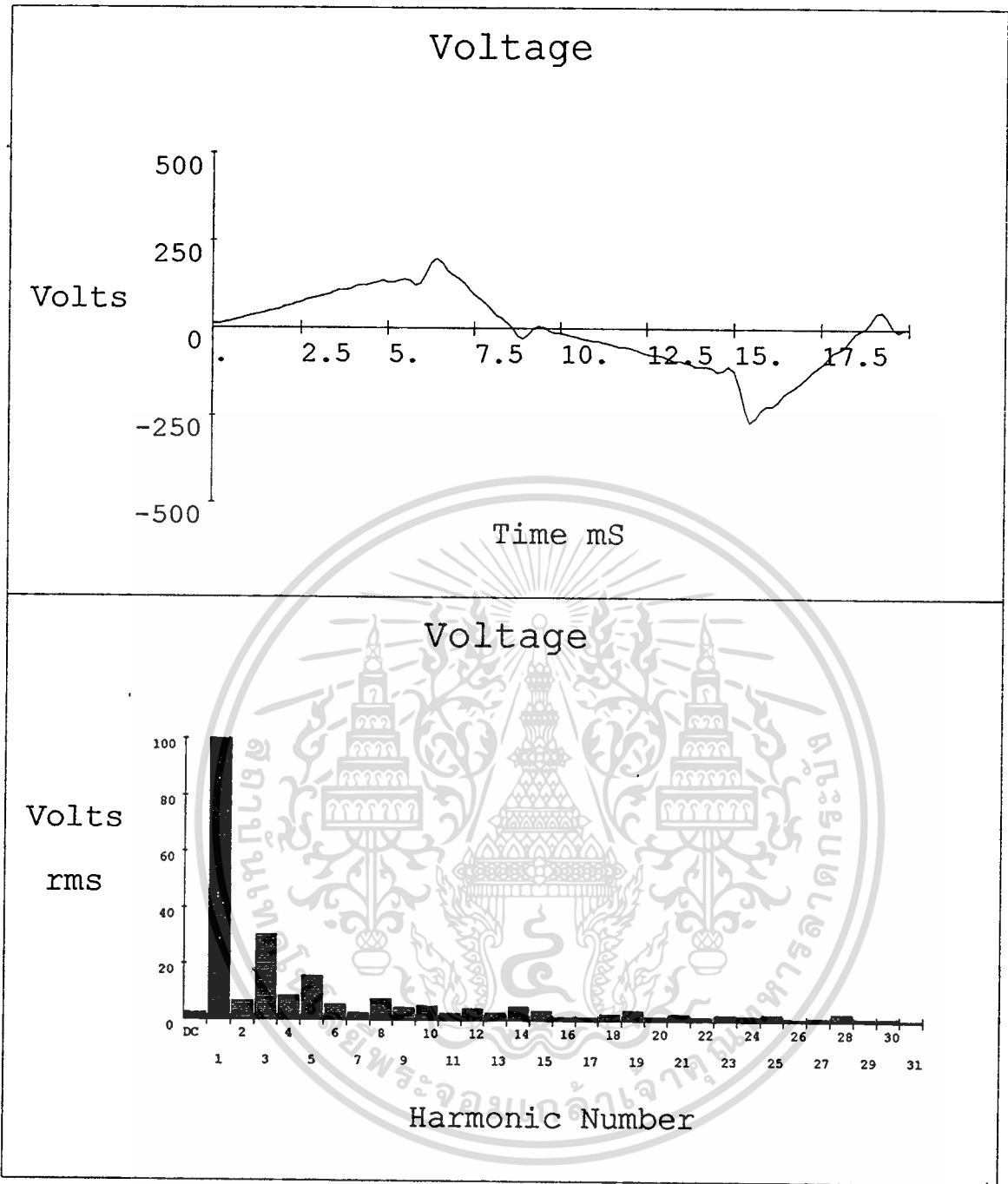
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	2	2.6	0	0.02	1.6	0	0.00
1	50.0	84	94.2	0	0.89	70.7	-39	0.06
2	100.0	6	7.2	57	0.46	36.4	14	0.00
3	150.0	26	28.9	125	0.63	50.4	54	0.01
4	200.0	9	9.8	-169	0.26	20.9	121	0.00
5	250.0	15	17.3	-136	0.35	27.7	150	0.00
6	299.9	5	5.3	-20	0.09	7.0	-99	0.00
7	349.9	6	6.7	-38	0.09	7.5	-117	0.00
8	399.9	6	7.1	155	0.10	7.6	77	0.00
9	449.9	2	2.3	-108	0.03	2.5	167	0.00
10	499.9	7	7.4	-82	0.08	6.5	-163	0.00
11	549.9	4	4.1	-15	0.04	3.1	-101	0.00
12	599.9	3	3.3	56	0.03	2.2	-33	0.00
13	649.9	0	0.3	4	0.00	0.1	-152	0.00
14	699.9	4	4.1	-108	0.04	2.8	173	0.00
15	749.9	3	3.5	17	0.03	2.1	-72	0.00
16	799.9	4	4.5	7	0.03	2.6	-80	0.00
17	849.8	3	3.1	131	0.02	1.6	45	0.00
18	899.8	1	1.2	105	0.01	0.4	0	0.00
19	949.8	2	2.0	-51	0.01	1.2	-133	0.00
20	999.8	2	2.1	29	0.01	1.0	-57	0.00
21	1049.8	3	3.2	98	0.02	1.5	4	0.00
22	1099.8	2	1.9	113	0.01	0.8	26	0.00
23	1149.8	2	2.3	-127	0.01	0.8	146	0.00
24	1199.8	1	1.2	84	0.01	0.7	-25	0.00
25	1249.8	2	2.0	39	0.01	0.7	-44	0.00
26	1299.8	2	2.7	162	0.01	1.1	67	0.00
27	1349.8	2	2.0	180	0.01	0.6	93	0.00
28	1399.7	1	1.2	-98	0.01	0.5	171	0.00
29	1449.7	1	0.6	-15	0.00	0.1	-85	0.00
30	1499.7	2	1.8	153	0.01	0.6	52	0.00
31	1549.7	1	1.3	155	0.01	0.5	82	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 1 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

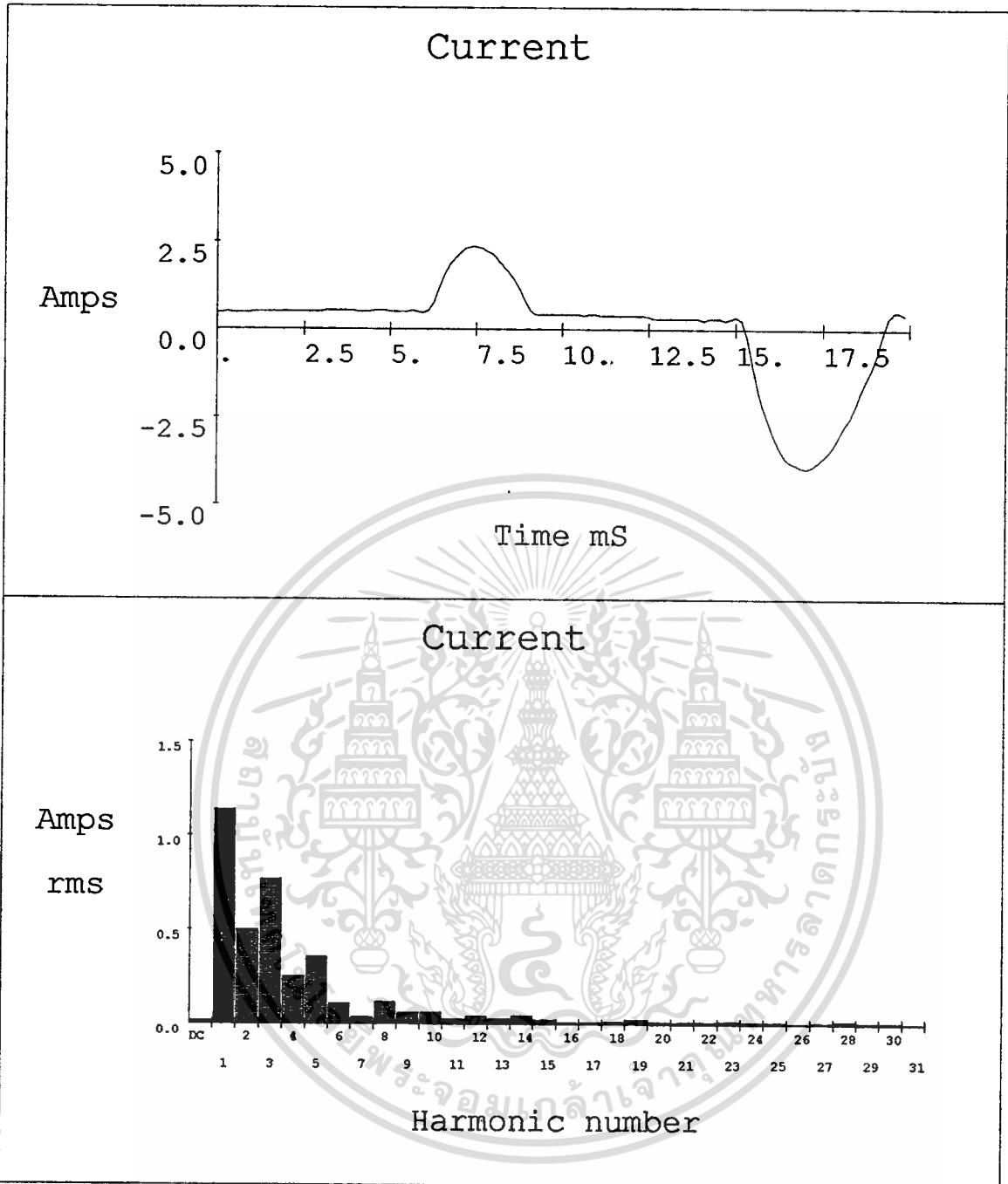
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 1.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 1.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
 เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	50.0	RMS	108	1.54	V RMS		
Power		Peak	239	3.23	A RMS		
KW	0.10	DC Offset	-3	0.02	V Peak		
KVA	0.16	Crest	2.22	2.1	A Peak		
KVAR	0.07	THD Rms	36.6	67.4	V THD-R%		
Peak KW	0.75	THD Fund	39.3	91.2	A THD-R%		
Phase	38° lag	HRMS	39	1.04	KWatts		
Total PF	0.62	KFactor		6.7	KVAR		
DPF	0.79				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	3	2.5	0	0.02	1.1	0	0.00
1	50.0	100	95.2	0	1.14	74.6	-38	0.09
2	100.0	7	6.4	57	0.50	32.8	20	0.00
3	150.0	30	28.8	129	0.77	50.6	58	0.01
4	200.0	8	8.0	-150	0.25	16.5	137	0.00
5	250.0	16	14.9	-131	0.35	23.3	156	0.00
6	299.9	6	5.2	24	0.11	7.1	-55	0.00
7	349.9	3	2.4	-26	0.04	2.4	-102	0.00
8	399.9	8	7.2	180	0.12	7.7	102	0.00
9	449.9	5	4.3	-110	0.06	3.9	170	0.00
10	499.9	5	4.9	-42	0.06	4.0	-126	0.00
11	549.9	3	2.4	-25	0.03	1.7	-110	0.00
12	599.9	4	3.8	149	0.04	2.8	68	0.00
13	649.9	3	2.7	-60	0.03	1.9	-149	0.00
14	699.9	5	4.7	-72	0.04	2.9	-157	0.00
15	749.9	3	3.2	42	0.02	1.6	-44	0.00
16	799.9	1	1.4	63	0.01	0.6	-34	0.00
17	849.8	1	1.3	-102	0.01	0.8	176	0.00
18	899.8	2	2.4	-70	0.02	1.0	-153	0.00
19	949.8	4	3.5	40	0.03	1.7	-51	0.00
20	999.8	2	1.6	27	0.01	0.7	-63	0.00
21	1049.8	2	2.4	175	0.01	0.8	89	0.00
22	1099.8	1	1.3	-4	0.01	0.7	-90	0.00
23	1149.8	2	2.0	13	0.01	0.9	-76	0.00
24	1199.8	2	1.8	78	0.01	0.7	-13	0.00
25	1249.8	3	2.4	147	0.01	0.7	57	0.00
26	1299.8	1	0.9	-12	0.00	0.3	-88	0.00
27	1349.8	1	1.0	-57	0.01	0.5	-105	0.00
28	1399.7	3	2.8	100	0.02	1.1	7	0.00
29	1449.7	1	1.1	130	0.01	0.5	37	0.00
30	1499.7	1	1.2	-150	0.01	0.5	111	0.00
31	1549.7	0	0.5	-83	0.00	0.1	136	0.00

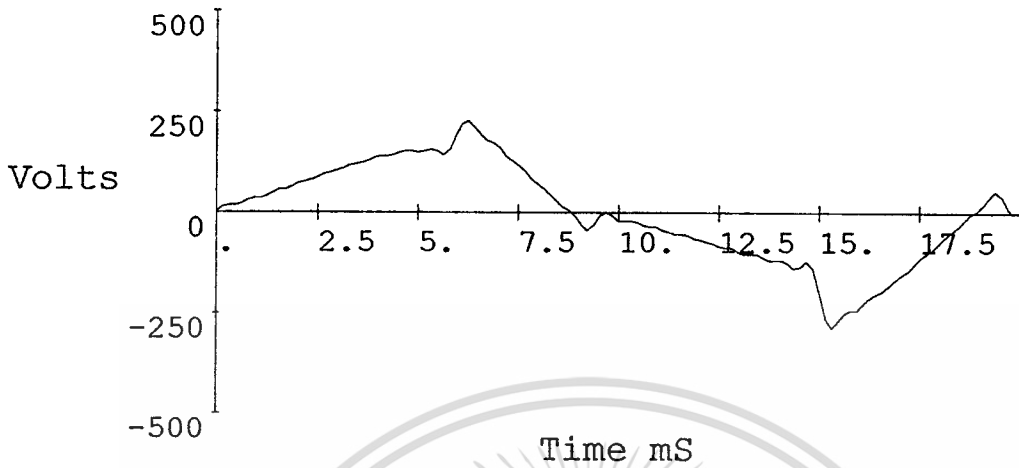
แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 1.5 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

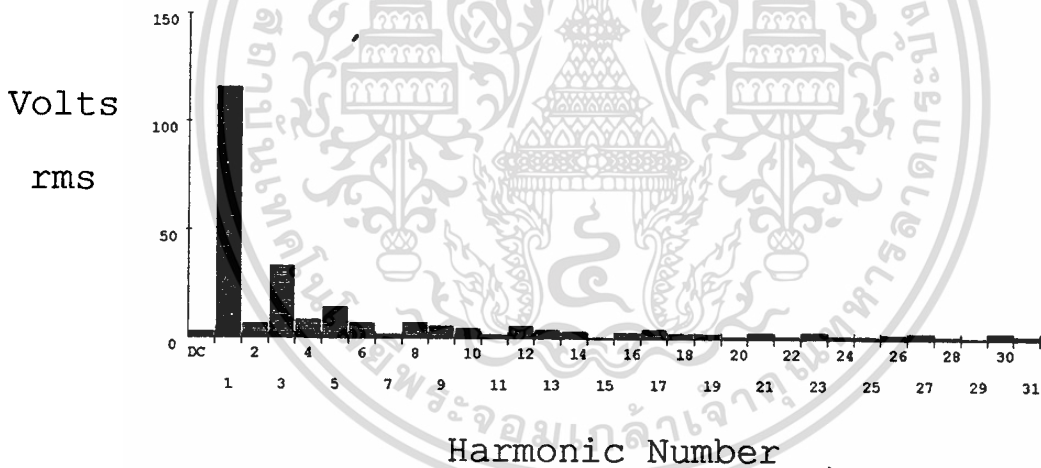
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage

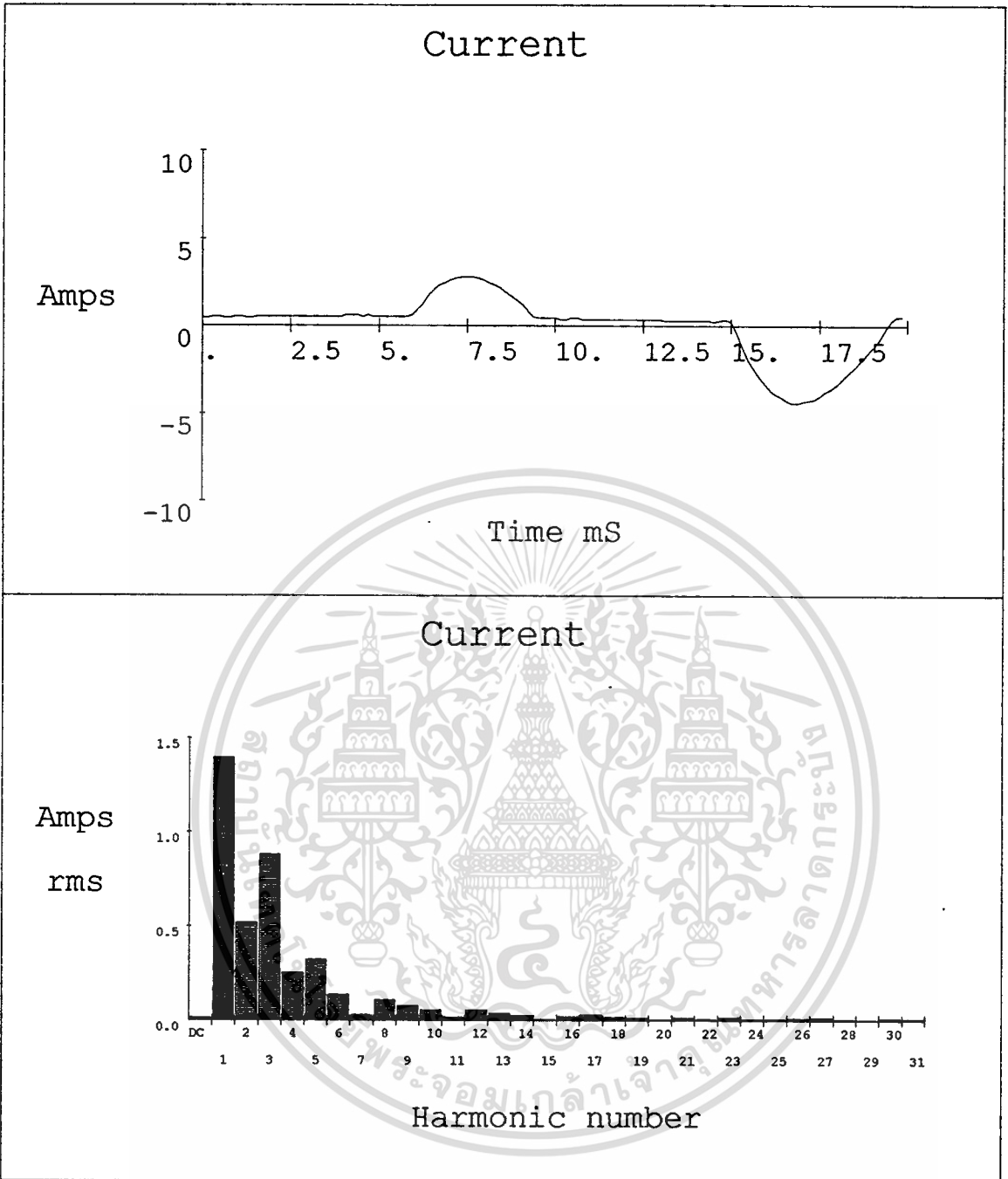


Voltage



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 2.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
 เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 2.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
 เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	50.0	RMS	123	1.80	V RMS		
Power		Peak	262	3.67	A RMS		
KW	0.14	DC Offset	-3	0.01	V Peak		
KVA	0.22	Crest	2.13	2.04	A Peak		
KVAR	0.10	THD Rms	33.6	62.7	V THD-R%		
Peak KW	0.87	THD Fund	35.7	80.6	A THD-R%		
Phase	39° lag	HRMS	41	1.13	KWatts		
Total PF	0.64	KFactor		5.7	KVAR		
DPF	0.78				TPF		
					DPF		
					Frequency		

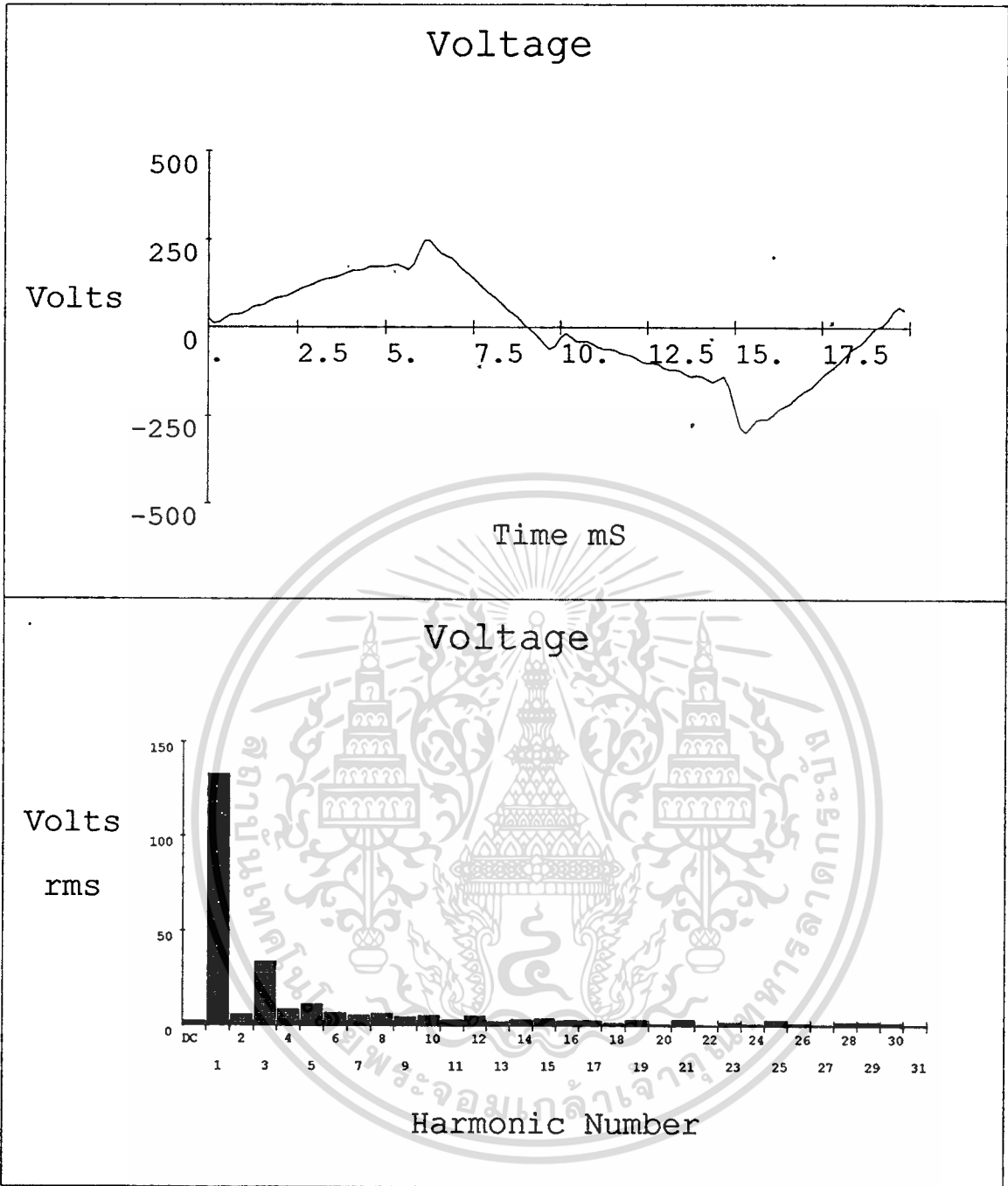
Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	3	2.3	0	0.01	0.8	0	0.00
1	50.0	116	96.2	0	1.40	78.5	-39	0.13
2	100.0	6	5.2	53	0.52	29.1	25	0.00
3	150.0	33	27.7	129	0.88	49.6	58	0.01
4	200.0	8	6.9	-135	0.25	14.2	154	0.00
5	250.0	14	11.8	-133	0.32	18.2	156	0.00
6	300.0	7	5.5	45	0.13	7.5	-35	0.00
7	350.0	2	1.5	128	0.03	1.6	49	0.00
8	400.0	7	5.9	-162	0.11	6.2	119	0.00
9	450.0	6	4.6	-120	0.07	4.2	155	0.00
10	500.0	5	3.9	9	0.05	3.1	-73	0.00
11	550.1	2	1.4	-110	0.02	0.9	158	0.00
12	600.1	5	4.5	177	0.05	3.0	94	0.00
13	650.1	4	3.2	-72	0.04	2.1	-156	0.00
14	700.1	3	2.8	-32	0.03	1.5	-120	0.00
15	750.1	0	0.1	122	0.00	0.3	80	0.00
16	800.1	3	2.2	163	0.02	1.2	85	0.00
17	850.1	4	3.5	-57	0.03	1.9	-148	0.00
18	900.1	2	1.9	-64	0.02	1.0	-153	0.00
19	950.1	2	1.9	65	0.01	0.8	-23	0.00
20	1000.1	1	0.8	-164	0.01	0.4	150	0.00
21	1050.1	3	2.5	-68	0.02	1.1	-154	0.00
22	1100.1	1	1.0	-44	0.01	0.5	-110	0.00
23	1150.1	3	2.6	53	0.02	0.9	-36	0.00
24	1200.1	1	1.0	-110	0.01	0.4	169	0.00
25	1250.1	1	1.0	-99	0.01	0.4	180	0.00
26	1300.1	2	1.6	-1	0.01	0.7	-86	0.00
27	1350.1	3	2.1	49	0.01	0.7	-50	0.00
28	1400.1	1	0.9	-138	0.00	0.2	127	0.00
29	1450.1	0	0.3	154	0.00	0.1	-22	0.00
30	1500.1	3	2.1	-1	0.01	0.7	-94	0.00
31	1550.1	1	1.1	64	0.01	0.4	-21	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 2.0 N-m

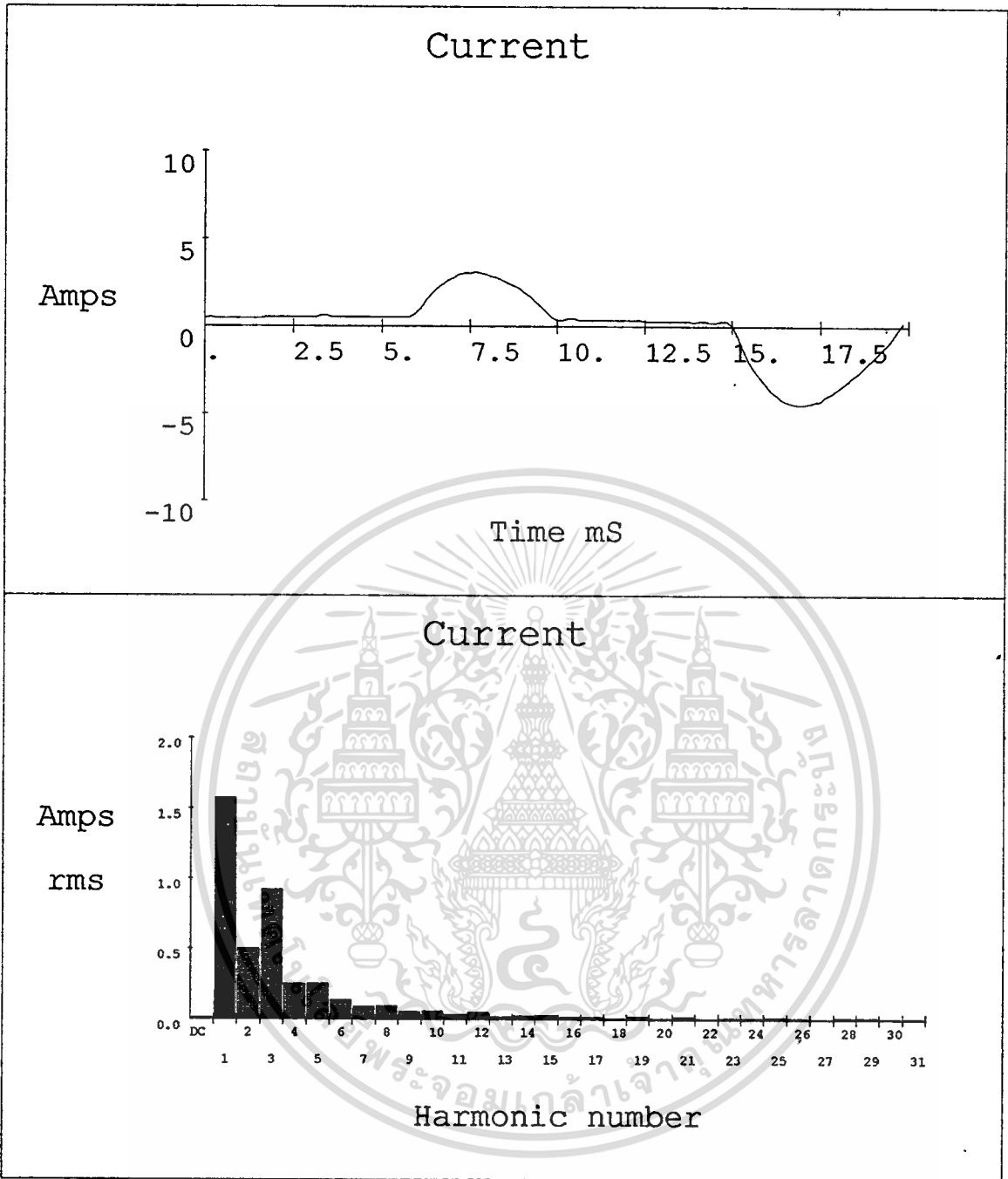
มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 2.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 2.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
 เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

		Record Information				
		Voltage	Current	Max	Average	Min
Frequency	50.0	RMS	139	1.94	V RMS	
Power		Peak	276	3.86	A RMS	
KW	0.17	DC Offset	-3	0.01	V Peak	
KVA	0.27	Crest	1.99	1.99	A Peak	
KVAR	0.14	THD Rms	29.0	58.3	V THD-R%	
Peak KW	0.97	THD Fund	30.3	71.7	A THD-R%	
Phase	41° lag	HRMS	40	1.13	KWatts	
Total PF	0.64	KFactor		4.8	KVAR	
DPF	0.76				TPF	
					DPF	
					Frequency	

Harmonic Information

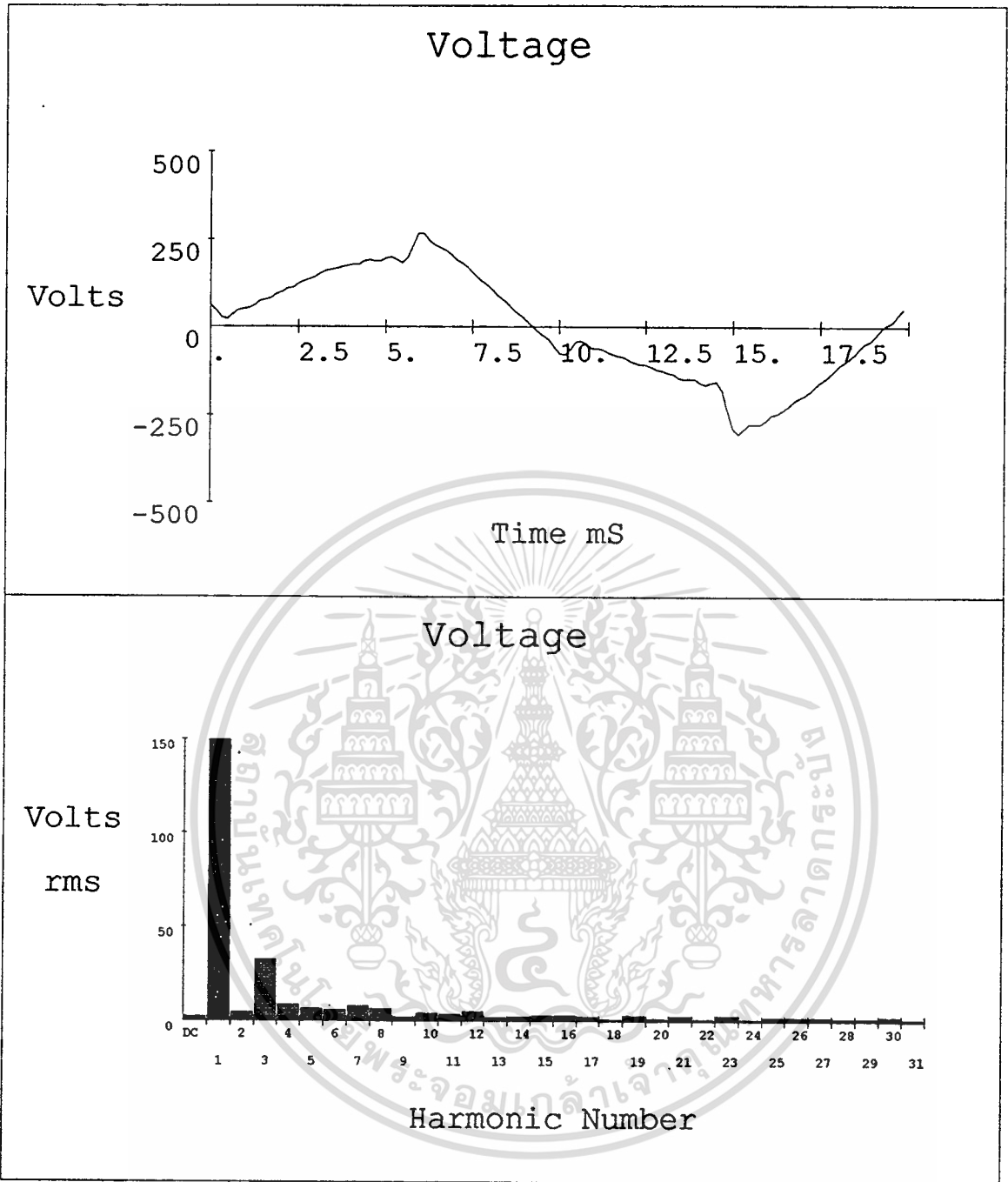
DC	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
	0.0	3	1.9	0	0.01	0.6	0	0.00
1	50.0	133	97.5	0	1.58	81.7	-41	0.16
2	100.0	6	4.1	43	0.50	26.0	27	0.00
3	150.0	34	24.6	122	0.92	47.7	50	0.01
4	200.0	8	6.0	-131	0.25	13.0	158	0.00
5	250.0	11	8.1	-146	0.25	13.1	146	0.00
6	299.9	7	4.8	44	0.14	7.1	-36	0.00
7	349.9	5	3.9	112	0.09	4.6	32	0.00
8	399.9	6	4.5	-155	0.09	4.9	123	0.00
9	449.9	5	3.4	-159	0.06	3.0	117	0.00
10	499.9	5	3.6	15	0.06	3.0	-65	0.00
11	549.9	3	2.3	164	0.04	1.9	80	0.00
12	599.9	5	3.5	177	0.05	2.6	92	0.00
13	649.9	2	1.6	-133	0.02	1.0	141	0.00
14	699.9	3	2.4	-11	0.03	1.4	-94	0.00
15	749.9	3	2.6	164	0.03	1.6	79	0.00
16	799.9	3	1.9	155	0.02	1.1	75	0.00
17	849.8	3	2.0	-98	0.02	1.1	178	0.00
18	899.8	1	1.1	-37	0.01	0.4	-132	0.00
19	949.8	3	2.2	144	0.02	1.1	59	0.00
20	999.8	1	0.7	153	0.01	0.4	69	0.00
21	1049.8	3	2.5	-105	0.02	1.1	168	0.00
22	1099.8	0	0.2	44	0.00	0.1	-132	0.00
23	1149.8	2	1.3	127	0.01	0.6	45	0.00
24	1199.8	1	0.7	-151	0.01	0.3	112	0.00
25	1249.8	3	2.2	-122	0.02	0.8	149	0.00
26	1299.8	1	0.9	51	0.01	0.3	-35	0.00
27	1349.8	1	0.4	112	0.00	0.2	44	0.00
28	1399.7	2	1.2	-148	0.01	0.5	128	0.00
29	1449.7	2	1.6	-132	0.01	0.6	145	0.00
30	1499.7	1	1.0	30	0.01	0.4	-84	0.00
31	1549.7	1	0.5	-144	0.01	0.3	132	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 2.5 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

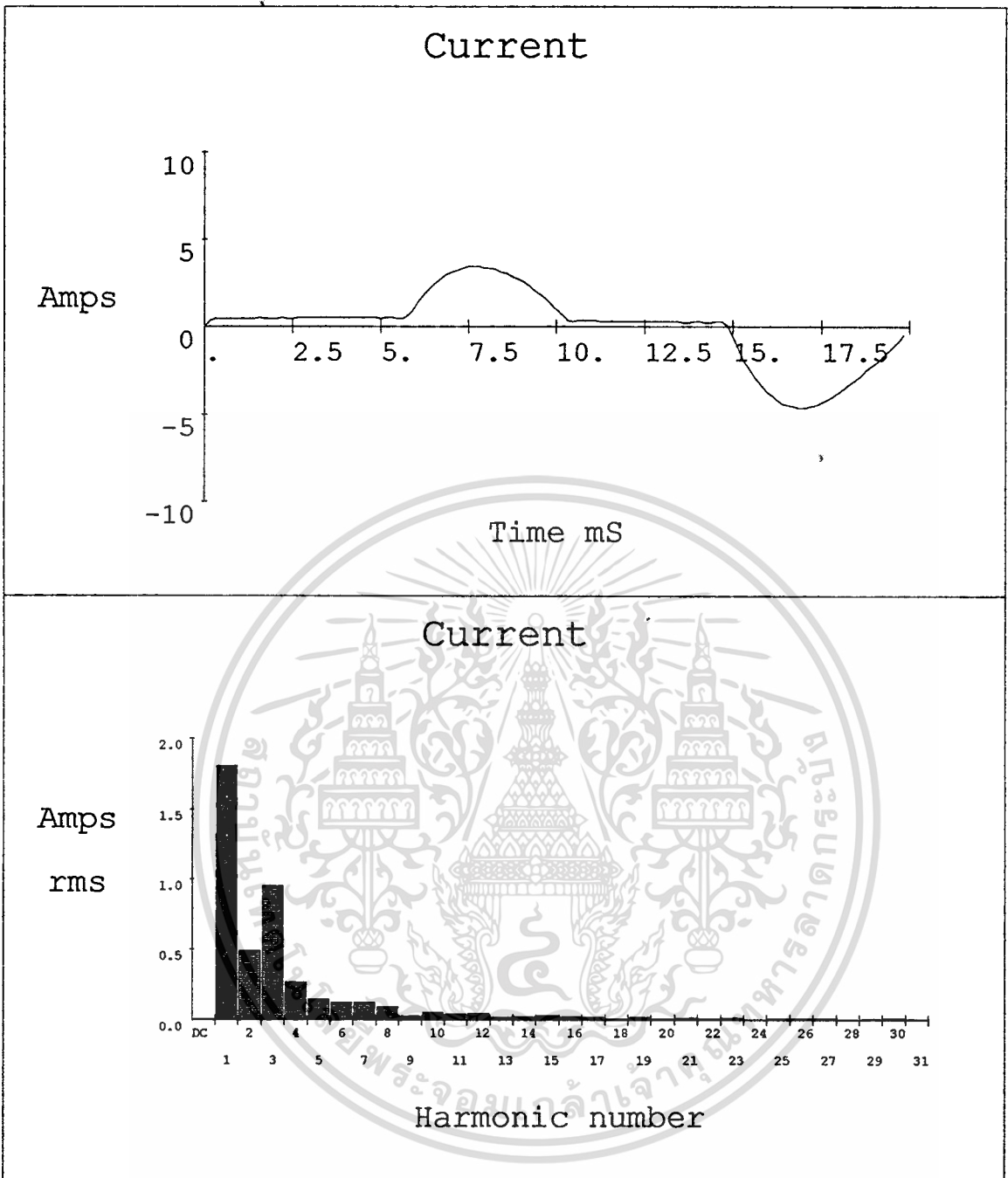
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 3.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 3.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	50.0	RMS	155	2.13	V RMS		
Power		Peak	291	4.10	A RMS		
KW	0.21	DC Offset	-2	0.01	V Peak		
KVA	0.33	Crest	1.88	1.92	A Peak		
KVAR	0.18	THD Rms	24.9	53.3	V THD-R%		
Peak KW	1.09	THD Fund	25.7	63.0	A THD-R%		
Phase	43° lag	HRMS	38	1.14	KWatts		
Total PF	0.64	KFactor		4.0	KVAR		
DPF	0.73				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

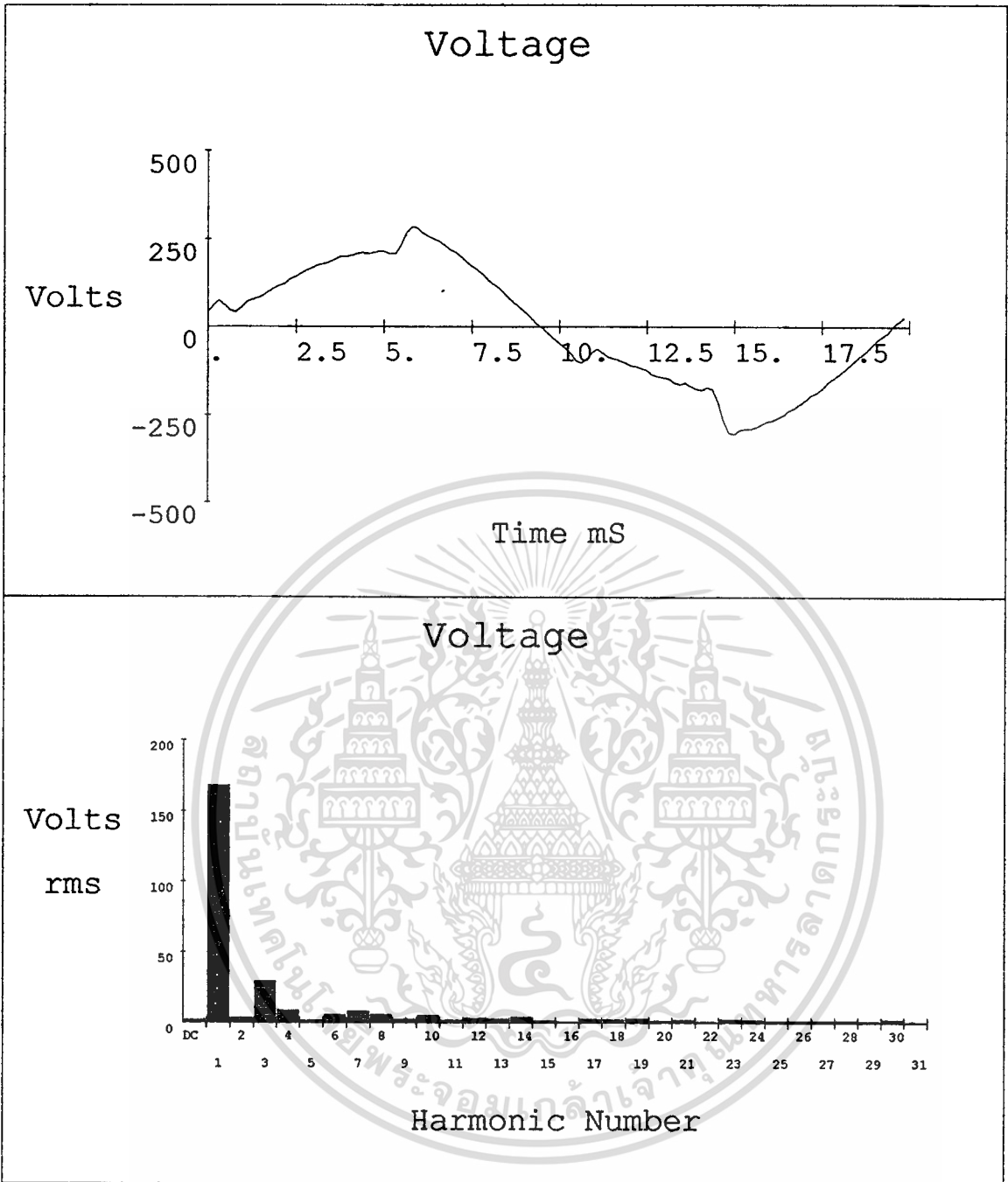
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	2	1.6	0	0.01	0.4	0	0.00
1	50.0	150	98.4	0	1.80	85.0	-43	0.20
2	100.0	5	3.0	34	0.49	23.0	36	0.00
3	150.0	33	21.5	117	0.95	44.8	46	0.01
4	200.0	9	5.7	-121	0.27	12.5	169	0.00
5	250.0	6	4.3	-148	0.15	7.1	151	0.00
6	300.0	6	3.7	60	0.13	5.9	-22	0.00
7	350.0	8	5.1	102	0.13	6.0	22	0.00
8	400.0	6	4.2	-133	0.10	4.5	145	0.00
9	450.0	2	1.3	162	0.03	1.4	72	0.00
10	500.0	4	2.8	41	0.06	2.6	-38	0.00
11	550.1	4	2.4	122	0.04	2.0	44	0.00
12	600.1	5	3.2	-150	0.05	2.3	126	0.00
13	650.1	2	1.2	76	0.02	1.0	-2	0.00
14	700.1	3	1.7	27	0.02	1.1	-54	0.00
15	750.1	3	2.1	147	0.03	1.4	60	0.00
16	800.1	3	1.9	-165	0.02	1.1	107	0.00
17	850.1	2	1.6	37	0.02	0.9	-52	0.00
18	900.1	1	0.6	20	0.01	0.3	-53	0.00
19	950.1	3	2.0	141	0.02	1.0	48	0.00
20	1000.1	1	0.9	-167	0.01	0.4	100	0.00
21	1050.1	2	1.6	11	0.02	0.8	-67	0.00
22	1100.1	1	0.5	140	0.01	0.3	41	0.00
23	1150.1	3	1.8	127	0.01	0.7	40	0.00
24	1200.1	1	0.3	-112	0.00	0.1	169	0.00
25	1250.1	2	1.2	-6	0.01	0.5	-78	0.00
26	1300.1	2	1.2	131	0.01	0.5	38	0.00
27	1350.1	2	1.2	108	0.01	0.5	28	0.00
28	1400.1	1	0.7	-82	0.00	0.2	-165	0.00
29	1450.1	1	0.8	6	0.01	0.3	-51	0.00
30	1500.1	2	1.4	117	0.01	0.6	22	0.00
31	1550.1	1	0.6	75	0.00	0.2	18	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 3.0 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

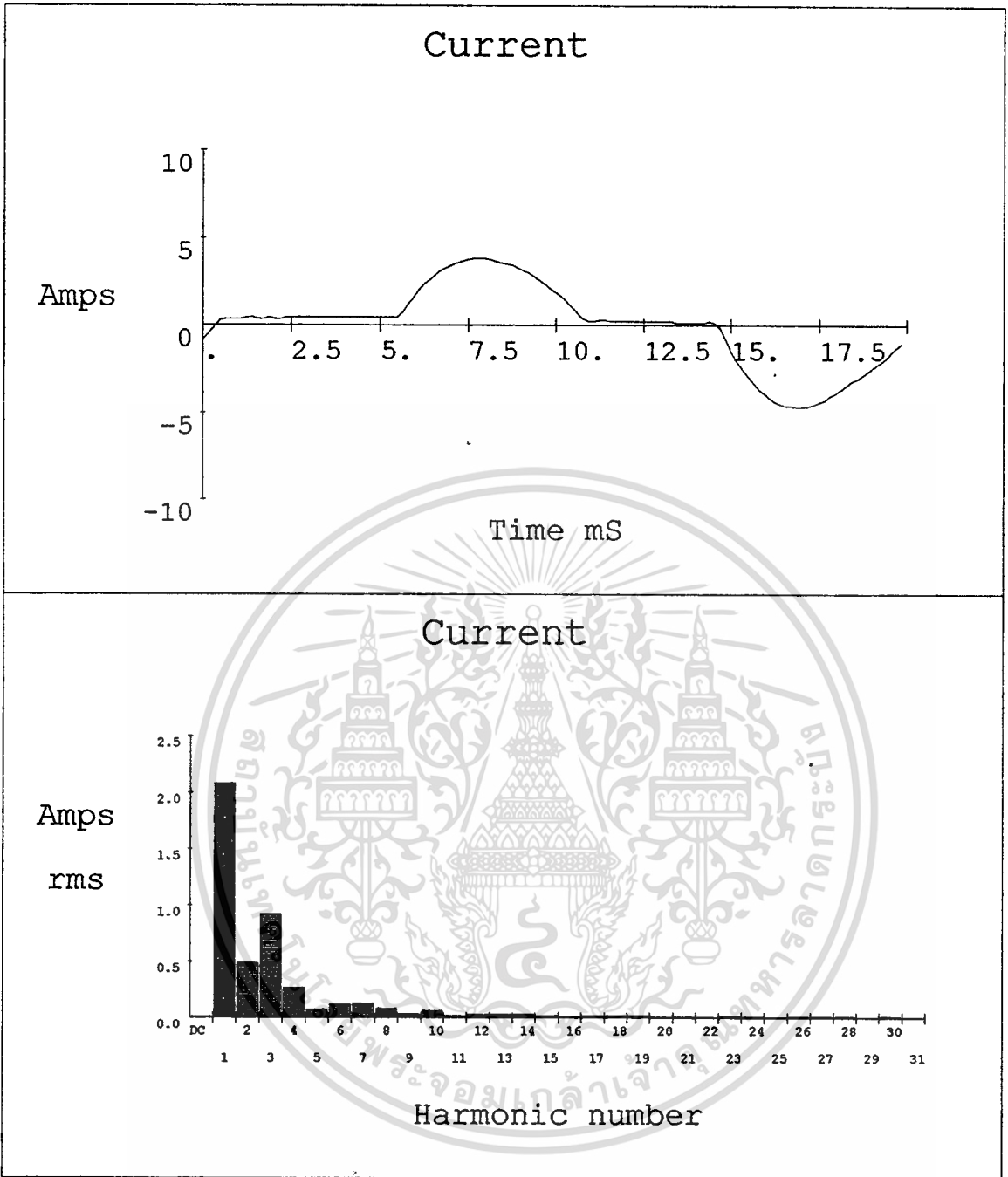
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 3.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 3.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

		Voltage	Current
Frequency	50.0	RMS 172	2.35
Power		Peak 303	4.35
KW	0.26	DC Offset -2	0.01
KVA	0.40	Crest 1.76	1.85
KVAR	0.25	THD Rms 19.9	46.8
Peak KW	1.19	THD Fund 20.3	52.9
Phase	45° lag	HRMS 34	1.10
Total PF	0.65	KFactor	3.3
DPF	0.71		

Record Information

	Max	Average	Min
V RMS			
A RMS			
V Peak			
A Peak			
V THD-R%			
A THD-R%			
KWatts			
KVAR			
TPF			
DPF			
Frequency			

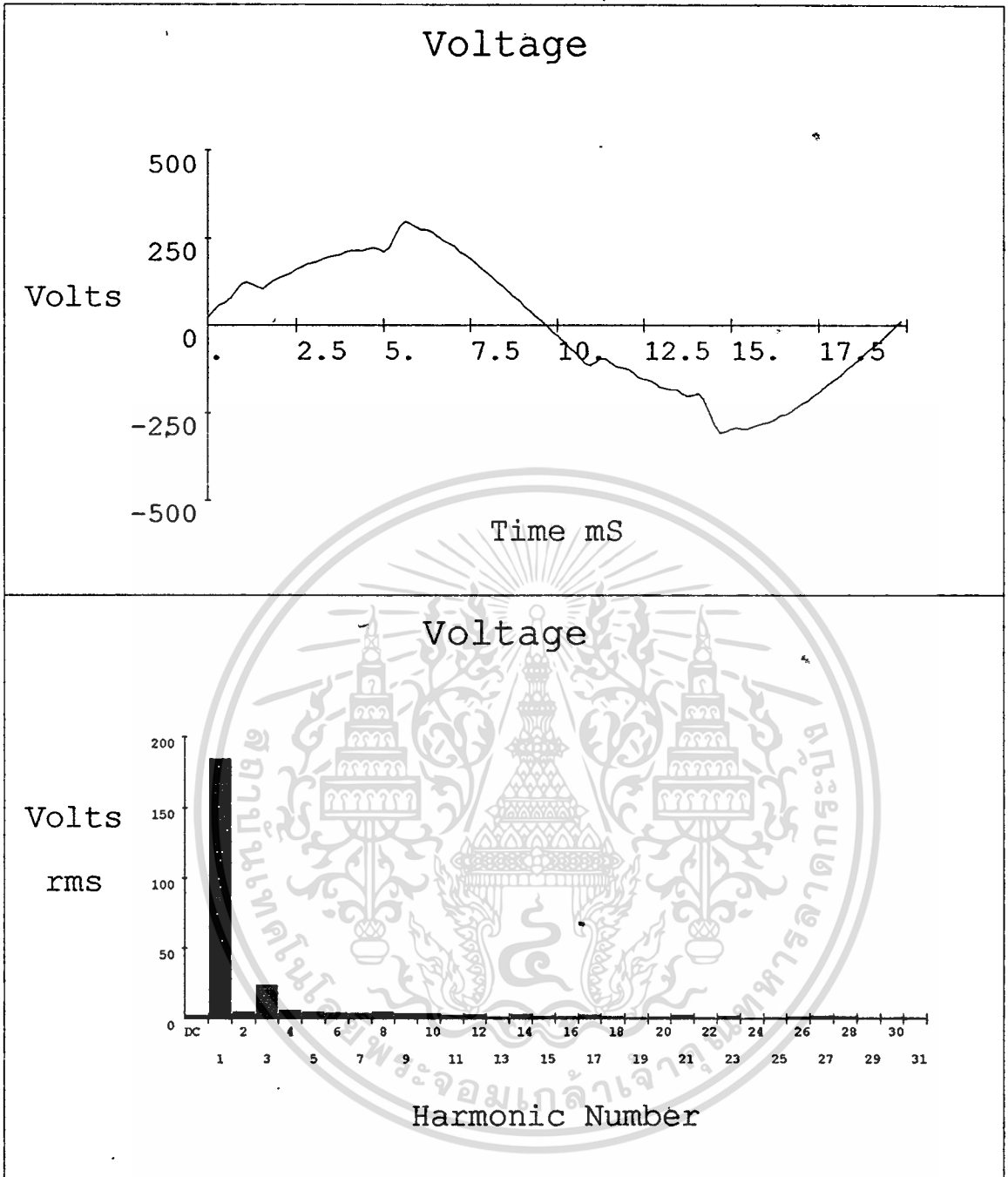
Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	2	1.2	0	0.01	0.4	0	0.00
1	50.0	168	99.1	0	2.08	88.8	-45	0.25
2	100.0	3	2.0	25	0.48	20.6	49	0.00
3	150.0	29	17.2	112	0.92	39.4	42	0.01
4	200.0	8	4.9	-117	0.27	11.4	178	0.00
5	250.0	2	1.0	-103	0.08	3.2	-149	0.00
6	299.9	5	3.2	92	0.12	5.0	7	0.00
7	349.9	8	4.5	86	0.13	5.4	5	0.00
8	399.9	5	3.2	-118	0.08	3.4	166	0.00
9	449.9	2	1.3	19	0.04	1.6	-57	0.00
10	499.9	5	3.0	90	0.07	2.8	5	0.00
11	549.9	2	1.1	52	0.02	0.9	-29	0.00
12	599.9	3	1.8	-122	0.03	1.3	161	0.00
13	649.9	3	1.6	30	0.03	1.2	-56	0.00
14	699.9	4	2.4	84	0.04	1.5	0	0.00
15	749.9	2	0.9	-77	0.02	0.8	-169	0.00
16	799.9	1	0.5	-110	0.01	0.3	-167	0.00
17	849.8	2	1.4	32	0.02	0.9	-52	0.00
18	899.8	3	1.5	68	0.02	0.7	-16	0.00
19	949.8	3	1.5	-106	0.02	0.8	173	0.00
20	999.8	1	0.6	-4	0.01	0.4	-84	0.00
21	1049.8	2	1.0	39	0.01	0.5	-50	0.00
22	1099.8	1	0.5	18	0.00	0.2	-92	0.00
23	1149.8	2	1.4	-117	0.02	0.7	158	0.00
24	1199.8	2	0.9	1	0.01	0.4	-94	0.00
25	1249.8	1	0.7	56	0.00	0.2	-50	0.00
26	1299.8	1	0.7	-88	0.01	0.3	167	0.00
27	1349.8	2	0.9	-127	0.01	0.4	168	0.00
28	1399.7	1	0.8	-4	0.01	0.4	-94	0.00
29	1449.7	1	0.4	77	0.00	0.2	-51	0.00
30	1499.7	2	1.2	-117	0.01	0.5	150	0.00
31	1549.7	0	0.2	-123	0.00	0.2	-161	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 3.5 N-m

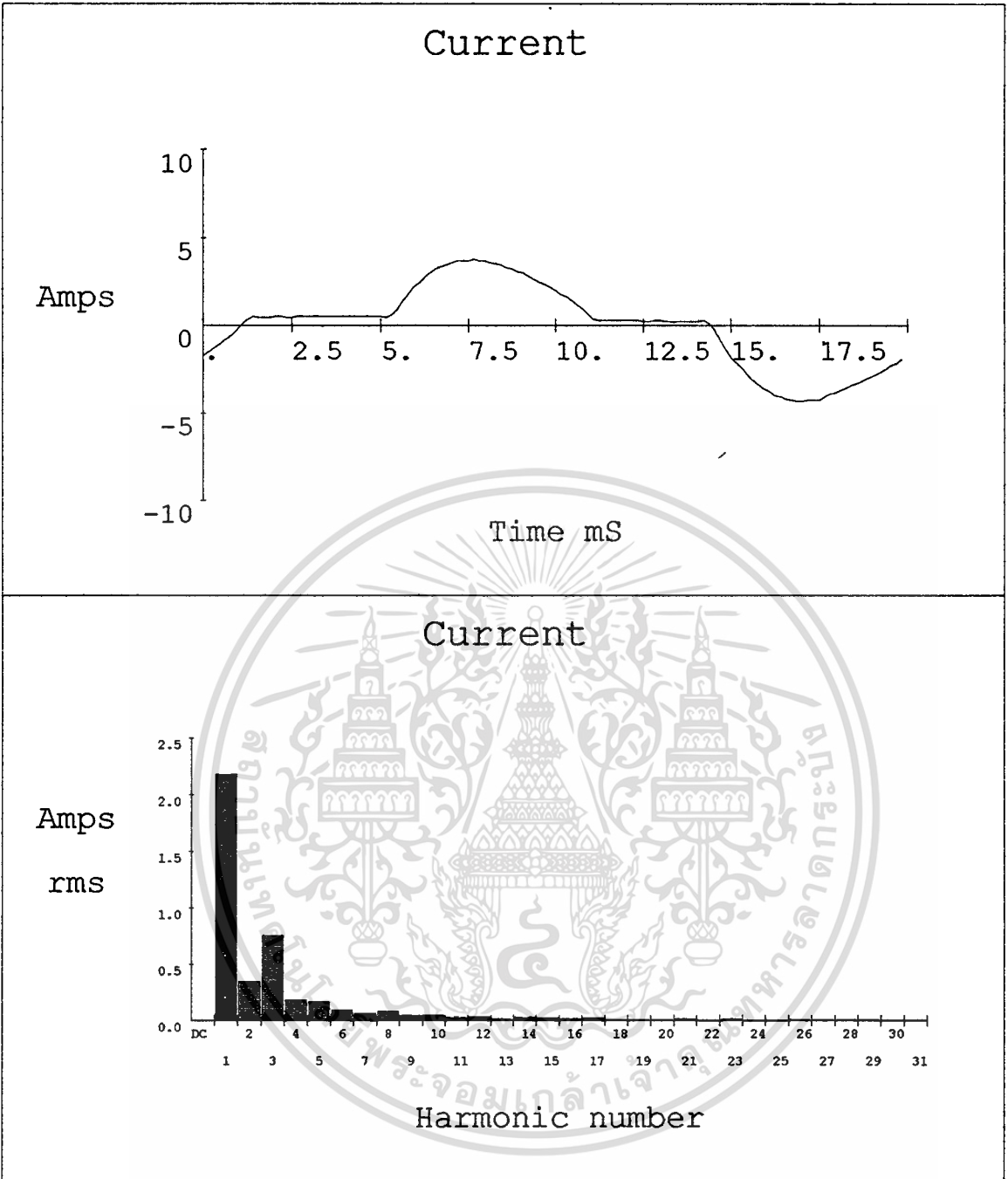
มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 4.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 4.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

		Voltage		Current		Record Information		
						Max	Average	Min
Frequency	50.0	RMS	187	2.35	V RMS			
Power		Peak	310	4.10	A RMS			
KW	0.29	DC Offset	-3	0.00	V Peak			
KVA	0.44	Crest	1.66	1.74	A Peak			
KVAR	0.30	THD Rms	15.2	37.6	V THD-R%			
Peak KW	1.11	THD Fund	15.4	40.6	A THD-R%			
Phase	47° lag	HRMS	28	0.89	KWatts			
Total PF	0.65	KFactor		2.6	KVAR			
DPF	0.68				TPF			
					DPF			
					Frequency			

Harmonic Information

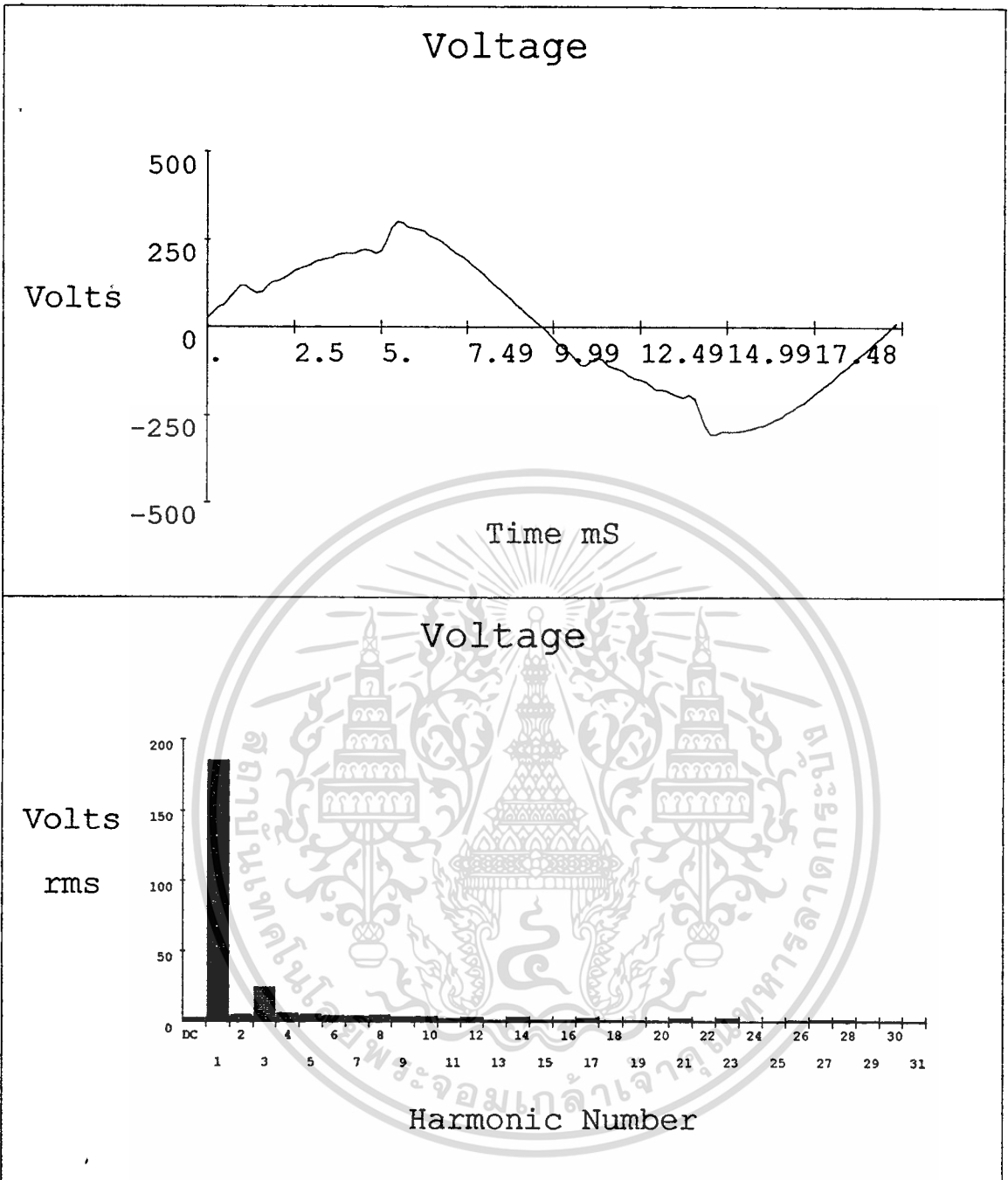
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	3	1.4	0	0.00	0.1	0	0.00
1	50.0	185	100.2	0	2.18	92.7	-47	0.27
2	100.0	5	2.7	76	0.34	14.6	34	0.00
3	150.0	24	13.0	101	0.76	32.2	38	0.01
4	200.0	6	3.2	-79	0.18	7.8	-148	0.00
5	250.0	5	2.7	-34	0.17	7.2	-111	0.00
6	299.9	5	2.4	103	0.09	4.0	21	0.00
7	349.9	4	2.3	58	0.07	2.9	-27	0.00
8	399.9	5	2.7	-74	0.08	3.5	-148	0.00
9	449.9	4	1.9	-39	0.05	2.0	-117	0.00
10	499.9	4	2.0	122	0.05	2.2	47	0.00
11	549.9	2	1.2	-70	0.03	1.2	-163	0.00
12	599.9	3	1.6	-70	0.03	1.4	-154	0.00
13	649.9	1	0.6	-152	0.01	0.6	121	0.00
14	699.9	3	1.7	129	0.03	1.2	54	0.00
15	749.9	2	1.1	-102	0.02	0.9	174	0.00
16	799.9	1	0.7	-37	0.01	0.5	-109	0.00
17	849.8	3	1.5	143	0.03	1.1	53	0.00
18	899.8	1	0.7	113	0.01	0.5	42	0.00
19	949.8	1	0.5	-38	0.01	0.4	-116	0.00
20	999.8	1	0.5	-6	0.01	0.3	-58	0.00
21	1049.8	3	1.4	122	0.02	0.7	37	0.00
22	1099.8	1	0.4	-33	0.00	0.2	-122	0.00
23	1149.8	2	1.1	-13	0.01	0.6	-98	0.00
24	1199.8	0	0.2	-136	0.00	0.1	-47	0.00
25	1249.8	1	0.4	124	0.00	0.2	39	0.00
26	1299.8	1	0.6	-65	0.01	0.3	-134	0.00
27	1349.8	2	0.9	-30	0.01	0.4	-115	0.00
28	1399.7	2	0.8	169	0.01	0.4	86	0.00
29	1449.7	1	0.4	-143	0.01	0.3	139	0.00
30	1499.7	1	0.3	-21	0.00	0.2	-141	0.00
31	1549.7	1	0.3	-99	0.00	0.2	-176	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 4.0 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

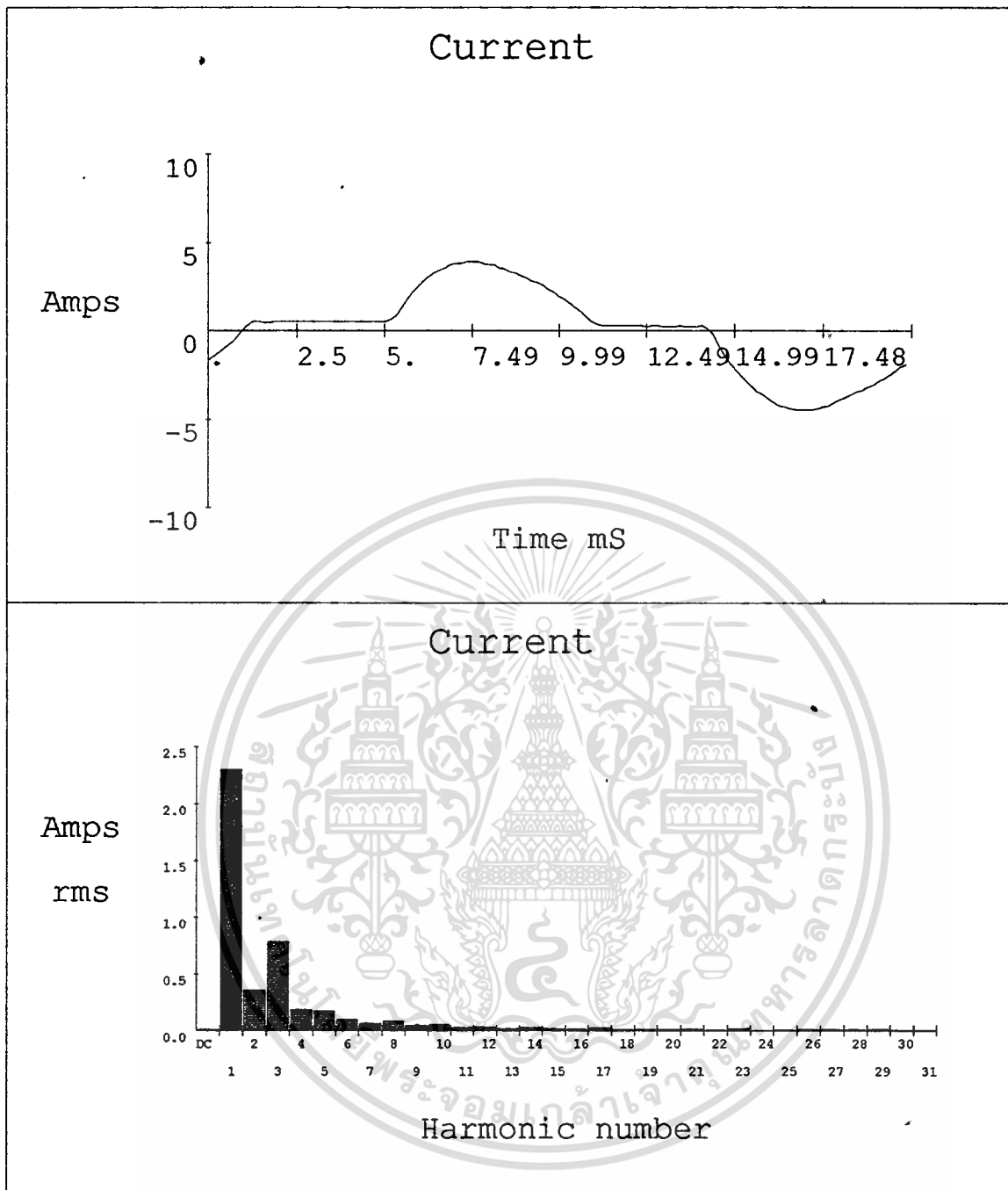
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 4.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 4.5 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	50.0	RMS	188	2.47	V RMS		
Power		Peak	311	4.29	A RMS		
KW	0.31	DC Offset	-3	-0.01	V Peak		
KVA	0.47	Crest	1.65	1.73	A Peak		
KVAR	0.30	THD Rms	15.4	37.1	V THD-R%		
Peak KW	1.18	THD Fund	15.6	39.9	A THD-R%		
Phase	45° lag	HRMS	29	0.92	KWatts		
Total PF	0.67	KFactor		2.5	KVAR		
DPF	0.71				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

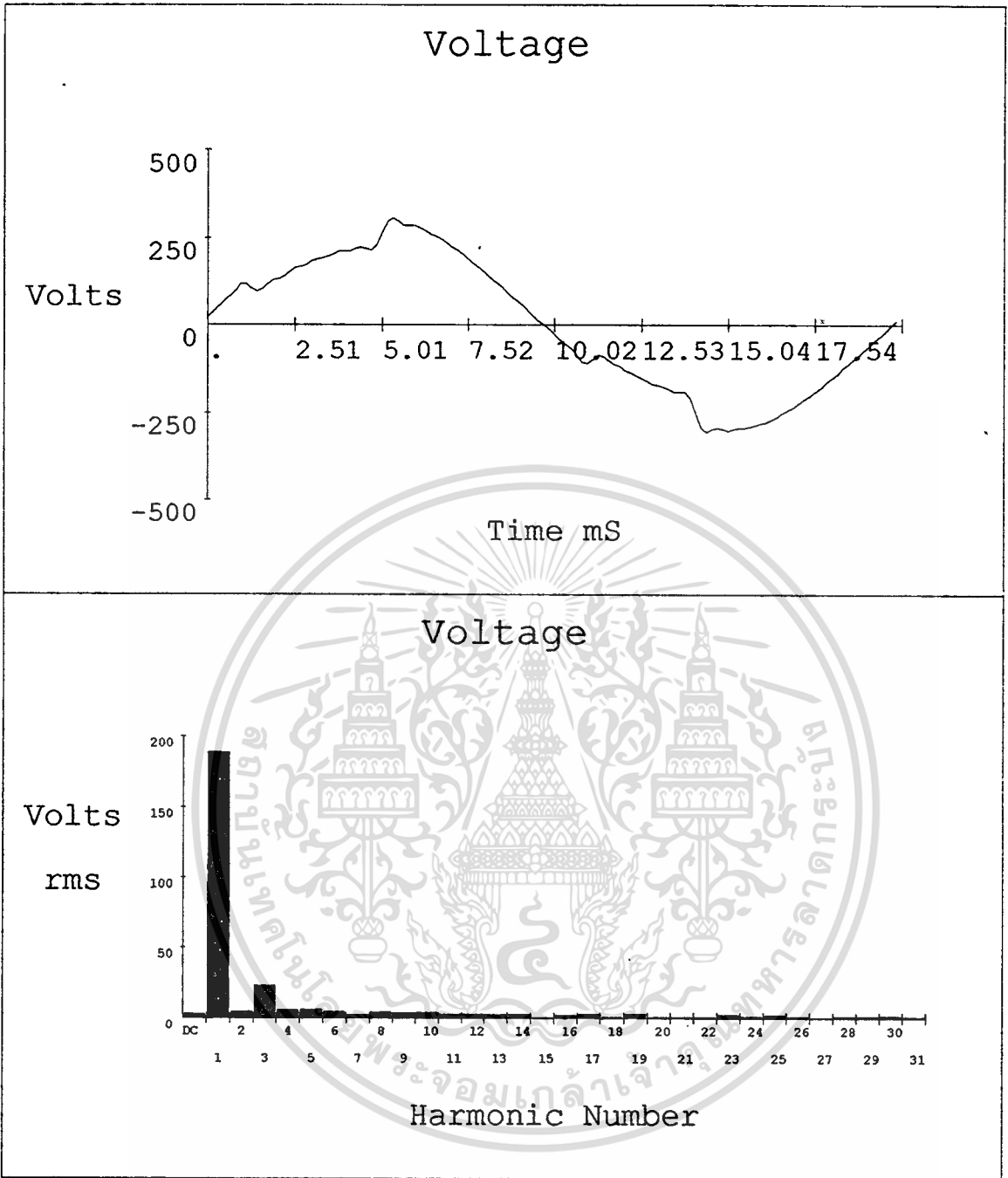
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	3	1.5	0	0.01	0.3	0	0.00
1	50.0	186	100.2	0	2.30	93.0	-45	0.30
2	100.1	5	2.5	80	0.35	14.4	39	0.00
3	150.1	24	13.2	108	0.79	31.9	44	0.01
4	200.2	6	3.2	-70	0.18	7.4	-139	0.00
5	250.2	5	2.8	-22	0.18	7.1	-101	0.00
6	300.3	5	2.5	117	0.10	3.9	36	0.00
7	350.3	4	2.1	68	0.06	2.6	-15	0.00
8	400.4	5	2.6	-55	0.08	3.3	-127	0.00
9	450.4	4	2.0	-22	0.05	2.0	-100	0.00
10	500.5	4	2.1	146	0.05	2.2	70	0.00
11	550.5	2	1.3	-53	0.03	1.2	-145	0.00
12	600.6	3	1.6	-39	0.03	1.4	-124	0.00
13	650.6	1	0.7	-133	0.02	0.7	134	0.00
14	700.6	3	1.6	160	0.03	1.1	87	0.00
15	750.7	2	0.9	-74	0.02	0.7	-158	0.00
16	800.7	2	0.8	5	0.01	0.5	-70	0.00
17	850.8	3	1.6	179	0.03	1.0	87	0.00
18	900.8	1	0.6	157	0.01	0.4	72	0.00
19	950.9	1	0.6	29	0.01	0.4	-46	0.00
20	1000.9	1	0.5	31	0.01	0.3	-31	0.00
21	1051.0	2	1.2	167	0.02	0.6	88	0.00
22	1101.0	1	0.3	0	0.00	0.2	-91	0.00
23	1151.1	2	1.2	39	0.02	0.7	-51	0.00
24	1201.1	0	0.2	-102	0.00	0.0	-10	0.00
25	1251.2	1	0.3	-154	0.00	0.2	125	0.00
26	1301.2	1	0.5	-10	0.01	0.3	-98	0.00
27	1351.2	2	0.9	22	0.01	0.3	-64	0.00
28	1401.3	2	0.9	-131	0.01	0.4	134	0.00
29	1451.3	1	0.5	-84	0.01	0.3	-179	0.00
30	1501.4	1	0.4	75	0.00	0.2	-44	0.00
31	1551.4	0	0.2	-72	0.00	0.2	-179	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 4.5 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

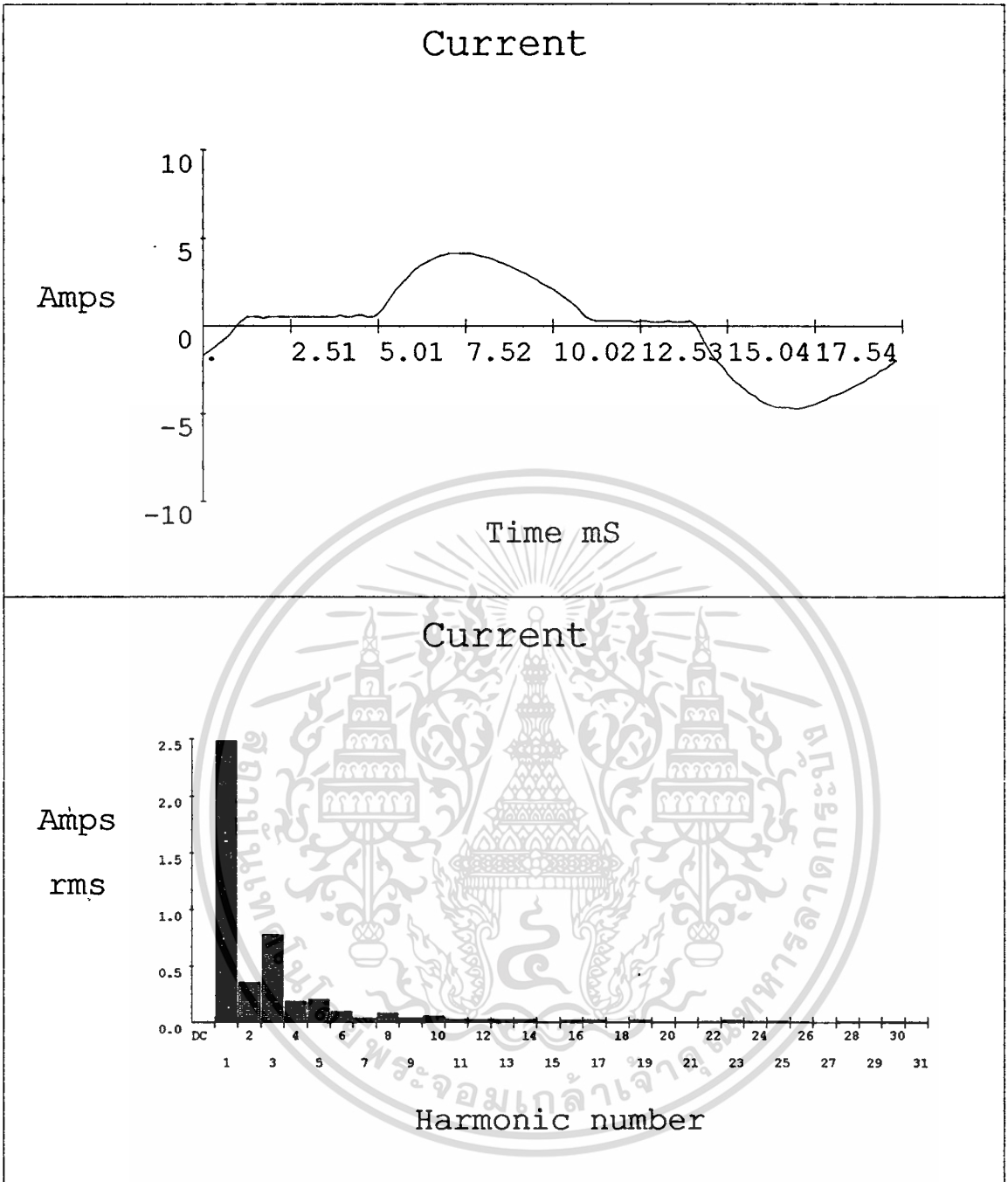
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 5.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 5.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

		Voltage	Current
Frequency	49.9	RMS 191	2.65
Power		Peak 312	4.53
KW	0.35	DC Offset -3	0.00
KVA	0.51	Crest 1.63	1.71
KVAR	0.33	THD Rms 14.5	34.6
Peak KW	1.28	THD Fund 14.7	36.9
Phase	44° lag	HRMS 28	0.92
Total PF	0.70	KFactor	2.4
DPF	0.72		

Record Information

Max	Average	Min
V RMS		
A RMS		
V Peak		
A Peak		
V THD-R%		
A THD-R%		
KWatts		
KVAR		
TPF		
DPF		
Frequency		

Harmonic Information

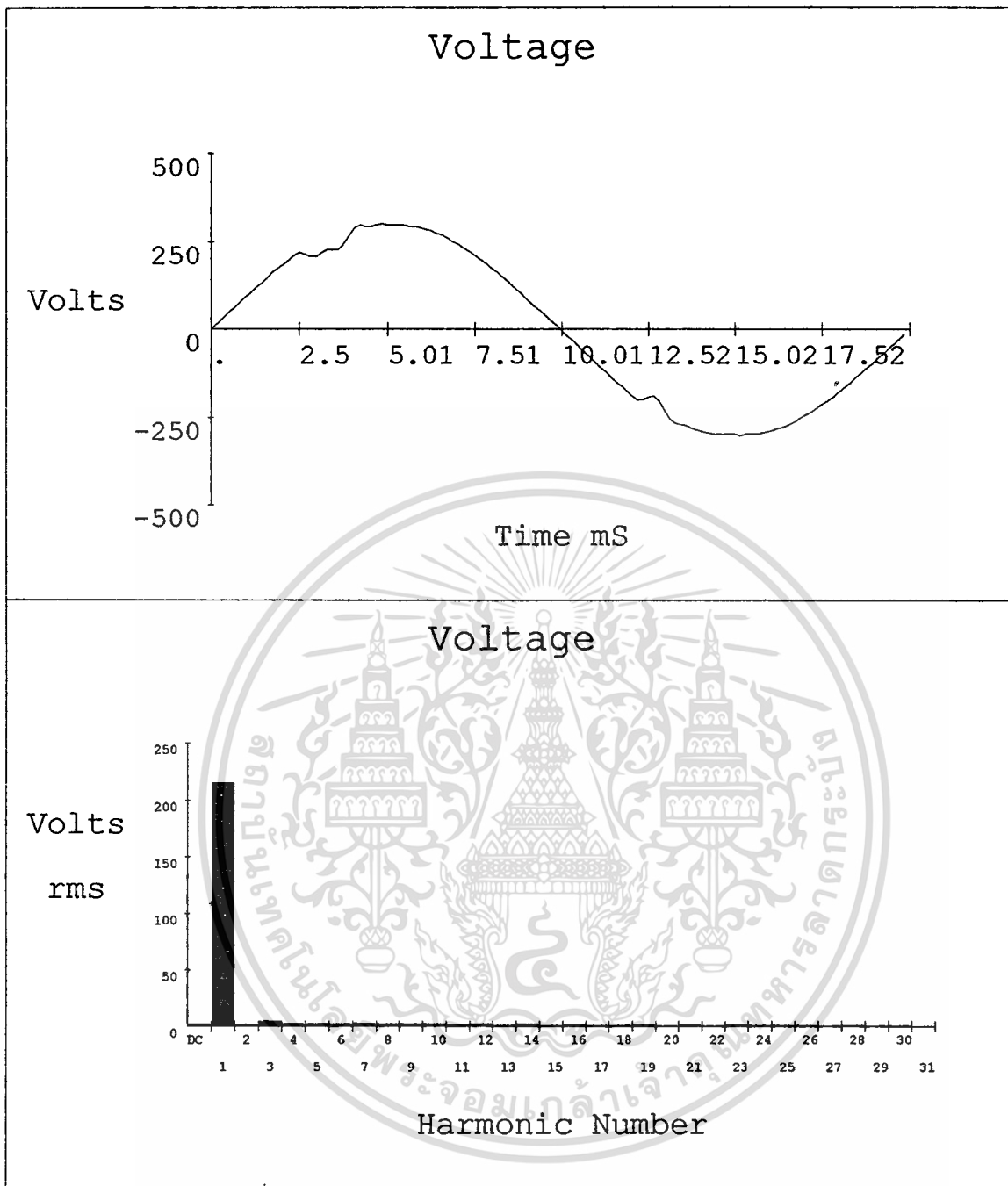
DC	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
	0.0	3	1.4	0	0.00	0.1	0	0.00
1	49.9	189	100.2	0	2.49	93.9	-44	0.34
2	99.8	5	2.4	89	0.36	13.4	47	0.00
3	149.6	23	12.3	112	0.78	29.4	50	0.01
4	199.5	6	3.1	-57	0.19	7.2	-124	0.00
5	249.4	6	3.3	-5	0.20	7.6	-86	0.00
6	299.3	5	2.4	145	0.10	3.6	63	0.00
7	349.2	2	1.3	72	0.04	1.4	-15	0.00
8	399.0	5	2.4	-24	0.08	3.0	-99	0.00
9	448.9	4	1.9	-13	0.05	1.7	-91	0.00
10	498.8	4	2.1	-176	0.06	2.2	108	0.00
11	548.7	3	1.4	-51	0.03	1.2	-141	0.00
12	598.6	3	1.5	18	0.03	1.1	-67	0.00
13	648.5	2	1.2	-124	0.03	1.1	154	0.00
14	698.3	3	1.4	-153	0.03	1.1	137	0.00
15	748.2	0	0.0	7	0.00	0.2	-91	0.00
16	798.1	2	1.0	66	0.02	0.7	-15	0.00
17	848.0	3	1.4	-144	0.02	0.9	127	0.00
18	897.9	1	0.3	-101	0.00	0.2	152	0.00
19	947.7	3	1.4	101	0.02	0.8	20	0.00
20	997.6	1	0.3	68	0.00	0.2	0	0.00
21	1047.5	1	0.5	-96	0.01	0.2	-167	0.00
22	1097.4	1	0.3	18	0.01	0.3	-45	0.00
23	1147.3	2	1.2	95	0.02	0.7	13	0.00
24	1197.1	1	0.5	-60	0.01	0.2	-134	0.00
25	1247.0	2	0.9	-24	0.01	0.4	-118	0.00
26	1296.9	1	0.3	154	0.01	0.2	34	0.00
27	1346.8	0	0.1	115	0.00	0.0	36	0.00
28	1396.7	1	0.6	-52	0.01	0.3	-127	0.00
29	1446.5	1	0.6	-39	0.01	0.2	-113	0.00
30	1496.4	2	0.9	178	0.01	0.3	88	0.00
31	1546.3	1	0.4	-112	0.00	0.2	176	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 5.0 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

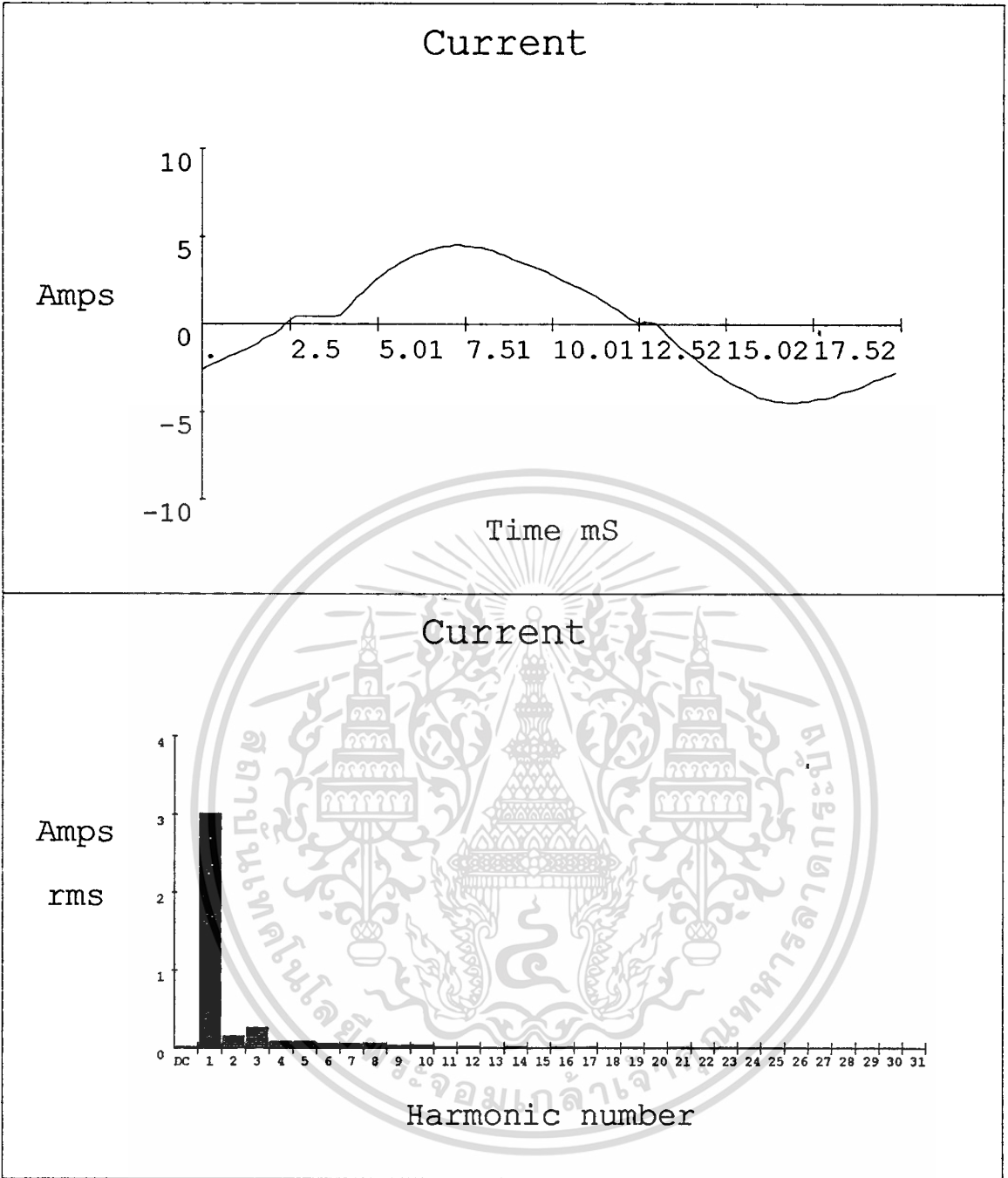
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 6.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
 เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 6.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information				Record Information			
		Voltage	Current		Max	Average	Min
Frequency	49.9	RMS	215	3.03	V RMS		
Power		Peak	306	4.58	A RMS		
KW	0.45	DC Offset	-2	-0.02	V Peak		
KVA	0.65	Crest	1.42	1.51	A Peak		
KVAR	0.46	THD Rms	4.5	11.7	V THD-R%		
Peak KW	1.27	THD Fund	4.5	11.8	A THD-R%		
Phase	46° lag	HRMS	10	0.36	KWatts		
Total PF	0.70	KFactor		1.3	KVAR		
DPF	0.70				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

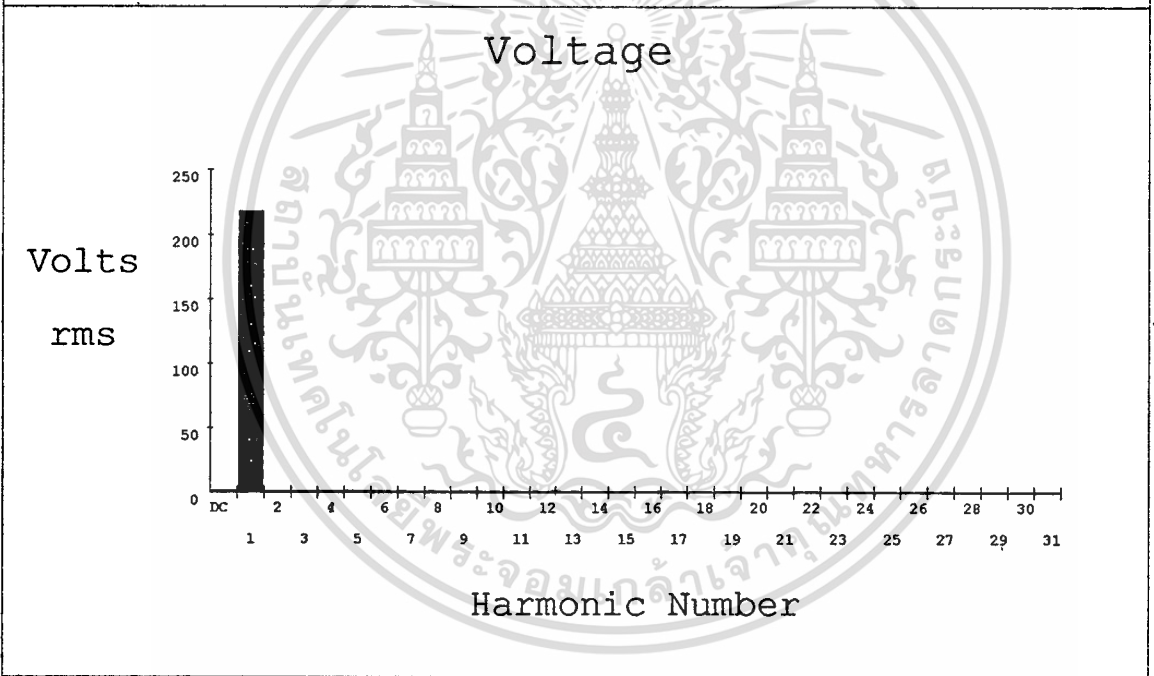
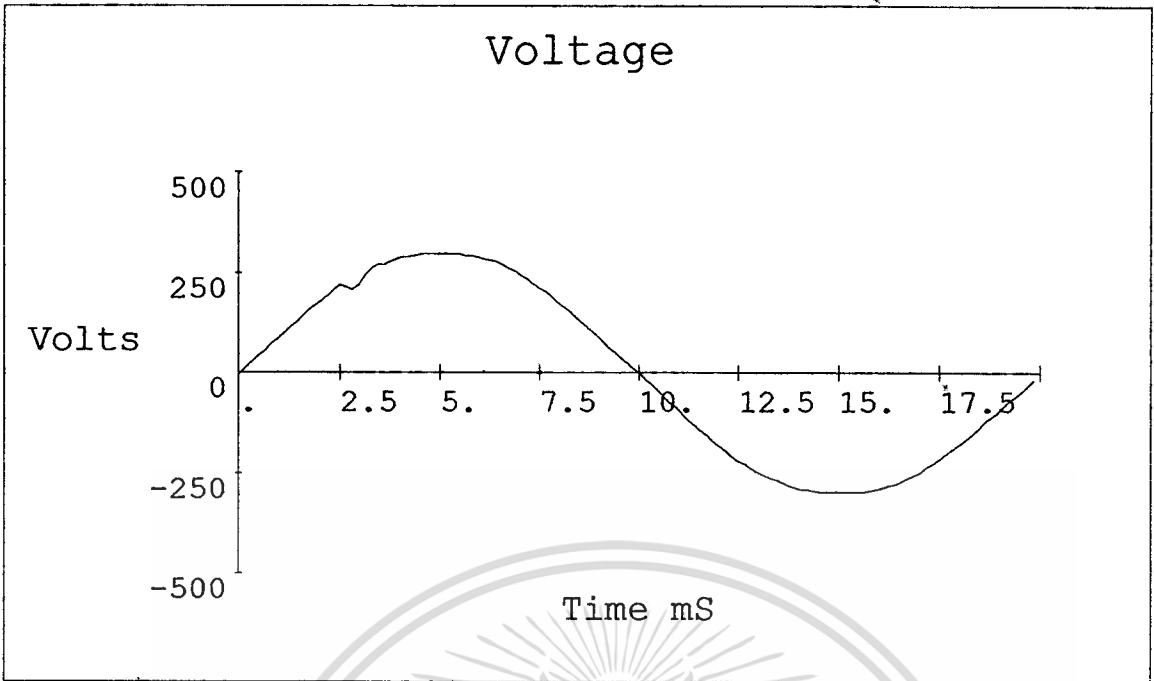
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	2	0.9	0	0.02	0.6	0	0.00
1	49.9	215	100.8	0	3.01	99.8	-46	0.45
2	99.9	2	0.8	141	0.16	5.1	97	0.00
3	149.8	4	2.1	99	0.26	8.8	80	0.00
4	199.7	2	1.1	6	0.09	3.0	-65	0.00
5	249.7	3	1.2	-41	0.09	3.0	-98	0.00
6	299.6	2	1.1	-121	0.06	2.0	168	0.00
7	349.5	3	1.4	-119	0.06	1.9	153	0.00
8	399.5	3	1.2	121	0.06	2.0	48	0.00
9	449.4	2	1.1	134	0.04	1.2	39	0.00
10	499.4	3	1.2	6	0.04	1.4	-76	0.00
11	549.3	1	0.6	13	0.02	0.6	-75	0.00
12	599.2	2	1.0	-111	0.03	1.0	168	0.00
13	649.2	1	0.3	-35	0.01	0.2	-90	0.00
14	699.1	2	0.9	137	0.02	0.6	68	0.00
15	749.0	1	0.3	-85	0.01	0.3	-144	0.00
16	799.0	1	0.6	28	0.01	0.4	-49	0.00
17	848.9	1	0.5	-178	0.01	0.4	92	0.00
18	898.8	1	0.3	-70	0.01	0.2	-135	0.00
19	948.8	1	0.7	70	0.01	0.4	-19	0.00
20	998.7	0	0.2	-121	0.00	0.1	162	0.00
21	1048.6	1	0.6	-39	0.01	0.4	-131	0.00
22	1098.6	1	0.3	172	0.01	0.2	70	0.00
23	1148.5	1	0.6	-154	0.01	0.4	119	0.00
24	1198.5	1	0.4	71	0.01	0.2	-1	0.00
25	1248.4	1	0.4	94	0.01	0.3	10	0.00
26	1298.3	1	0.4	-39	0.01	0.2	-139	0.00
27	1348.3	1	0.3	-23	0.00	0.1	-98	0.00
28	1398.2	1	0.4	-154	0.01	0.2	99	0.00
29	1448.1	0	0.1	-120	0.00	0.1	-145	0.00
30	1498.1	1	0.3	96	0.00	0.1	-11	0.00
31	1548.0	0	0.0	178	0.00	0.0	54	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ขณะโหลด 6.0 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

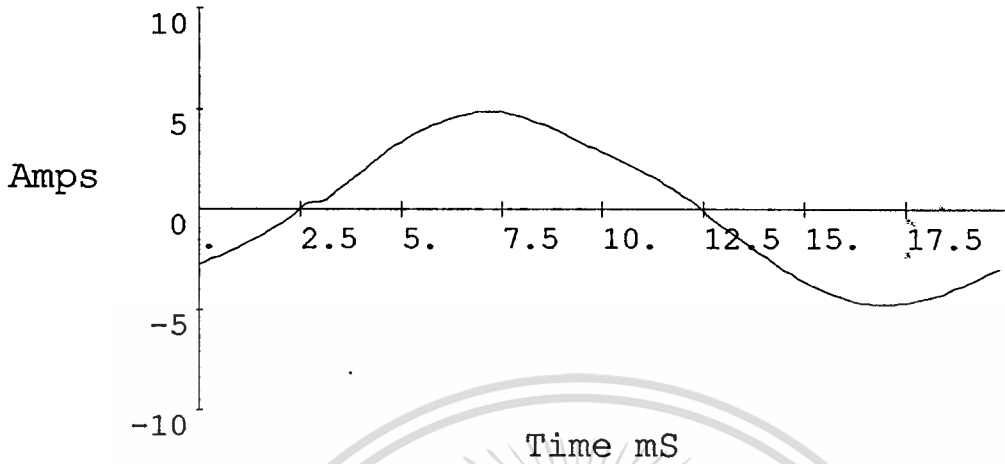
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



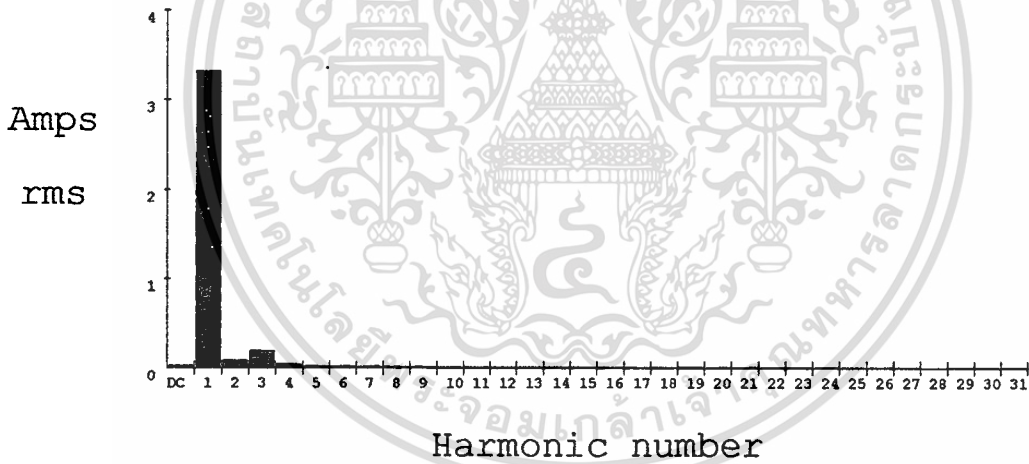
แสดงภาพสัญญาณแรงดันขณะโหลด 7.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
 เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current



Current



แสดงภาพสัญญาณกระแสขณะโหลด 7.0 N-m มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน
เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Information

Frequency	50.0
Power	
KW	0.53
KVA	0.73
KVAR	0.49
Peak KW	1.36
Phase	43° lag
Total PF	0.74
DPF	0.73

	Voltage	Current
RMS	218	3.33
Peak	305	4.92
DC Offset	-2	-0.03
Crest	1.4	1.48
THD Rms	1.8	6.7
THD Fund	1.8	6.7
HRMS	4	0.22
KFactor		1.1

Record Information

	Max	Average	Min
V RMS			
A RMS			
V Peak			
A Peak			
V THD-R%			
A THD-R%			
KWatts			
KVAR			
TPF			
DPF			
Frequency			

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)
DC	0.0	2	0.8	0	0.03	0.9	0	0.00
1	50.0	218	100.7	0	3.32	100.6	-43	0.53
2	100.0	1	0.4	-158	0.09	2.7	125	0.00
3	150.0	1	0.5	101	0.19	5.8	107	0.00
4	200.0	1	0.4	62	0.04	1.2	-13	0.00
5	250.0	2	0.7	-148	0.02	0.5	149	0.00
6	299.9	1	0.4	-32	0.02	0.7	-99	0.00
7	349.9	1	0.4	-85	0.02	0.5	146	0.00
8	399.9	1	0.3	-143	0.02	0.5	115	0.00
9	449.9	1	0.4	158	0.02	0.6	32	0.00
10	499.9	1	0.3	108	0.01	0.3	22	0.00
11	549.9	1	0.3	32	0.01	0.4	-75	0.00
12	599.9	1	0.3	9	0.01	0.3	-81	0.00
13	649.9	1	0.4	-45	0.01	0.3	-143	0.00
14	699.9	1	0.3	-98	0.01	0.3	171	0.00
15	749.9	1	0.3	-148	0.01	0.3	108	0.00
16	799.9	1	0.3	155	0.01	0.2	85	0.00
17	849.8	1	0.3	107	0.01	0.3	8	0.00
18	899.8	1	0.3	51	0.01	0.2	-19	0.00
19	949.8	1	0.3	-1	0.01	0.3	-94	0.00
20	999.8	1	0.3	-51	0.01	0.2	-115	0.00
21	1049.8	1	0.3	-103	0.01	0.3	153	0.00
22	1099.8	1	0.3	-151	0.00	0.1	148	0.00
23	1149.8	1	0.3	160	0.01	0.2	71	0.00
24	1199.8	1	0.3	100	0.00	0.2	27	0.00
25	1249.8	1	0.2	51	0.01	0.2	-44	0.00
26	1299.8	1	0.3	-1	0.00	0.1	-40	0.00
27	1349.8	1	0.2	-55	0.00	0.1	-109	0.00
28	1399.7	1	0.2	-100	0.00	0.0	-160	0.00
29	1449.7	1	0.2	-154	0.00	0.1	177	0.00
30	1499.7	0	0.2	150	0.00	0.1	40	0.00
31	1549.7	0	0.2	101	0.00	0.1	22	0.00

แสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ขณะโหลด 7.0 N-m

มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน เครื่องมือวัด FLUKE 41 ต่อหลังอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลเฉพาะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ข้อมูลเฉพาะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัย

- 74221 Dual Monostable Multivibrator with Schmitt-Trigger input (หน้า 202)
- ULN2003, High Voltage ,High Current Darlington Driver (หน้า 203 - 207)
- LM334Z , 3-Terminal Adjustable Current Sources (หน้า 208 - 215)
- MC1741 ,Operational Amplifier (หน้า 216 - 226)
- AT89C2051 , Microcontroller (หน้า 227 - 237)
- PK(PD,PE,KK)25F ,Thyristor Module (หน้า 238 - 239)
- MC1408 ,Digital-To-Analog Converter (หน้า 240 - 250)

54221/74221 Dual Monostable Multivibrator with Schmitt-Trigger Input

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL				
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	
T.I.									SN54LS221	J	Q	W	Q	W							
FAIRCHILD									SN74LS221	J	Q	W	Q	W							
MOTOROLA																					
N.S.C.																					
PHILIPS									N74LS221	Q			N74221	Q							
SIGNETICS									N74LS221	A	Q		N74221	A	Q						
SIEMENS																					
FUJITSU									74LS221	M	Q										
HITACHI									HD74LS221	P	Q		HD74221	P	Q						
MITSUBISHI																					
NEC									M74LS221	P	Q										
TOSHIBA																					

Electrical Characteristics SN54LS221/SN74LS221

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, VCC	7V	operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V	temperature range	SN74LS	0°C to 70°C
		Storage temperature range		-65°C to 150°C

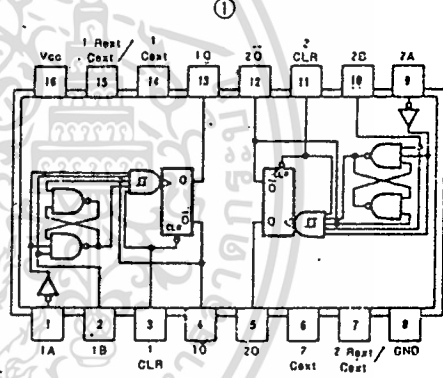
recommended operating conditions

	SN54LS221		SN74LS221		UNIT	
	MIN	NOM MAX	MIN	NOM MAX		
Supply voltage, VCC	4.5	5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, IOH			-400		-400	mA
Low-level output current, IOL			4		8	mA
Rate of rise or fall of input pulse, dV/dt	Schmitt input, B	1	1		1/3	V/ns
Input pulse width	Logic input, A	1	1		1	ns
	A or B, (w/line)	40	40		40	ns
Clear, (w/clear)	Clear, (w/clear)	40	40		40	ns
	Clear, (w/clear)	40	40		40	ns
Quiescent-state setup time, tsetup		15		15		ns
External timing resistors, Rext	1.4	70	1.4	100	100	kΩ
External timing capacitance, Cext	0	1000	0	1000		pF
Output duty cycle	Rext=70kΩ	50		50		%
	Rext=MAX Rext	20		30		%
Operating free-air temperature, TA	-55	125	0	70		°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER #	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP & MAX	UNIT			
VT+	Positive-going threshold voltage	VCC=MIN	A input	1.0	2	V	
VT-	Negative-going threshold voltage	VCC=MIN	A input	0.8	1.0	V	
VT+	Positive-going threshold voltage	VCC=MIN	B input	1.0	2	V	
VT-	Negative-going threshold voltage	VCC=MIN	B input	0.8	0.9	V	
VI	Input clamp voltage	VCC=MIN, II=-18mA		-1.5		V	
VOH	High-level output voltage	VCC=MIN, IOH=-400μA		2.7	3.4	V	
VOL	Low-level output voltage	VCC=MIN, IOL=8mA		0.35	0.5	V	
II	Input current at maximum input voltage	VCC=MAX, VI=7V		8.1		mA	
IiH	High-level input current	VCC=MAX, VI=2.7V		20		μA	
IiL	Low-level input current	VCC=MAX, VI=0.4V	Input A	0.8		mA	
			Input B/Clear	-0.8		mA	
IOS	Short-circuit output current	VCC=MAX	SN54LS221	-20	100	mA	
			SN74LS221	-20	100	mA	
ICC	Supply current	VCC=MAX	Quiescent	4.7	11	mA	
			Triggered	19	27	mA	
tPLH	from A to output Q	VCC=5V, TA=25°C, CL=15pF, RL=2kΩ	Cext=80pF, Rext=2kΩ	45	70	ns	
				35	55	ns	
tPHL	from A to output Q	VCC=5V, TA=25°C, CL=15pF, RL=2kΩ	Cext=80pF, Rext=2kΩ	50	80	ns	
				40	65	ns	
tPHL	from B to output Q	VCC=5V, TA=25°C, CL=15pF, RL=2kΩ	Cext=80pF, Rext=2kΩ	35	55	ns	
				44	65	ns	
tPHL	from Clear to output Q	VCC=5V, TA=25°C, CL=15pF, RL=2kΩ	Cext=80pF, Rext=2kΩ	70	120	150	ns
				20	47	70	ns
tP(OUT)	from A or B to output Q or Q̄	VCC=5V, TA=25°C, CL=15pF, RL=100kΩ	Cext=100pF, Rext=100kΩ	600	670	750	ns
				6	6.9	7.5	ns

Pin Assignment (Top View)



positive logic: Low input to clear resets 0 low and 1 high regardless of d-c levels at A or B inputs.

Function Table

'221, 'LS221 (EACH MONOSTABLE)

CLEAR	INPUTS		OUTPUTS	
	A	B	Q	Q̄
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L	↑	↘	↗
H	↑	H	↘	↗

H = high level (steady state)
 L = low level (steady state)
 ↑ = transition from low to high level
 ↓ = transition from high to low level
 ↘ = one high-level pulse
 ↗ = one low-level pulse
 X = irrelevant

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
 ‡ All typical values are at VCC=5V, TA=25°C.
 * Not more than one output should be shorted at a time.
 * tPLH = Propagation delay time, low-to-high-level output.
 tPLH = Propagation delay time, high-to-low-level output.

9665 • 9666 • 9667 • 9668

HIGH VOLTAGE; HIGH CURRENT DARLINGTON DRIVERS FAIRCHILD LINEAR INTEGRATED CIRCUITS

GENERAL DESCRIPTION - The 9665, 9666, 9667 and 9668 are comprised of seven high voltage, high current npn Darlington transistor pairs. All units feature common emitter, open collector outputs. To maximize their effectiveness, these units contain suppression diodes for inductive loads and appropriate emitter-base resistors for leakage.

The 9665 is a general purpose array which may be used with DTL, TTL, PMOS, CMOS, etc. Input current limiting is done by connecting an appropriate discrete resistor to each input.

The 9666 version does away with the need for any external discrete resistors, since each unit has a resistor and a Zener diode in series with the input. The 9666 was specifically designed for direct interface from PMOS logic (operating at supply voltages from 14 to 25 V) to solenoids or relays.

The 9667 has a series base resistor to each Darlington pair, thus allowing operation directly with TTL or CMOS operating at supply voltages of 5 V.

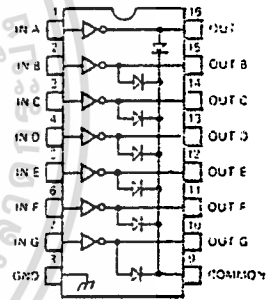
The 9668 has an appropriate input resistor to allow direct operation from CMOS or PMOS outputs operating from supply voltages of 6 to 15 V.

9665, 9666, 9667 and 9668 offer solutions to a great many interface needs, including solenoids, relays, lamps, small motors and LEDs. Applications requiring sink currents beyond the capability of a single output may be accommodated by paralleling the outputs.

- SEVEN HIGH GAIN DARLINGTON TRANSISTOR PAIRS
- HIGH OUTPUT VOLTAGE ($V_{CE} = 50\text{ V}$)
- HIGH OUTPUT CURRENT ($I_C = 350\text{ mA}$)
- DTL, TTL, PMOS, CMOS COMPATIBLE
- SUPPRESSION DIODES FOR INDUCTIVE LOADS
- 2 WATT PLASTIC DIP PACKAGE ON COPPER PIN FRAME

CONNECTION DIAGRAM 16-PIN DIP (TOP VIEW)

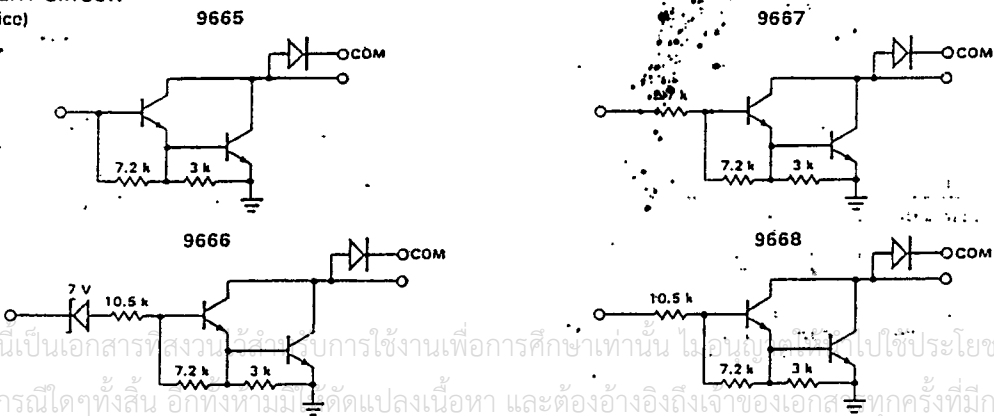
PACKAGE OUTLINE 68, 98
PACKAGE CODE D, P



ORDER INFORMATION

TYPE	PART NO.
9665	9665DC
9665	9665PC
9666	9666DC
9666	9666PC
9667	9667DC
9667	9667PC
9668	9668DC
9668	9668PC

EQUIVALENT CIRCUIT (Each Device)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C)

Output Voltage, V _{CE}	55 V
Input Voltage, V _{IN}	30 V
Emitter-Base Voltage, V _{EB0}	6 V
Continuous Collector Current, I _C	500 mA
Continuous Base Current, I _B	25 mA
Power Dissipation (6B, Kovar lead frame)	1.0 W
Power Dissipation (9B, Copper lead frame)*	2.0 W
Pin Temperature (Molded DIP, Soldering, 10 s)	260°C
(Hermetic DIP, Soldering, 60 s)	300°C
Ambient Temperature Range (operating), T _A	0°C to +85°C
Storage Temperature Range, T _S	-65°C to +150°C

*Under normal operating conditions, these units will sustain 350 mA per output with V_{CE(sat)} = 1.6 V at 70°C with a pulse width of 20 ms and a duty cycle of 50%.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: T_A = 25°C (unless otherwise noted)

SYMBOL	CHARACTERISTICS	TEST FIGURE	TEST CONDITIONS (Note 1)	MIN	TYP	MAX	UNITS
I _{CEX}	Output Leakage Current	1a	V _{CE} = 50 V, T _A = 70°C			100	μA
		1b	V _{CE} = 50 V, T _A = 70°C, V _{IN} = 6 V (9666)			500	μA
		1b	V _{CE} = 50 V, T _A = 70°C, V _{IN} = 1 V (9668)			500	μA
V _{CE(sat)}	Collector-Emitter Saturation Voltage	2	I _C = 350 mA, I _B = 500 μA		1.25	1.6	V
		2	I _C = 200 mA, I _B = 350 μA		1.1	1.3	V
		2	I _C = 100 mA, I _B = 250 μA		0.9	1.1	V
I _{IN(ON)}	Input Current	3	V _{IN} = 17 V (9666)		0.85	1.3	mA
		3	V _{IN} = 3.85 V (9667)		0.93	1.35	mA
		3	V _{IN} = 5 V (9668)		0.35	0.5	mA
		3	V _{IN} = 12 V (9668)		1.0	1.45	mA
I _{IN(OFF)}	Input Current (Note 2)	4	I _C = 500 μA, T _A = 70°C	50	65		μA
V _{IN(ON)}	Input Voltage (Note 3)	5	V _{CE} = 2 V, I _C = 300 mA (9666)			13	V
		5	V _{CE} = 2 V, I _C = 200 mA (9667)			2.4	V
		5	V _{CE} = 2 V, I _C = 250 mA (9667)			2.7	V
		5	V _{CE} = 2 V, I _C = 300 mA (9667)			3.0	V
		5	V _{CE} = 2 V, I _C = 125 mA (9668)			5.0	V
		5	V _{CE} = 2 V, I _C = 200 mA (9668)			6.0	V
		5	V _{CE} = 2 V, I _C = 275 mA (9668)			7.0	V
		5	V _{CE} = 2 V, I _C = 350 mA (9668)			8.0	V
h _{FE}	DC Forward Current Transfer Ratio	2	V _{CE} = 2 V, I _C = 350 mA (9665)	1000			
C _{IN}	Input Capacitance				15	30	pF
t _{PLH}	Turn-On Delay		0.5 V _{IN} to 0.5 V _{OUT}			1	μs
t _{PHL}	Turn-Off Delay		0.5 V _{IN} to 0.5 V _{OUT}			1	μs
I _R	Clamp Diode Leakage Current	6	V _R = 50 V			50	μA
V _F	Clamp Diode Forward Voltage	7	I _F = 350 mA		1.7	2.0	V

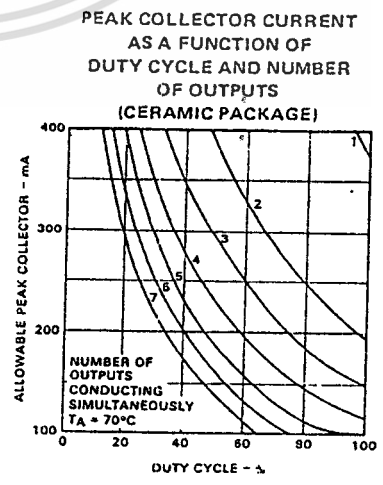
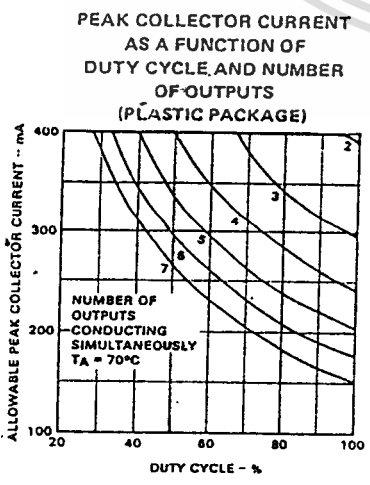
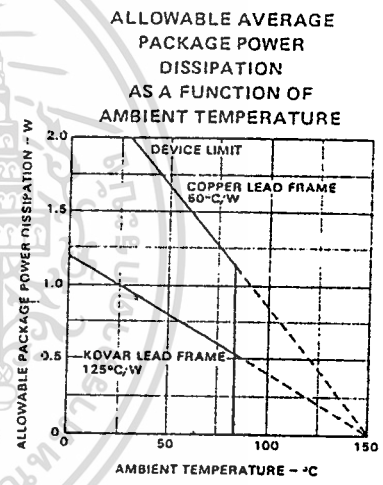
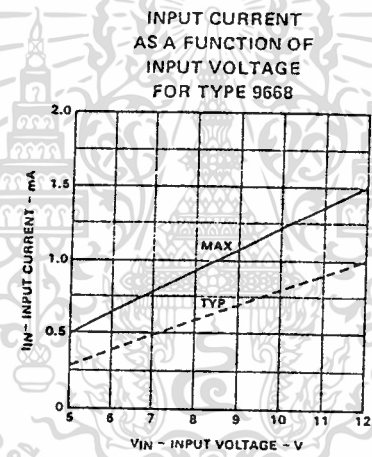
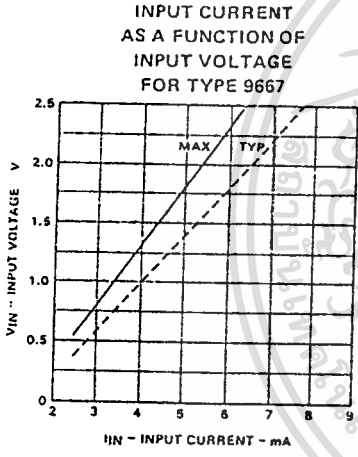
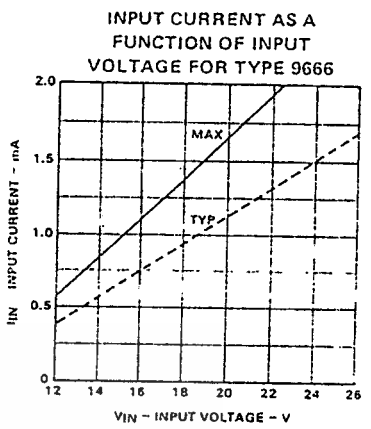
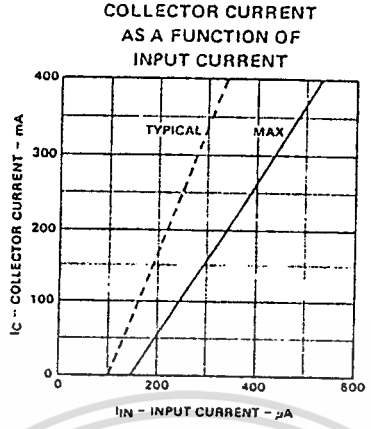
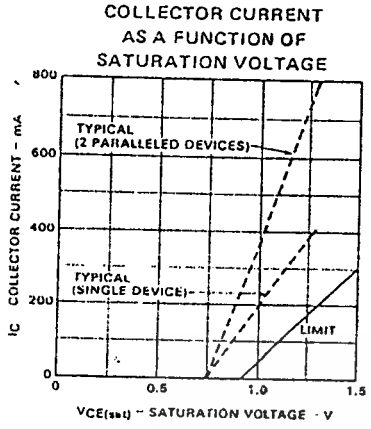
NOTES:

1. All limits stated apply to the complete Darlington series except as specified for a single device type.
2. The I_{IN(OFF)} current limit guaranteed against partial turn-on of the output.
3. The V_{IN(ON)} voltage limit guarantees a minimum output sink current per the specified test conditions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL ELECTRICAL PERFORMANCE



TEST CIRCUITS

Fig. 1a

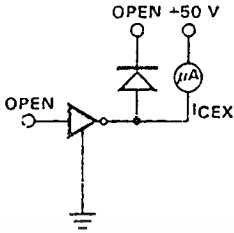


Fig. 1b

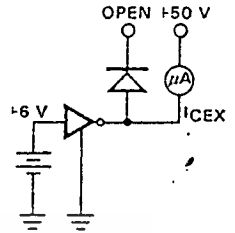


Fig. 2

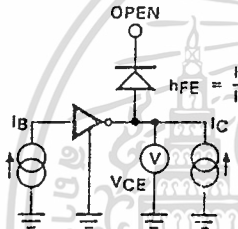


Fig. 3

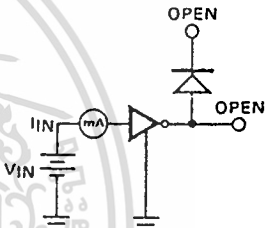


Fig. 4

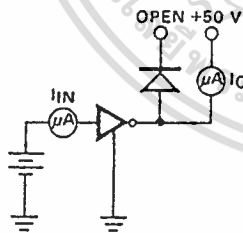


Fig. 5

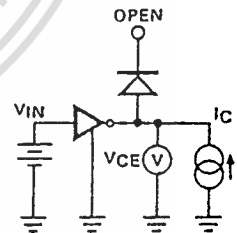


Fig. 6

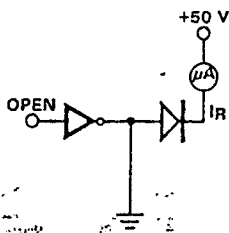
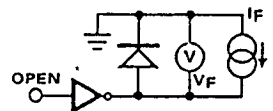


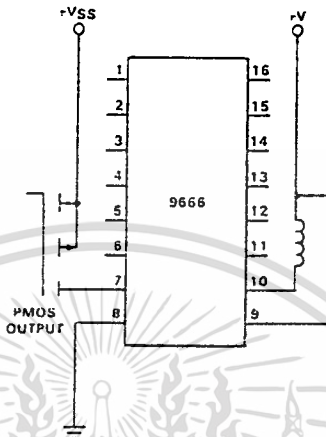
Fig. 7



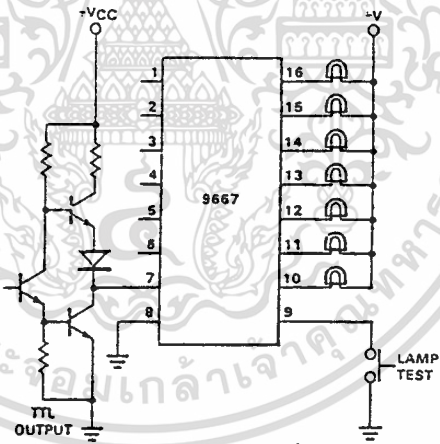
FAIRCHILD • 9665 • 9666 • 9667 • 9668

TYPICAL APPLICATIONS

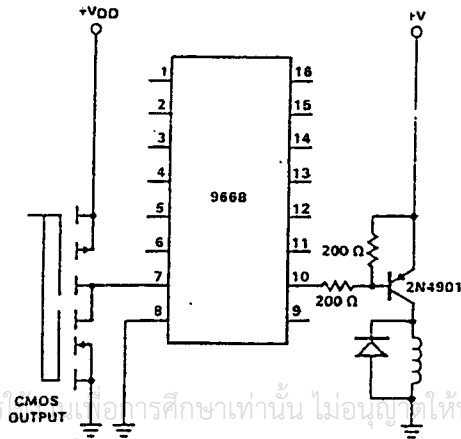
PMOS TO LOAD



TTL TO LOAD



BUFFER FOR HIGHER CURRENT LOADS





LM134/LM234/LM334

3-Terminal Adjustable Current Sources

General Description

The LM134/LM234/LM334 are 3-terminal adjustable current sources featuring 10,000:1 range in operating current, excellent current regulation and a wide dynamic voltage range of 1V to 40V. Current is established with one external resistor and no other parts are required. Initial current accuracy is $\pm 3\%$. The LM134/LM234/LM334 are true floating current sources with no separate power supply connections. In addition, reverse applied voltages of up to 20V will draw only a few dozen microamperes of current, allowing the devices to act as both a rectifier and current source in AC applications.

The sense voltage used to establish operating current in the LM134 is 64 mV at 25°C and is directly proportional to absolute temperature (°K). The simplest one external resistor connection, then, generates a current with $\approx \pm 0.33\%/^{\circ}\text{C}$ temperature dependence. Zero drift operation can be obtained by adding one extra resistor and a diode.

Applications for the new current sources include bias networks, surge protection, low power reference, ramp generation, LED driver, and temperature sensing. The LM134-3/

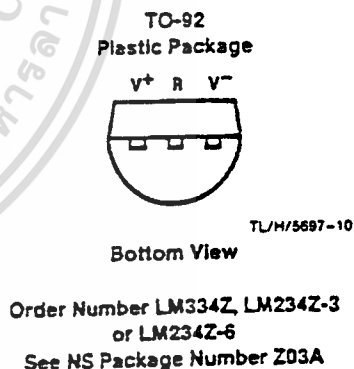
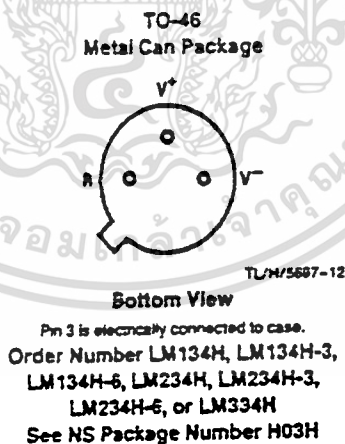
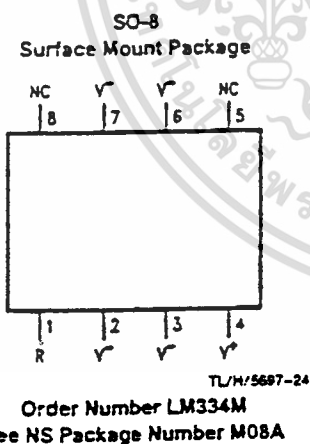
LM234-3 and LM134-6/LM234-6 are specified as true temperature sensors with guaranteed initial accuracy of $\pm 3^{\circ}\text{C}$ and $\pm 6^{\circ}\text{C}$, respectively. These devices are ideal in remote sense applications because series resistance in long wire runs does not affect accuracy. In addition, only 2 wires are required.

The LM134 is guaranteed over a temperature range of -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$, the LM234 from -25°C to $+100^{\circ}\text{C}$ and the LM334 from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$. These devices are available in TO-46 hermetic, TO-92 and SO-8 plastic packages.

Features

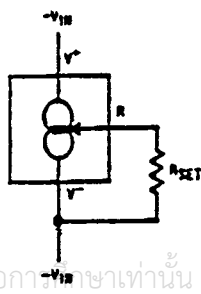
- Operates from 1V to 40V
- 0.02%/V current regulation
- Programmable from 1 μA to 10 mA
- True 2-terminal operation
- Available as fully specified temperature sensor
- $\pm 3\%$ initial accuracy

Connection Diagrams



Typical Application

Basic 2-Terminal Current Source



Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

V^+ to V^- Forward Voltage	
LM134/LM234	40V
LM334/LM134-3/LM134-6/LM234-3/LM234-6	30V
V^+ to V^- Reverse Voltage	20V
R Pin to V^- Voltage	5V
Set Current	10 mA
Power Dissipation	400 mW

Operating Temperature Range (Note 4)

LM134/LM134-3/LM134-6	-55°C to +125°C
LM234/LM234-3/LM234-6	-25°C to +100°C
LM334	0°C to +70°C

Soldering Information

TO-92 Package (10 sec.)	260°C
TO-46 Package (10 sec.)	300°C
SO Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" (Appendix D) for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics (Note 1)

Parameter	Conditions	LM134/LM234			LM334			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Set Current Error, $V^+ = 2.5V$, (Note 2)	$10 \mu A \leq I_{SET} \leq 1 mA$			3			6	%
	$1 mA < I_{SET} \leq 5 mA$			5			8	%
	$2 \mu A \leq I_{SET} < 10 \mu A$			8			12	%
Ratio of Set Current to V^- Current	$100 \mu A \leq I_{SET} \leq 1 mA$	14	18	23	14	18	26	
	$1 mA \leq I_{SET} \leq 5 mA$		14			14		
	$2 \mu A \leq I_{SET} \leq 100 \mu A$		18	23		18	26	
Minimum Operating Voltage	$2 \mu A \leq I_{SET} \leq 100 \mu A$		0.8			0.8		V
	$100 \mu A < I_{SET} \leq 1 mA$		0.9			0.9		V
	$1 mA < I_{SET} \leq 5 mA$		1.0			1.0		V
Average Change in Set Current with Input Voltage	$2 \mu A \leq I_{SET} \leq 1 mA$							
	$1.5 \leq V^+ \leq 5V$		0.02	0.05		0.02	0.1	%/V
	$5V \leq V^+ \leq 40V$		0.01	0.03		0.01	0.05	%/V
	$1 mA < I_{SET} \leq 5 mA$							
	$1.5V \leq V \leq 5V$		0.03			0.03		%/V
$5V \leq V \leq 40V$		0.02			0.02		%/V	
Temperature Dependence of Set Current (Note 3)	$25 \mu A \leq I_{SET} \leq 1 mA$	0.96T	T	1.04T	0.96T	T	1.04T	
Effective Shunt Capacitance			15			15		pF

Note 1: Unless otherwise specified, tests are performed at $T_j = 25^\circ C$ with pulse testing so that junction temperature does not change during test.

Note 2: Set current is the current flowing into the V^+ pin. It is determined by the following formula: $I_{SET} = 67.7 mV/R_{SET}$ (@ $25^\circ C$). Set current error is expressed as a percent deviation from this amount. I_{SET} increases at $0.336\%/^\circ C$ @ $T_j = 25^\circ C$.

Note 3: I_{SET} is directly proportional to absolute temperature ($^\circ K$). I_{SET} at any temperature can be calculated from: $I_{SET} = I_0 (T/T_0)$ where I_0 is I_{SET} measured at T_0 ($^\circ K$).

Note 4: For elevated temperature operation, T_j max is:

LM134	150°C
LM234	125°C
LM334	100°C

Thermal Resistance	TO-92	TO-46	SO-8
θ_{JA} (Junction to Ambient)	180°C/W (0.4" leads) 160°C/W (0.125" leads)	440°C/W	165°C/W
θ_{JC} (Junction to Case)	N/A	32°C/W	N/A

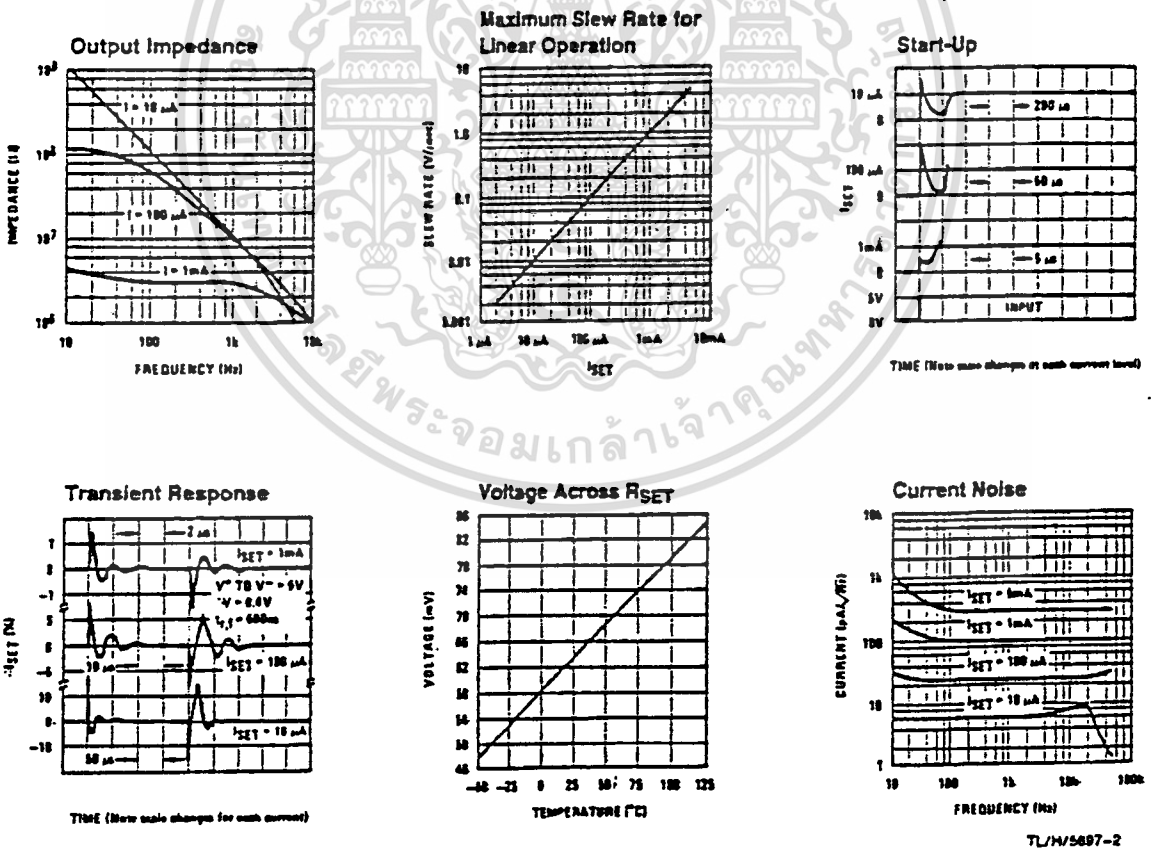
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 1) (Continued)

Parameter	Conditions	LM134-3, LM234-3			LM134-6, LM234-6			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Set Current Error, $V^+ = 2.5V$, (Note 2)	$100 \mu A \leq I_{SET} \leq 1 mA$ $T_j = 25^\circ$			± 1			± 2	%
Equivalent Temperature Error				± 3			± 6	$^\circ C$
Ratio of Set Current to V^- Current	$100 \mu A \leq I_{SET} \leq 1 mA$	14	18	26	14	18	26	
Minimum Operating Voltage	$100 \mu A \leq I_{SET} \leq 1 mA$		0.9			0.9		V
Average Change in Set Current with Input Voltage	$100 \mu A \leq I_{SET} \leq 1 mA$ $1.5 \leq V^+ \leq 5V$ $5V \leq V^- \leq 30V$		0.02 0.01	0.05 0.03		0.02 0.01	0.01 0.05	%/V %/V
Temperature Dependence of Set Current (Note 3) and	$100 \mu A \leq I_{SET} \leq 1 mA$	0.98T	T	1.02T	0.97T	T	1.03T	
Equivalent Slope Error				± 2			± 3	%
Effective Shunt Capacitance			15			15		pF

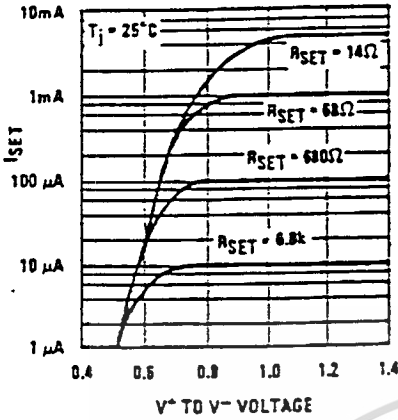
Typical Performance Characteristics



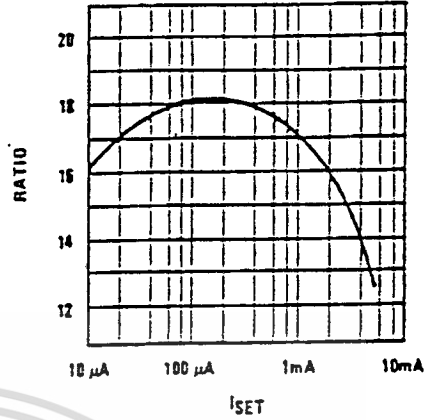
TL/M/5697-2

Typical Performance Characteristics (Continued)

Turn-On Voltage



Ratio of I_{SET} to V^- Current



TL/M:5697-3

Application Hints

The LM134 has been designed for ease of application, but a general discussion of design features is presented here to familiarize the designer with device characteristics which may not be immediately obvious. These include the effects of slewing, power dissipation, capacitance, noise, and contact resistance.

SLEW RATE

At slew rates above a given threshold (see curve), the LM134 may exhibit non-linear current shifts. The slewing rate at which this occurs is directly proportional to I_{SET} . At $I_{SET} = 10 \mu A$, maximum dV/dt is $0.01 V/\mu s$; at $I_{SET} = 1 mA$, the limit is $1 V/\mu s$. Slew rates above the limit do not harm the LM134, or cause large currents to flow.

THERMAL EFFECTS

Internal heating can have a significant effect on current regulation for I_{SET} greater than $100 \mu A$. For example, each $1 V$ increase across the LM134 at $I_{SET} = 1 mA$ will increase junction temperature by $\approx 0.4^\circ C$ in still air. Output current (I_{SET}) has a temperature coefficient of $\approx 0.33\%/^\circ C$, so the change in current due to temperature rise will be $(0.4)(0.33) = 0.132\%$. This is a 10:1 degradation in regulation compared to true electrical effects. Thermal effects, therefore, must be taken into account when DC regulation is critical and I_{SET} exceeds $100 \mu A$. Heat sinking of the TO-46 package or the TO-92 leads can reduce this effect by more than 3:1.

SHUNT CAPACITANCE

In certain applications, the $15 pF$ shunt capacitance of the LM134 may have to be reduced, either because of loading problems or because it limits the AC output impedance of the current source. This can be easily accomplished by buffering the LM134 with an FET as shown in the applications. This can reduce capacitance to less than $3 pF$ and improve regulation by at least an order of magnitude. DC characteristics (with the exception of minimum input voltage), are not affected.

NOISE

Current noise generated by the LM134 is approximately 4 times the shot noise of a transistor. If the LM134 is used as an active load for a transistor amplifier, input referred noise

will be increased by about 12 dB. In many cases, this is acceptable and a single stage amplifier can be built with a voltage gain exceeding 2000.

LEAD RESISTANCE

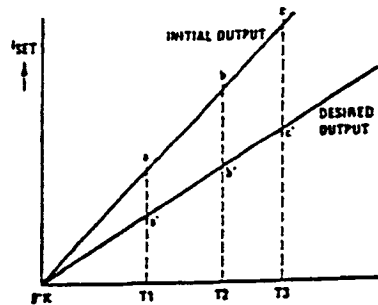
The sense voltage which determines operating current of the LM134 is less than $100 mV$. At this level, thermocouple or lead resistance effects should be minimized by locating the current setting resistor physically close to the device. Sockets should be avoided if possible. It takes only 0.7Ω contact resistance to reduce output current by 1% at the $1 mA$ level.

SENSING TEMPERATURE

The LM134 makes an ideal remote temperature sensor because its current mode operation does not lose accuracy over long wire runs. Output current is directly proportional to absolute temperature in degrees Kelvin, according to the following formula:

$$I_{SET} = \frac{(227 \mu V/^{\circ}K)(T)}{R_{SET}}$$

Calibration of the LM134 is greatly simplified because of the fact that most of the initial inaccuracy is due to a gain term (slope error) and not an offset. This means that a calibration consisting of a gain adjustment only will trim both slope and zero at the same time. In addition, gain adjustment is a one point trim because the output of the LM134 extrapolates to zero at $0^\circ K$, independent of R_{SET} or any initial inaccuracy.



TL/M:5697-4

This property of the LM134 is illustrated in the accompanying graph. Line abc is the sensor current before trimming.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่มีกรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่ไม่มีเหตุผลแบบนั้นเอา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

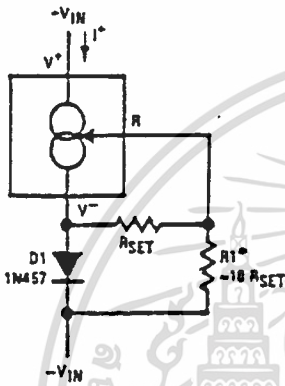
Application Hints (Continued)

Line a'b'c' is the desired output. A gain trim done at T2 will move the output from b to b' and will simultaneously correct the slope so that the output at T1 and T3 will be correct. This gain trim can be done on R_{SET} or on the load resistor used to terminate the LM134. Slope error after trim will normally be less than ±1%. To maintain this accuracy, however, a low temperature coefficient resistor must be used for R_{SET}.

A 33 ppm/°C drift of R_{SET} will give a 1% slope error because the resistor will normally see about the same temperature variations as the LM134. Separating R_{SET} from the LM134 requires 3 wires and has lead resistance problems, so is not normally recommended. Metal film resistors with less than 20 ppm/°C drift are readily available. Wire wound resistors may also be used where best stability is required.

Typical Applications (Continued)

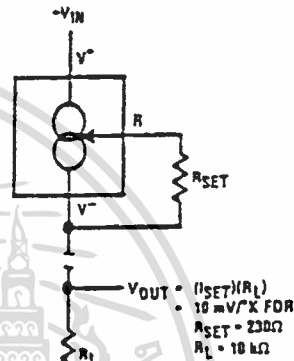
Zero Temperature Coefficient Current Source



Select ratio of R1 to R_{SET} to obtain zero drift. $I^ = 2I_{SET}$

TL/H/5697-13

Terminating Remote Sensor for Voltage Output

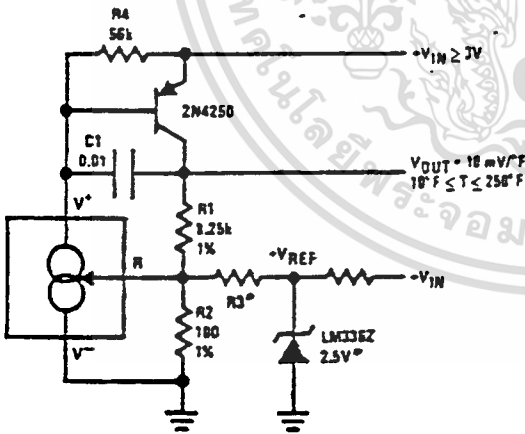


$$V_{OUT} = \frac{I_{SET} R_L}{R_{SET} + R_L}$$

• 10 mV/°C FOR
R_{SET} = 230Ω
R_L = 10 kΩ

TL/H/5697-14

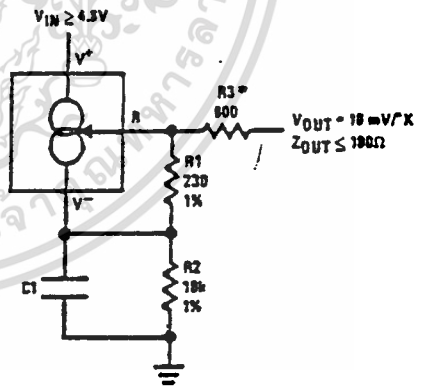
Ground Referred Fahrenheit Thermometer



TL/H/5697-15

*Select R3 = V_{REF}/583 μA. V_{REF} may be any stable positive voltage ≥ 2V
Trim R3 to calibrate

Low Output Impedance Thermometer

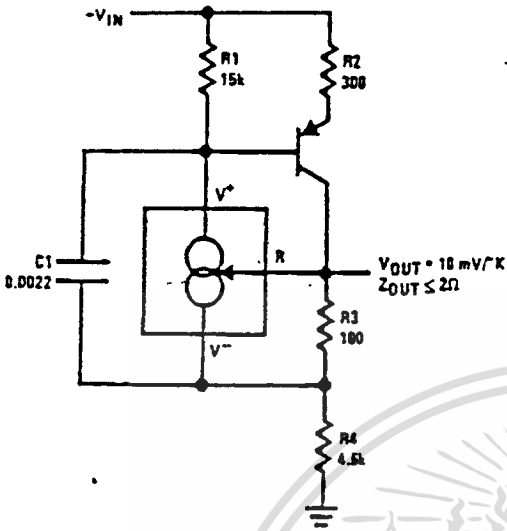


TL/H/5697-6

*Output impedance of the LM134 at the "R" pin is approximately $-\frac{R_o}{16}$ where R_o is the equivalent external resistance connected to the V⁻ pin. This negative resistance can be reduced by a factor of 5 or more by inserting an equivalent resistor in series with the output.

Typical Applications (Continued)

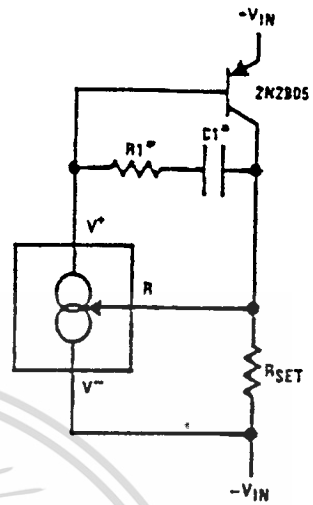
Low Output Impedance Thermometer



TL/H/5697-16

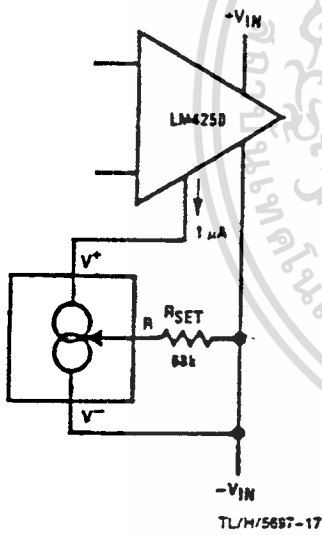
*Select R1 and C1 for optimum stability

Higher Output Current



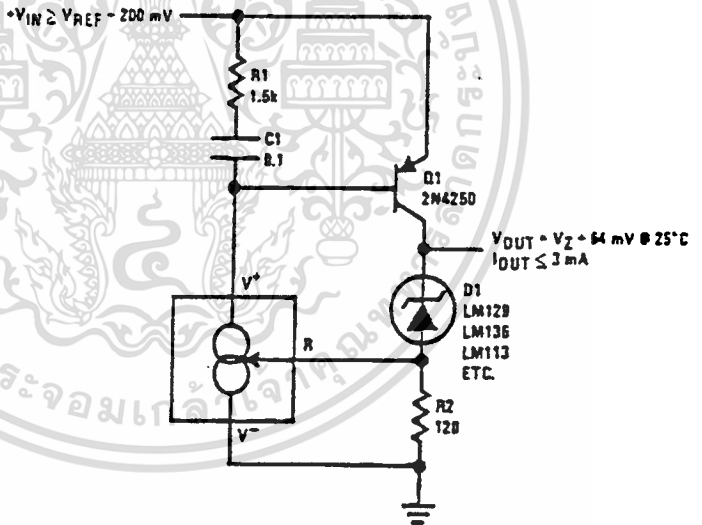
TL/H/5697-5

Micropower Bias



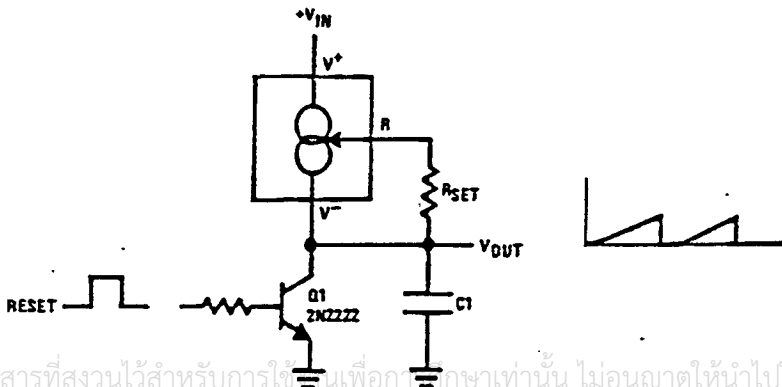
TL/H/5697-17

Low Input Voltage Reference Driver



TL/H/5697-18

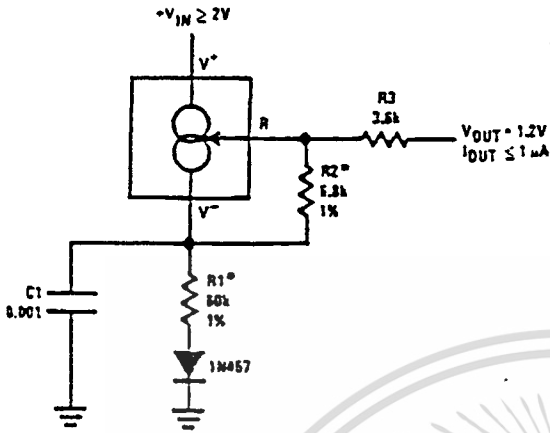
Ramp Generator



TL/H/5697-19

Typical Applications (Continued)

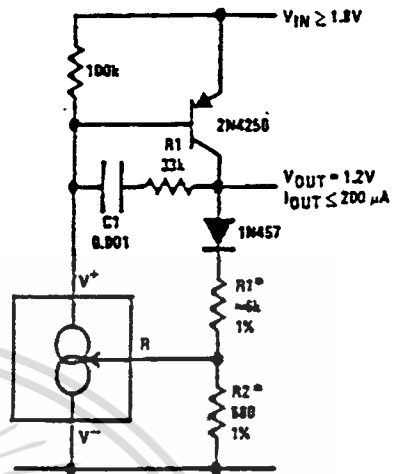
1.2V Reference Operates on 10 μ A and 2V



TL/M/5697-20

*Select ratio of R1 to R2 to obtain zero temperature drift

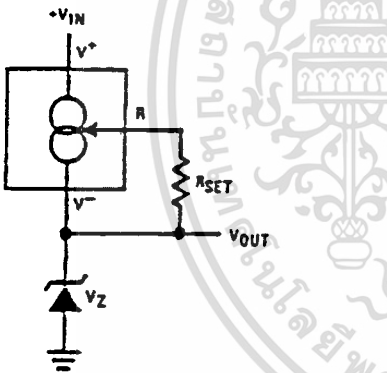
1.2V Regulator with 1.8V Minimum Input



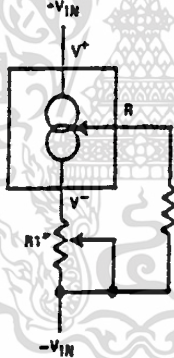
TL/M/5697-7

*Select ratio of R1 to R2 for zero temperature drift

Zener Biasing

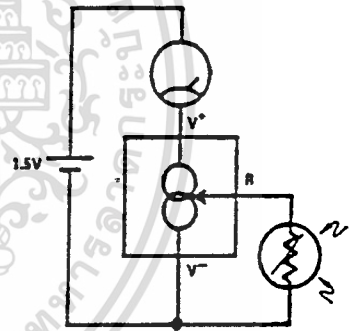


Alternate Trimming Technique



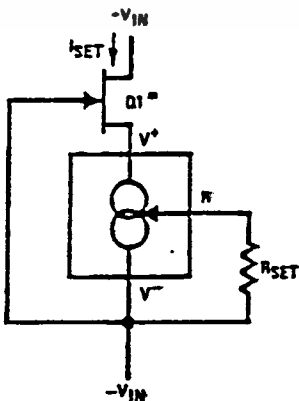
*For $\pm 10\%$ adjustment, select RSET 10% high, and make R1 = 3 RSET

Buffer for Photoconductive Cell

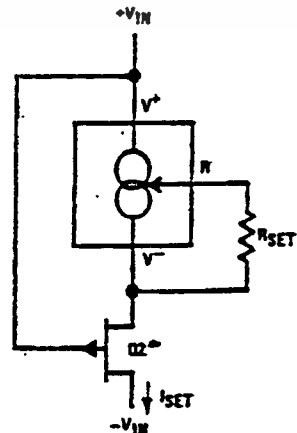


TL/M/5697-8

FET Cascoding for Low Capacitance and/or Ultra High Output Impedance



TL/M/5697-21

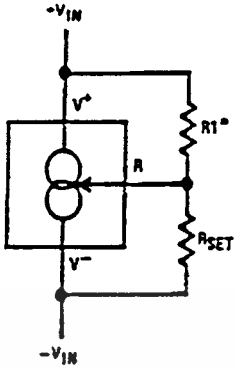


TL/M/5697-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์... *Select Q1 or Q2 to ensure at least 1V across the LM134. $V_p(1 - I_{SET}/I_{DSS}) \geq 1.2V$.

Typical Applications (Continued)

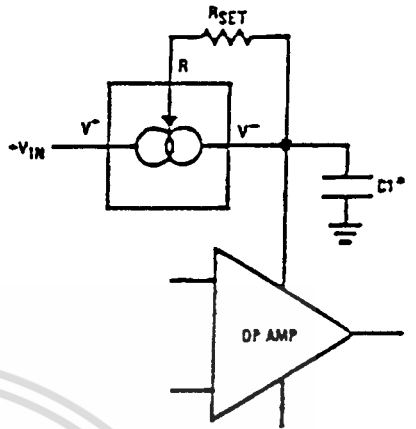
Generating Negative Output Impedance



TL/H/5697-23

$Z_{OUT} = -16 \cdot R1$ ($R1/V_{IN}$ must not exceed I_{SET})

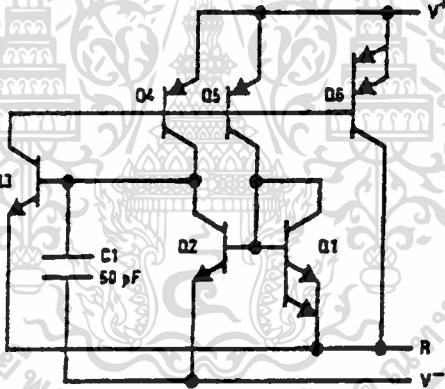
In-Line Current Limiter



TL/H/5697-9

*Use minimum value required to ensure stability of protected device. This minimizes inrush current to a direct short.

Schematic Diagram



TL/H/5697-11

ORDERING INFORMATION

Device	Alternate	Temperature Range	Package
MC1741CD	—	0°C to -70°C	SO-8
MC1741CG	LM741CH, μ A741HC	0°C to -70°C	Metal Can
MC1741CP1	LM741CN, μ A741TC	0°C to -70°C	Plastic DIP
MC1741CU	—	0°C to -70°C	Ceramic DIP
MC1741G	—	-55°C to -125°C	Metal Can
MC1741U	—	-55°C to -125°C	Ceramic DIP

INTERNALLY COMPENSATED, HIGH PERFORMANCE OPERATIONAL AMPLIFIERS

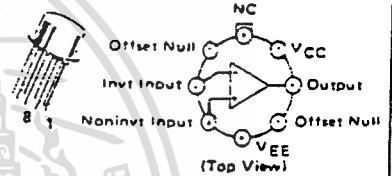
... designed for use as a summing amplifier, integrator, or amplifier with operating characteristics as a function of the external feedback components.

- No Frequency Compensation Required
- Short-Circuit Protection
- Offset Voltage Null Capability
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low-Power Consumption
- No Latch Up

OPERATIONAL AMPLIFIER SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT

MC1741
MC1741C

G SUFFIX
METAL PACKAGE
CASE 601-04



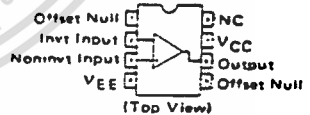
P1 SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626-05



U SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 693-02



D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751-02
SO-8



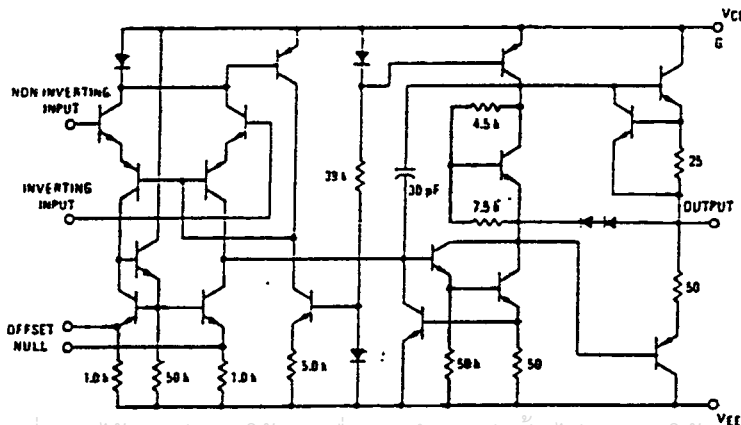
MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	MC1741C	MC1741	Unit
Power Supply Voltage	V _{CC}	-18	+22	Vdc
	V _{EE}	-18	-22	Vdc
Input Differential Voltage	V _{ID}	±30		Volts
Input Common Mode Voltage (Note 1)	V _{ICM}	±15		Volts
Output Short Circuit Duration (Note 2)	t _S	Continuous		
Operating Ambient Temperature Range	T _A	0 to -70	-55 to -125	°C
Storage Temperature Range Metal and Ceramic Packages Plastic Packages	T _{stg}	-65 to +150		°C
		-55 to -125		

Note 1. For supply voltages less than -15 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 2. Supply voltage equal to or less than 15 V.

EQUIVALENT CIRCUIT SCHEMATIC



MC1741, MC1741C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = -15\text{ V}$, $V_{EE} = -15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	MC1741			MC1741C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ($R_S \leq 10\text{ k}\Omega$)	V_{IO}	-	10	5.0	-	2.0	6.0	mV
Input Offset Current	I_{IO}	-	20	200	-	20	200	nA
Input Bias Current	I_{IB}	-	80	500	-	80	500	nA
Input Resistance	r_i	0.3	2.0	-	0.3	2.0	-	M Ω
Input Capacitance	C_i	-	1.4	-	-	1.4	-	pF
Offset Voltage Adjustment Range	V_{IOR}	-	± 15	-	-	± 15	-	mV
Common Mode Input Voltage Range	V_{ICR}	± 12	± 13	-	± 12	± 13	-	V
Large Signal Voltage Gain ($V_O = \pm 10\text{ V}$, $R_L \geq 2.0\text{ k}\Omega$)	A_v	50	200	-	20	200	-	V/mV
Output Resistance	r_o	-	75	-	-	75	-	Ω
Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10\text{ k}\Omega$)	CMRR	70	90	-	70	90	-	dB
Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10\text{ k}\Omega$)	PSRR	-	30	150	-	30	150	$\mu\text{V/V}$
Output Voltage Swing ($R_L \geq 10\text{ k}\Omega$) ($R_L \geq 2\text{ k}\Omega$)	V_O	± 12 ± 10	± 14 ± 13	-	± 12 ± 10	± 14 ± 13	-	V
Output Short-Circuit Current	I_{OS}	-	20	-	-	20	-	mA
Supply Current	I_D	-	1.7	2.8	-	1.7	2.8	mA
Power Consumption	P_C	-	50	85	-	50	85	mW
Transient Response (Unity Gain - Non-Inverting) ($V_i = 20\text{ mV}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $C_L \leq 100\text{ pF}$) Rise Time ($V_i = 20\text{ mV}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $C_L \leq 100\text{ pF}$) Overshoot ($V_i = 10\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $C_L \leq 100\text{ pF}$) Slew Rate	t_{LM} os SR	-	0.3 15 0.5	-	-	0.3 15 0.5	-	μs % V/ μs

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = -15\text{ V}$, $V_{EE} = -15\text{ V}$, $T_A = T_{low}$ to T_{high} unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	MC1741			MC1741C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ($R_S \leq 10\text{ k}\Omega$)	V_{IO}	-	1.0	6.0	-	-	7.5	mV
Input Offset Current ($T_A = 125^\circ\text{C}$) ($T_A = -55^\circ\text{C}$) ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to -70°C)	I_{IO}	-	7.0 85 -	200 500 -	-	- - -	- - 300	nA
Input Bias Current ($T_A = 125^\circ\text{C}$) ($T_A = -55^\circ\text{C}$) ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to -70°C)	I_{IB}	-	30 300 -	500 1500 -	-	- - -	- - 800	nA
Common Mode Input Voltage Range	V_{ICR}	± 12	± 13	-	-	-	-	V
Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10\text{ k}\Omega$)	CMRR	70	90	-	-	-	-	dB
Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10\text{ k}\Omega$)	PSRR	-	30	150	-	-	-	$\mu\text{V/V}$
Output Voltage Swing ($R_L \geq 10\text{ k}\Omega$) ($R_L \geq 2\text{ k}\Omega$)	V_O	± 12 ± 10	± 14 ± 13	-	-	± 10 ± 13	-	V
Large Signal Voltage Gain ($R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $V_{out} = \pm 10\text{ V}$)	A_v	25	-	-	15	-	-	V/mV
Supply Currents ($T_A = 125^\circ\text{C}$) ($T_A = -55^\circ\text{C}$)	I_D	-	1.5 2.0	2.5 3.3	-	-	-	mA
Power Consumption ($T_A = +125^\circ\text{C}$) ($T_A = -55^\circ\text{C}$)	P_C	-	45 60	75 100	-	-	-	mW

* $T_{high} = 125^\circ\text{C}$ for MC1741 and 70°C for MC1741C
 $T_{low} = -55^\circ\text{C}$ for MC1741 and 0°C for MC1741C

FIGURE 1 - BURST NOISE versus SOURCE RESISTANCE

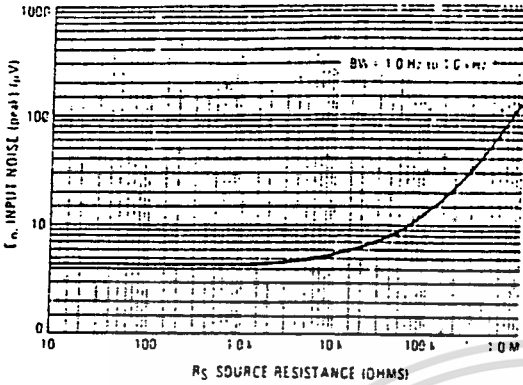


FIGURE 2 - RMS NOISE versus SOURCE RESISTANCE

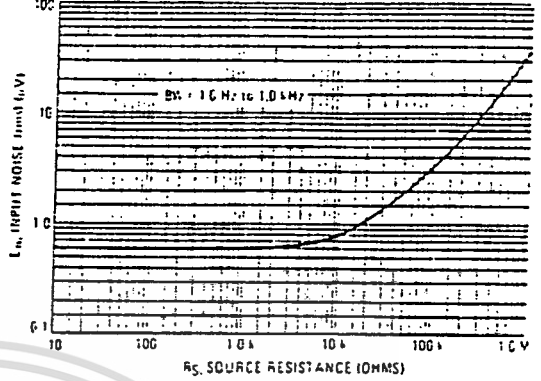


FIGURE 3 - OUTPUT NOISE versus SOURCE RESISTANCE

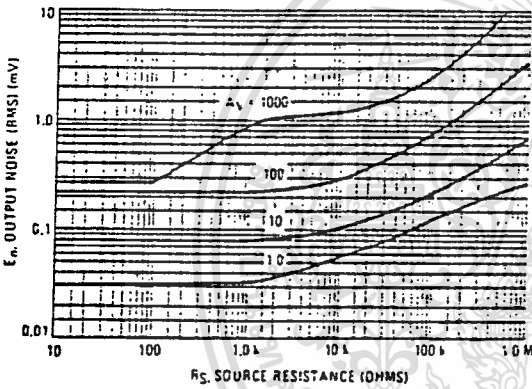


FIGURE 4 - SPECTRAL NOISE DENSITY

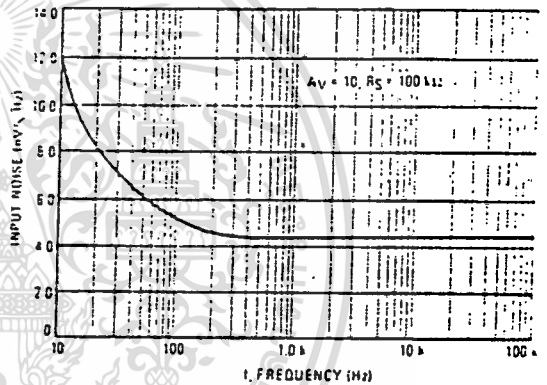
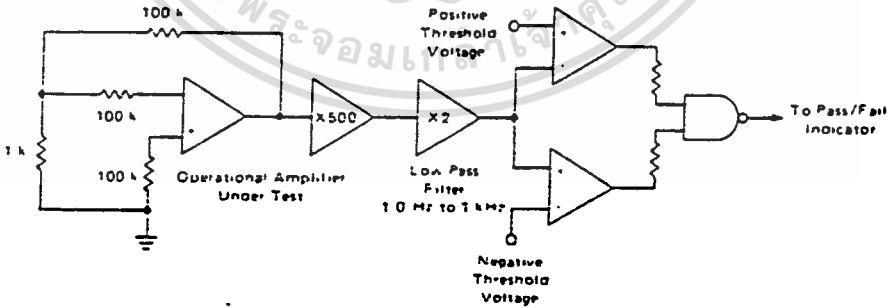


FIGURE 5 - BURST NOISE TEST CIRCUIT



Unlike conventional peak reading or RMS meters, this system was especially designed to provide the quick response time essential to burst (popcorn) noise testing

The test time employed is 10 seconds and the 20 µV peak limit refers to the operational amplifier input thus eliminating errors in the closed-loop gain factor of the operational amplifier under test

MC1741, MC1741C

TYPICAL CHARACTERISTICS

($V_{CC} = +15$ V; $V_{EE} = -15$ V; $T_c = -25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

FIGURE 6 - POWER BANDWIDTH
(LARGE SIGNAL SWING versus FREQUENCY)

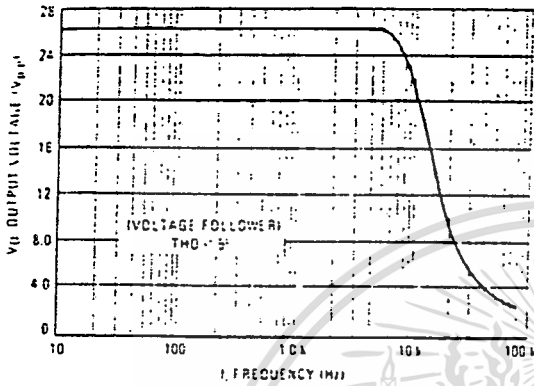


FIGURE 7 - OPEN LOOP FREQUENCY RESPONSE

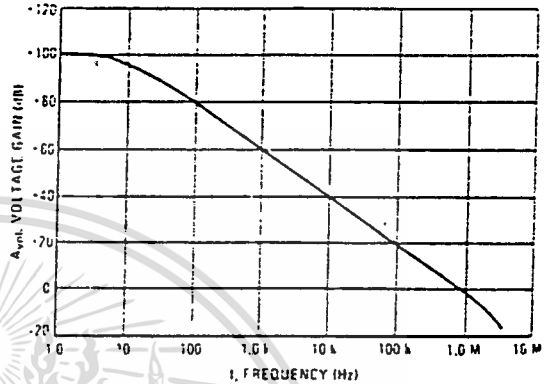


FIGURE 8 - POSITIVE OUTPUT VOLTAGE SWING
versus LOAD RESISTANCE

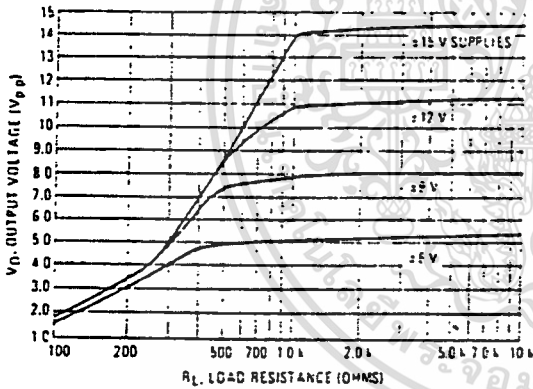


FIGURE 9 - NEGATIVE OUTPUT VOLTAGE SWING
versus LOAD RESISTANCE

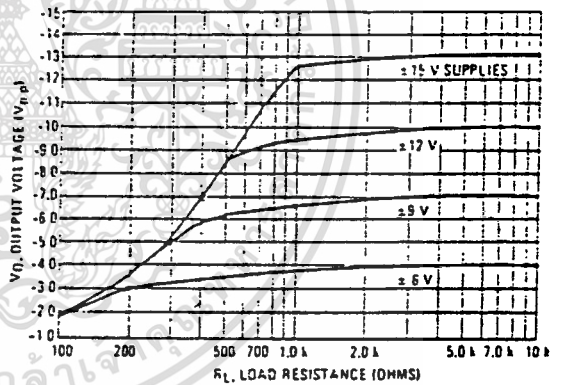


FIGURE 10 - OUTPUT VOLTAGE SWING versus
LOAD RESISTANCE (Single Supply Operation)

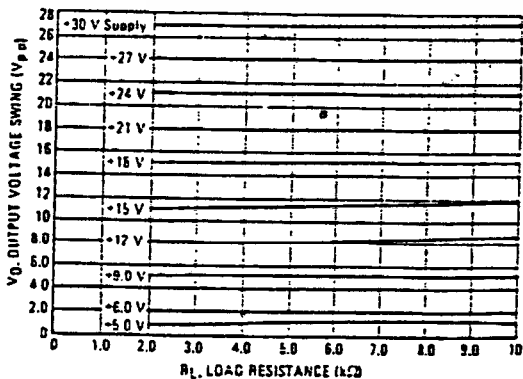


FIGURE 11 - SINGLE SUPPLY INVERTING AMPLIFIER

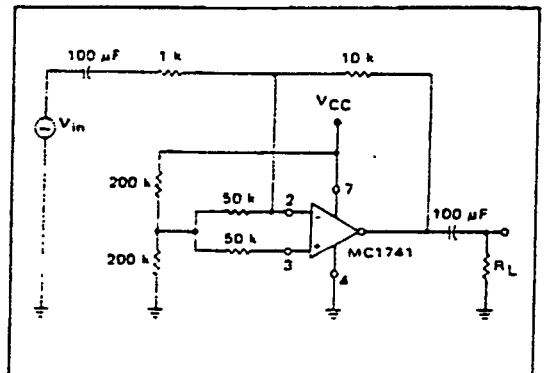


FIGURE 12 — NONINVERTING PULSE RESPONSE

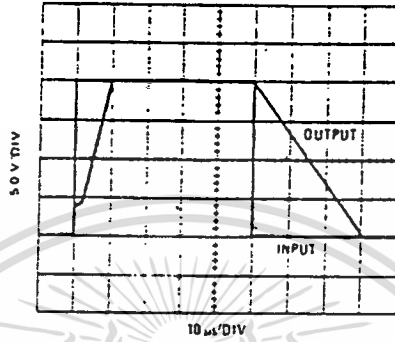


FIGURE 13 — TRANSIENT RESPONSE TEST CIRCUIT

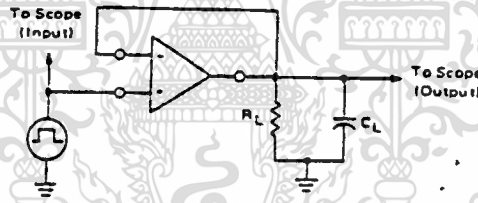
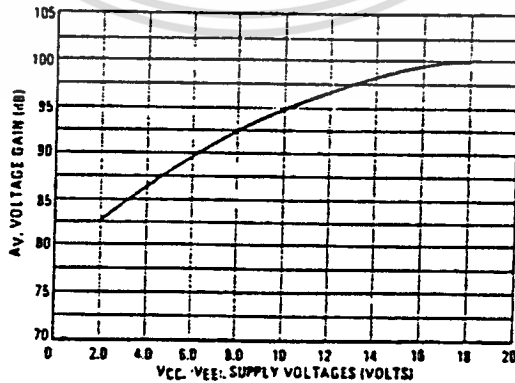


FIGURE 14 — OPEN LOOP VOLTAGE GAIN versus SUPPLY VOLTAGE



ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
MC1741SG	-55°C to +125°C	Metal Can
MC1741SCD	0°C to +70°C	SO-8
MC1741SCG	0°C to +70°C	Metal Can
MC1741SCP1	0°C to +70°C	Plastic DIP

MC1741S MC1741SC

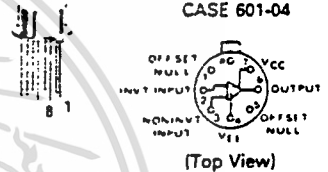
HIGH SLEW RATE, INTERNALLY COMPENSATED OPERATIONAL AMPLIFIER

The MC1741S/MC1741SC is functionally equivalent, pin compatible, and possesses the same ease of use as the popular MC1741 circuit, yet offers 20 times higher slew rate and power bandwidth. This device is ideally suited for D-to-A converters due to its fast settling time and high slew rate.

- High Slew Rate - 10 V/μs Guaranteed Minimum (for unity gain only)
- No Frequency Compensation Required
- Short-Circuit Protection
- Offset Voltage Null Capability
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Power Consumption
- No Latch-Up

OPERATIONAL AMPLIFIER SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT

G SUFFIX
METAL PACKAGE
CASE 601-04



(Top View)



P1 SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626-05

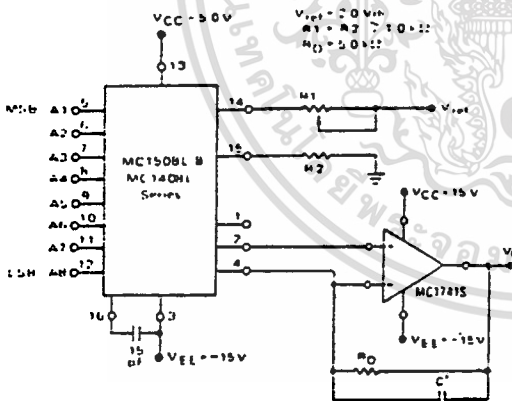


D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751-02
SO-8



(Top View)

TYPICAL APPLICATION OF OUTPUT CURRENT TO VOLTAGE TRANSFORMATION FOR A D-TO-A CONVERTER



Pins not shown are not connected.

Settling time to within 1/2 LSB (≈19.5 mV) is approximately 4.0 μs from the time that all bits are switched.

*The value of C may be selected to minimize overshoot and ringing (C = 150 pF).

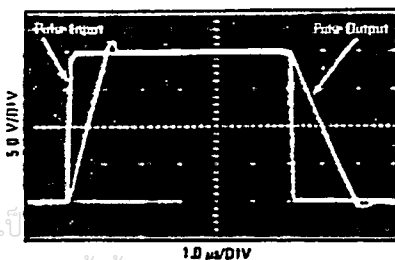
Theoretical V_O

$$V_O = \frac{V_{ref}}{R_1} (R_0) \left[\frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} + \frac{A_4}{16} + \frac{A_5}{32} + \frac{A_6}{64} + \frac{A_7}{128} + \frac{A_8}{256} \right]$$

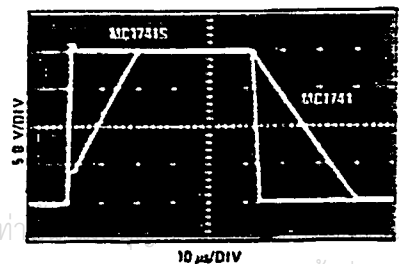
Adjust V_{ref} , R_1 or R_0 so that V_O with all digital inputs at high level is equal to 9.961 volts.

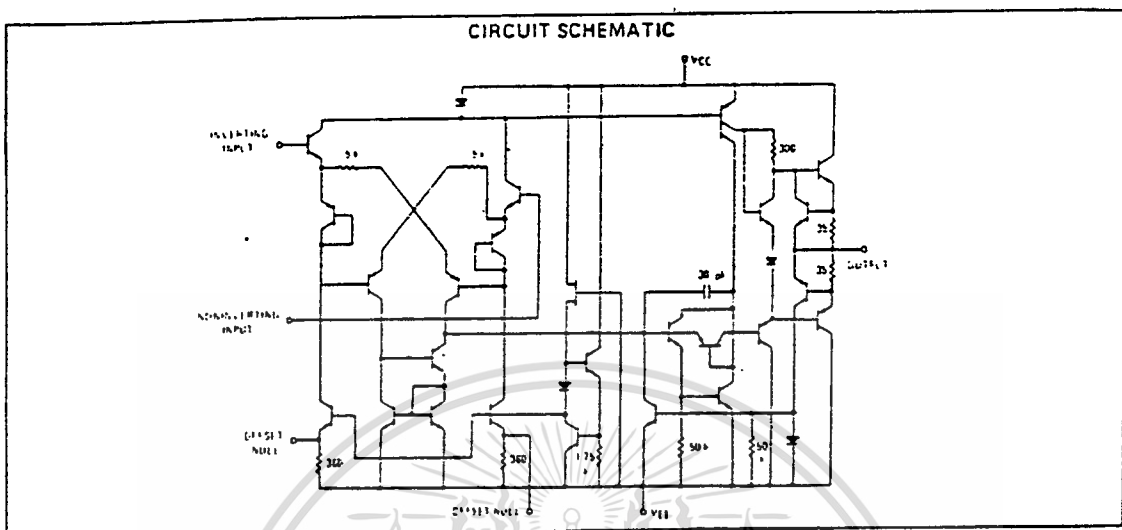
$$V_O = \frac{2V}{1k} (5k) \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} + \frac{1}{256} \right] = 10V \left[\frac{255}{256} \right] = 9.961V$$

MC1741S LARGE-SIGNAL TRANSIENT RESPONSE



STANDARD MC1741 versus MC1741S RESPONSE COMPARISON





MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value		Unit
		MC1741SC	MC1741S	
Power Supply Voltage	VCC VEE	+18 -18	-22 -22	Vdc
Differential Input Signal Voltage	V _{IO}	±30		Volts
Common-Mode Input Voltage Swing (See Note 1)	V _{ICR}	±15		Volts
Output Short-Circuit Duration (See Note 2)	t _s	Continuous		
Power Dissipation (Package Limitation)	P _D			
Metal Package		680		mW
Derate above T _A = +25°C		4.6		mW/°C
Plastic Dual In-Line Package		625		mW
Derate above T _A = +25°C		5.0		mW/°C
Operating Ambient Temperature Range	T _A	0 to +75	-55 to +125	°C
Storage Temperature Range	T _{STG}			°C
Metal Package		-65 to +150		
Plastic Package		-55 to +125		

Note 1. For supply voltages less than ±15 Vdc, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 2. Supply voltage equal to or less than 15 Vdc.

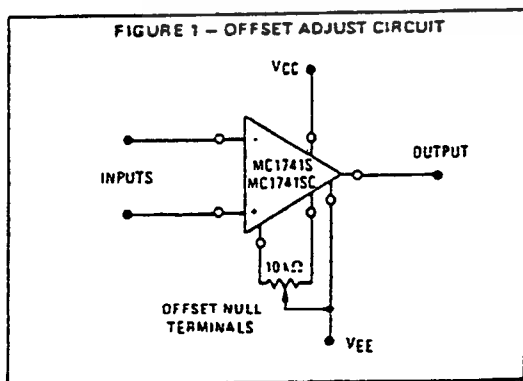
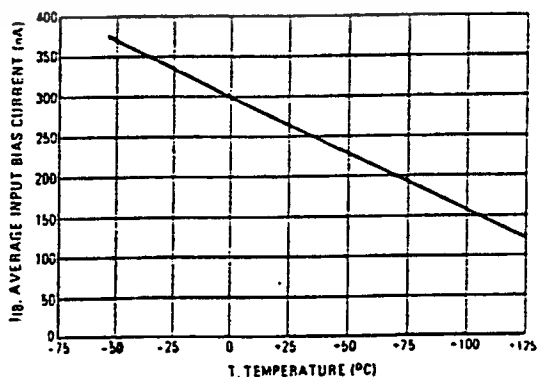


FIGURE 2 - INPUT BIAS CURRENT versus TEMPERATURE



MC1741S, MC1741SC

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = +15 Vdc, V_{EE} = -15 Vdc, T_A = -25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC1741S			MC1741SC			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Power Bandwidth (See Figure 3) A _v = 1, R _L = 2.0 k Ω , THD = 5%, V _O = 20 V(p-p)	BWp	150	200	-	150	200	-	kHz
Large-Signal Transient Response Slew Rate (Figures 10 and 11) V _I (-) to V _I (+) V _I (+) to V _I (-) Settling Time (Figures 10 and 11) (to within 0.1%)	SR t _{settle}	10 10	20 12	- -	40 10	20 12	- -	V/ μ s μ s
Small-Signal Transient Response (Gain = 1, E _{in} = 20 mV, see Figures 7 and 8) Rise Time Fall Time Propagation Delay Time Overshoot	t _{TLH} t _{THL} t _{PLH, t_{PML}} OS	- - -	0.25 0.25 0.25	- - -	- - -	0.25 0.25 0.25	- - -	μ s μ s μ s %
Short-Circuit Output Currents	I _{OS}	\pm 10	-	\pm 35	\pm 10	-	\pm 35	mA
Open-Loop Voltage Gain (R _L = 2.0 k Ω) (See Figure 4) V _O = \pm 10 V, T _A = -25°C V _O = \pm 10 V, T _A = T _{low} * to T _{high} *	A _{vol}	50,000 25,000	200,000 -	- -	20,000 15,000	100,000 -	- -	-
Output Impedance (f = 20 Hz)	Z _o	-	75	-	-	75	-	Ω
Input Impedance (f = 20 Hz)	Z _i	0.3	1.0	-	0.3	1.0	-	M Ω
Output Voltage Swing R _L = 10 k Ω , T _A = T _{low} to T _{high} (MC1741S only) R _L = 2.0 k Ω , T _A = -25°C R _L = 2.0 k Ω , T _A = T _{low} to T _{high}	V _O	\pm 12 \pm 10 \pm 10	\pm 14 \pm 13 -	- - -	\pm 12 \pm 10 \pm 10	\pm 14 \pm 13 -	- - -	V _{pk}
Input Common-Mode Voltage Range T _A = T _{low} to T _{high} (MC1741S)	V _{ICR}	\pm 12	\pm 13	-	\pm 12	\pm 13	-	V _{pk}
Common-Mode Rejection Ratio (f = 20 Hz) T _A = T _{low} to T _{high} (MC1741S)	CMRR	70	90	-	70	90	-	dB
Input Bias Current (See Figure 2) T _A = +25°C and T _{high} T _A = T _{low}	I _{IB}	- -	200 500	500 1500	- -	200 500	500 800	nA
Input Offset Current T _A = +25°C and T _{high} T _A = T _{low}	I _{IOI}	- -	30 -	200 500	- -	30 -	200 300	nA
Input Offset Voltage (R _S = \leq 10 k Ω) T _A = +25°C T _A = T _{low} to T _{high}	V _{IOI}	- -	1.0 -	5.0 6.0	- -	2.0 -	6.0 7.5	mV
DC Power Consumption (See Figure 9) (Power Supply = \pm 15 V, V _O = 0) T _A = T _{low} to T _{high}	P _C	-	50	85	-	50	85	mW
Positive Voltage Supply Sensitivity (V _{EE} constant) T _A = T _{low} to T _{high} on MC1741S	PSS+	-	2.0	100	-	2.0	150	μ V/V
Negative Voltage Supply Sensitivity (V _{CC} constant)	PSS-	-	10	150	-	10	150	μ V/V

*T_{low} = 0 for MC1741SC
= -55°C for MC1741ST_{high} = +70°C for MC1741SC
= +125°C for MC1741S

TYPICAL CHARACTERISTICS

($V_{CC} = +15$ Vdc, $V_{EE} = -15$ Vdc, $T_A = -25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.)

FIGURE 3 - POWER BANDWIDTH - NONDISTORTED OUTPUT VOLTAGE versus FREQUENCY

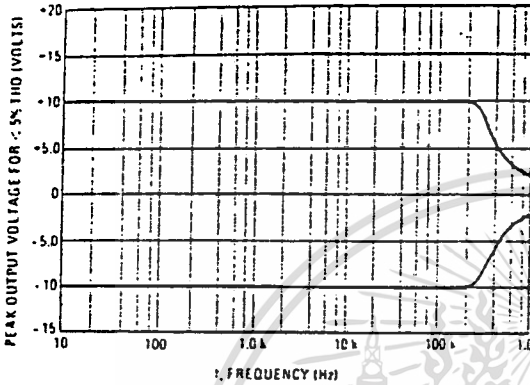


FIGURE 4 - OPEN-LOOP FREQUENCY RESPONSE

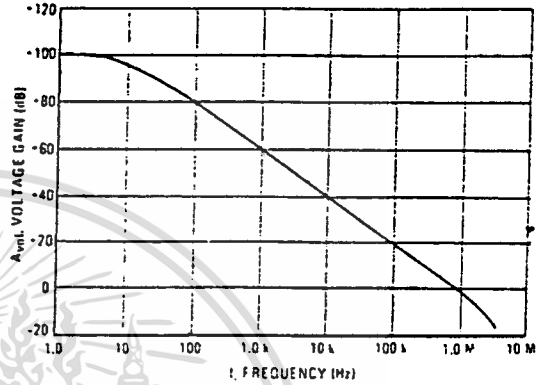


FIGURE 5 - NOISE versus FREQUENCY

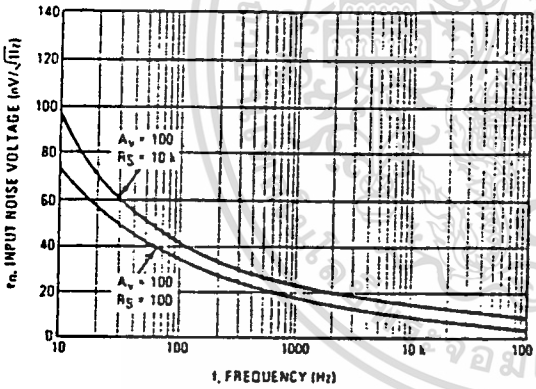


FIGURE 6 - OUTPUT NOISE versus SOURCE RESISTANCE

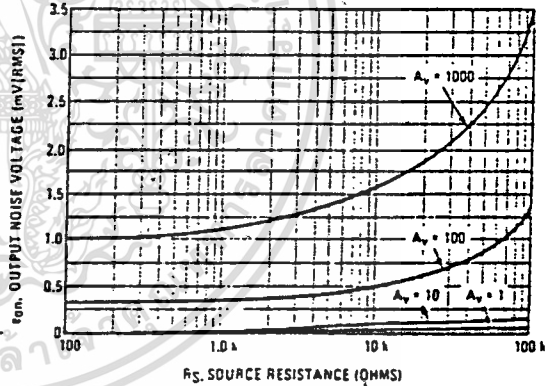


FIGURE 7 - SMALL-SIGNAL TRANSIENT RESPONSE DEFINITIONS

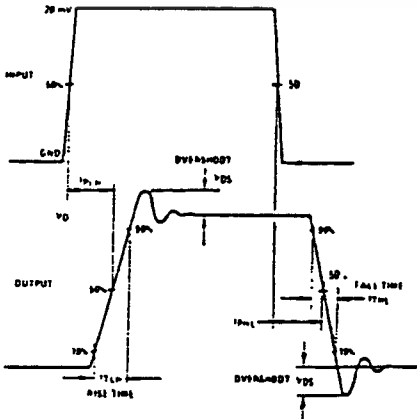
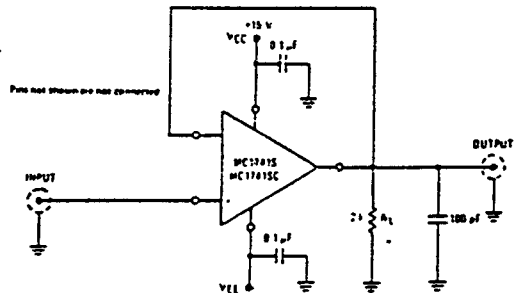


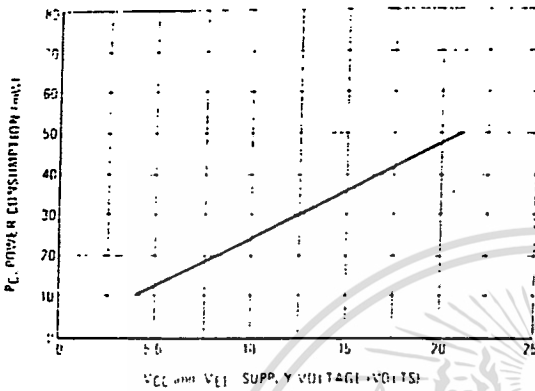
FIGURE 8 - SMALL-SIGNAL TRANSIENT RESPONSE TEST CIRCUIT



TYPICAL CHARACTERISTICS

($V_{CC} = -15$ Vdc, $V_{EE} = -15$ Vdc, $T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.)

FIGURE 9 - POWER CONSUMPTION versus POWER SUPPLY VOLTAGES



SETTLING TIME

In order to properly utilize the high slew rate and fast settling time of an operational amplifier, a number of system considerations must be observed. Capacitance at the summing node and at the amplifier output must be minimal and circuit board layout should be consistent with common high-frequency considerations. Both power supply connections should be adequately bypassed as close as possible to the device pins. In bypassing, both low and high-frequency components should be considered to avoid the possibility of excessive ringing. In order to achieve optimum damping, the selection of a capacitor in parallel with the feedback resistor may be necessary. A value too small could result in excessive ringing while a value too large will degrade slew rate and settling time.

SETTLING TIME MEASUREMENT

In order to accurately measure the settling time of an operational amplifier, it is suggested that the "false" summing junction approach be taken as shown in Figure 11. This is necessary since it is difficult to determine when the waveform at the output of the operational amplifier settles to within 0.1% of its final value. Because the output and input voltages are effectively subtracted from each other at the amplifier inverting input, this seems like an ideal node for the measurement. However, the probe capacitance at this critical node can greatly affect the accuracy of the actual measurement.

The solution to these problems is the creation of a second or "false" summing node. The addition of two diodes at this node clamps the error voltage to limit the voltage excursion to the oscilloscope. Because of the voltage divider effect, only one-half of the actual error appears at this node. For extremely critical measurements, the capacitance of the diodes and the oscilloscope, and the settling time of the oscilloscope must be considered. The expression

$$t_{setgl} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

can be used to determine the actual amplifier settling time, where

t_{setgl} = observed settling time

x = amplifier settling time (to be determined)

y = false summing junction settling time

z = oscilloscope settling time

It should be remembered that to settle within $\pm 0.1\%$ requires 7RC time constants.

The $\pm 0.1\%$ factor was chosen for the MC1741S settling time as it is compatible with the $\pm 1/2$ LSB accuracy of the MC1508L8 digital-to-analog converter. This D-to-A converter features $\pm 0.19\%$ maximum error.

FIGURE 10 - LARGE SIGNAL TRANSIENT WAVEFORMS

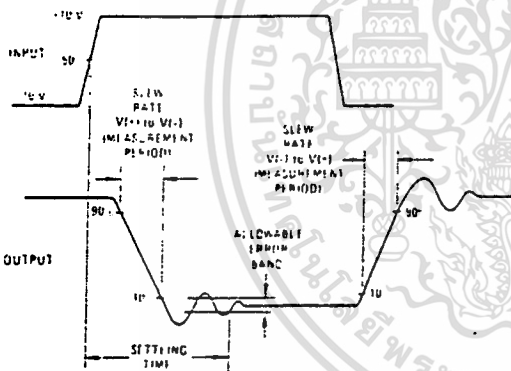


FIGURE 11 - SETTLING TIME AND SLEW RATE TEST CIRCUIT

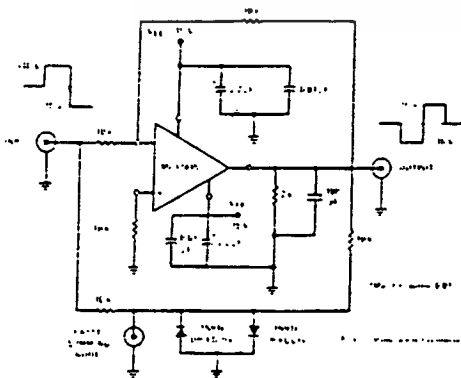


FIGURE 12 - WAVEFORM AT FALSE SUMMING NODE

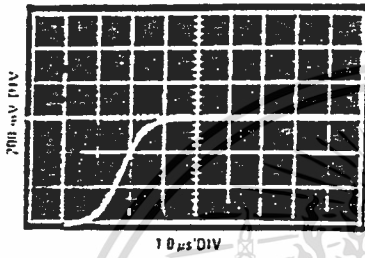
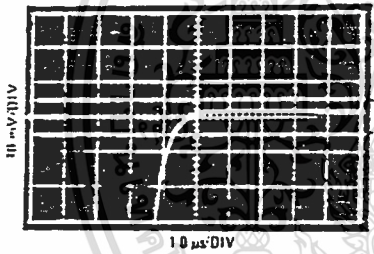
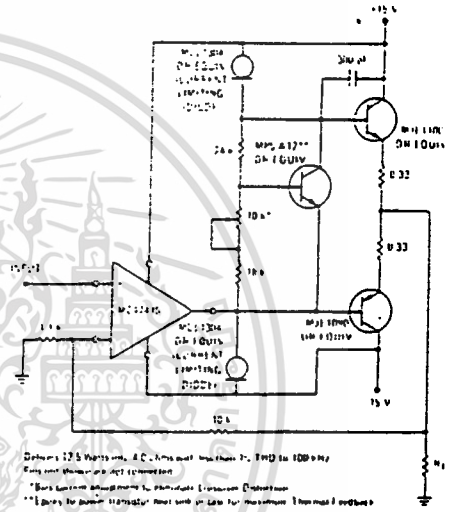


FIGURE 13 - EXPANDED WAVEFORM AT FALSE SUMMING NODE



TYPICAL APPLICATION

FIGURE 14 - 12.5 WATT WIDEBAND POWER AMPLIFIER



Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 2 Kbytes of Reprogrammable Flash Memory
Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
Data Retention: 10 Years
- 2.7 V to 6 V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Two-Level Program Memory Lock
- 128 x 8-Bit Internal RAM
- 15 Programmable I/O Lines
- Two 16-Bit Timer/Counters
- Five Interrupt Sources
- Programmable Serial UART Channel
- Direct LED Drive Outputs
- On-Chip Analog Comparator
- Low Power Idle and Power Down Modes

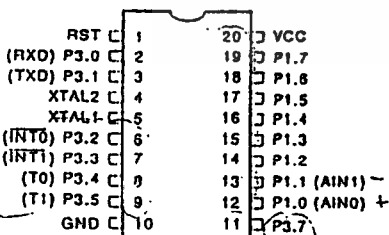
Description

The AT89C2051 is a low-voltage, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 2 Kbytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard MCS-51™ instruction set and pinout. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C2051 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The AT89C2051 provides the following standard features: 2 Kbytes of Flash, 128 bytes of RAM, 15 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five source two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, a precision analog comparator, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C2051 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Configuration

PDIP/SOIC



8-Bit
Microcontroller
with 2 Kbytes
Flash

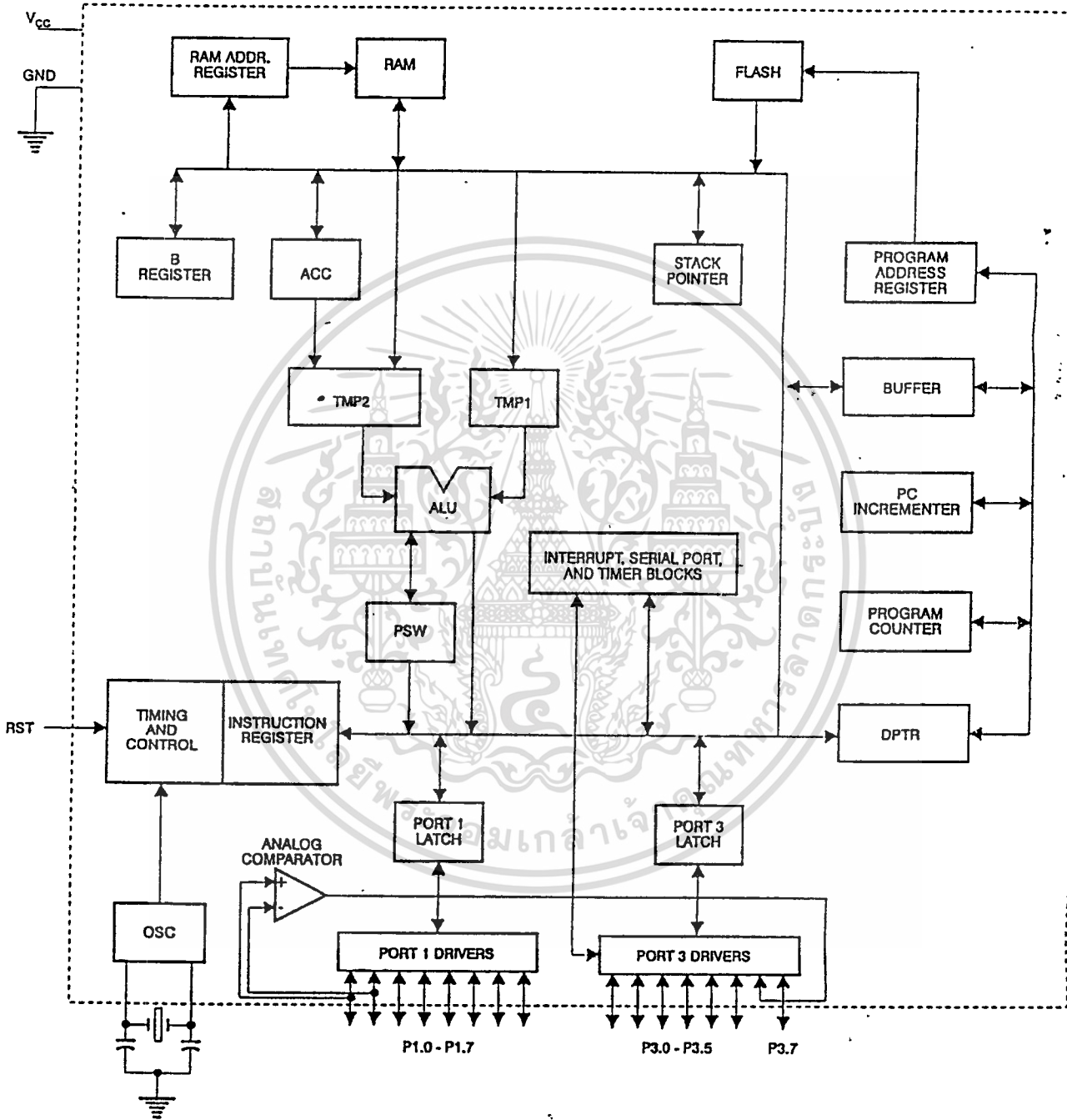
AT89C2051



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลีททั้งหมดนี้ให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Description

V_{CC}

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port. Port pins P1.2 to P1.7 provide internal pullups. P1.0 and P1.1 require external pullups. P1.0 and P1.1 also serve as the positive input (AIN0) and the negative input (AIN1), respectively, of the on-chip precision analog comparator. The Port 1 output buffers can sink 20 mA and can drive LED displays directly. When 1s are written to Port 1 pins, they can be used as inputs. When pins P1.2 to P1.7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives code data during Flash programming and program verification.

Port 3

Port 3 pins P3.0 to P3.5, P3.7 are seven bidirectional I/O pins with internal pullups. P3.6 is hard-wired as an input to the output of the on-chip comparator and is not accessible as a general purpose I/O pin. The Port 3 output buffers can sink 20 mA. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C2051 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and programming verification.

RST

Reset input. All I/O pins are reset to 1s as soon as RST goes high. Holding the RST pin high for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

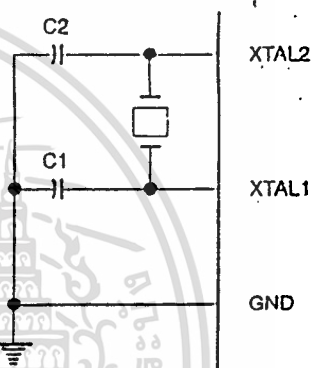
XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

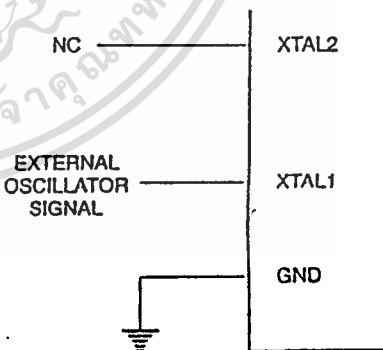
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Figure 1. Oscillator Connections



Notes: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 2. External Clock Drive Configuration



ATMEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in the table below.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Table 1. AT89C2051 SFR Map and Reset Values

0F8H								0FFH
0F0H	B 00000000							0F7H
0E8H								0EFH
0E0H	ACC 00000000							0E7H
0D8H								0DFH
0D0H	PSW 00000000							0D7H
0C8H								0CFH
0C0H								0C7H
0B8H	IP X0000000							0BFH
0B0H	P3 11111111							0B7H
0A8H	IE 00000000							0AFH
0A0H								0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX						9FH
90H	P1 11111111							97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000		8FH
80H		SP 00000111	DPL 00000000	DPH 00000000			PCON 00000000	87H

AT89C2051

Program Memory Lock Bits

On the chip are two lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below:

Lock Bit Protection Modes⁽¹⁾

Program Lock Bits	Lock Bits		Protection Type
	LB1	LB2	
1	U	U	No program lock features.
2	P	U	Further programming of the Flash is disabled.
3	P	P	Same as mode 2, also verify is disabled.

Note: 1. The Lock Bits can only be erased with the Chip Erase operation

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

P1.0 and P1.1 should be set to '0' if no external pullups are used, or set to '1' if external pullups are used.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Power Down Mode

In the power down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power down mode is terminated. The only exit from power down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before VCC is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

P1.0 and P1.1 should be set to '0' if no external pullups are used, or set to '1' if external pullups are used.

Programming The Flash

The AT89C2051 is shipped with the 2 Kbytes of on-chip PEROM code memory array in the erased state (i.e., contents = FFH) and ready to be programmed. The code memory array is programmed one byte at a time. *Once the array is programmed, to re-program any non-blank byte, the entire memory array needs to be erased electrically.*

Internal Address Counter: The AT89C2051 contains an internal PEROM address counter which is always reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by applying a positive going pulse to pin XTAL1.

Programming Algorithm: To program the AT89C2051, the following sequence is recommended:

1. Power-up sequence:
Apply power between VCC and GND pins
Set RST and XTAL1 to GND
With all other pins floating, wait for greater than 10 milliseconds
 2. Set pin RST to 'H'
Set pin P3.2 to 'H'
 3. Apply the appropriate combination of 'H' or 'L' logic levels to pins P3.3, P3.4, P3.5, P3.7 to select one of the programming operations shown in the PEROM Programming Modes table.
- To Program and Verify the Array:**
4. Apply data for Code byte at location 000H to P1.0 to P1.7.
 5. Raise RST to 12V to enable programming.
 6. Pulse P3.2 once to program a byte in the PEROM array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes 1.2 ms.
 7. To verify the programmed data, lower RST from 12V to logic 'H' level and set pins P3.3 to P3.7 to the appropriate levels. Output data can be read at the port P1 pins.
 8. To program a byte at the next address location, pulse XTAL1 pin once to advance the internal address counter. Apply new data to the port P1 pins.
 9. Repeat steps 5 through 8, changing data and advancing the address counter for the entire 2 Kbytes array or until the end of the object file is reached.
 10. Power-off sequence:
set XTAL1 to 'L'
set RST to 'L'
Float all other I/O pins
Turn Vcc power off



Data Polling: The AT89C2051 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on P1.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The Progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. Pin P3.1 is pulled low after P3.2 goes High during programming to indicate BUSY. P3.1 is pulled High again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed code data can be read back via the data lines for verification:

1. Reset the internal address counter to 000H by bringing RST from 'L' to 'H'.
2. Apply the appropriate control signals for Read Code data and read the output data at the port P1 pins.
3. Pulse pin XTAL1 once to advance the internal address counter.
4. Read the next code data byte at the port P1 pins.
5. Repeat steps 3 and 4 until the entire array is read.

The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire PEROM array (2 Kbytes) and the two Lock Bits are erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding P3.2 low for 10 ms. The code array is written with all "1"s in the Chip Erase operation and must be executed before any non-blank memory byte can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 000H, 001H, and 002H, except that P3.5 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

(000H) = 1EH indicates manufactured by Atmel

(001H) = 21H indicates 89C2051

(002H) = FFH indicates 12 V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

Flash Programming Modes

Mode	RST	P3.2/ PROG	P3.3	P3.4	P3.5	P3.7
Write Code Data ^(1,3)	12V		L	H	H	H
Read Code Data ⁽¹⁾	H	H	L	L	H	H
Write Lock Bit - 1	12V		H	H	H	H
Bit - 2	12V		H	H	L	L
Chip Erase	12V		H	L	L	L
Read Signature Byte	H	H	L	L	L	L

Notes: 1. The internal PEROM address counter is reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by a positive pulse at XTAL1 pin.

2. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.

3. P3.1 is pulled Low during programming to indicate RDY/BSY.

AT89C2051

Figure 3. Programming the Flash Memory

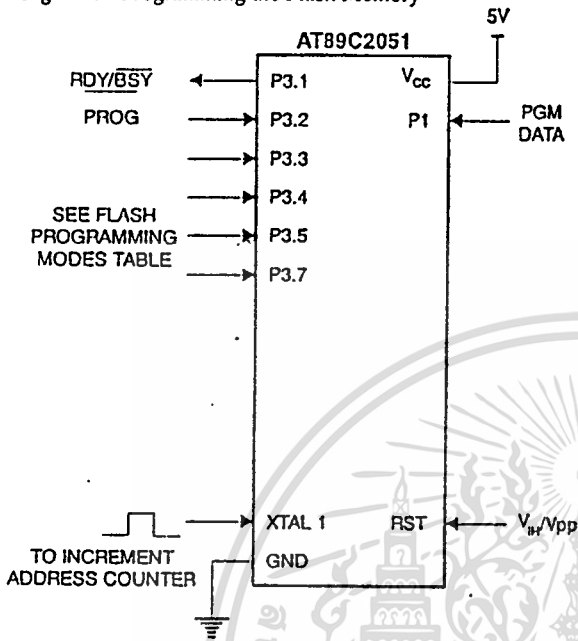
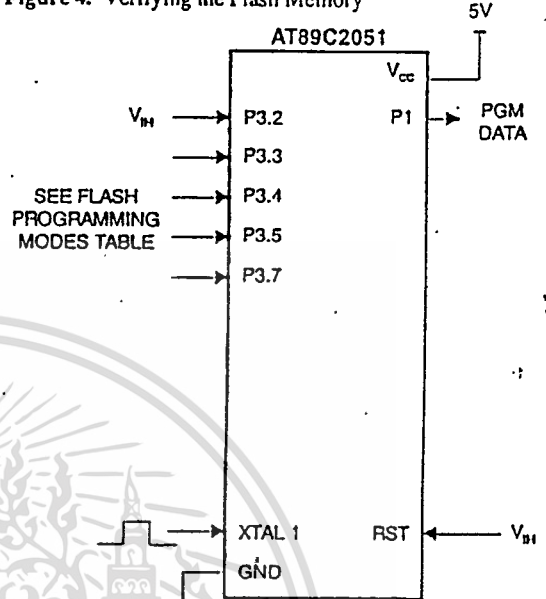


Figure 4. Verifying the Flash Memory

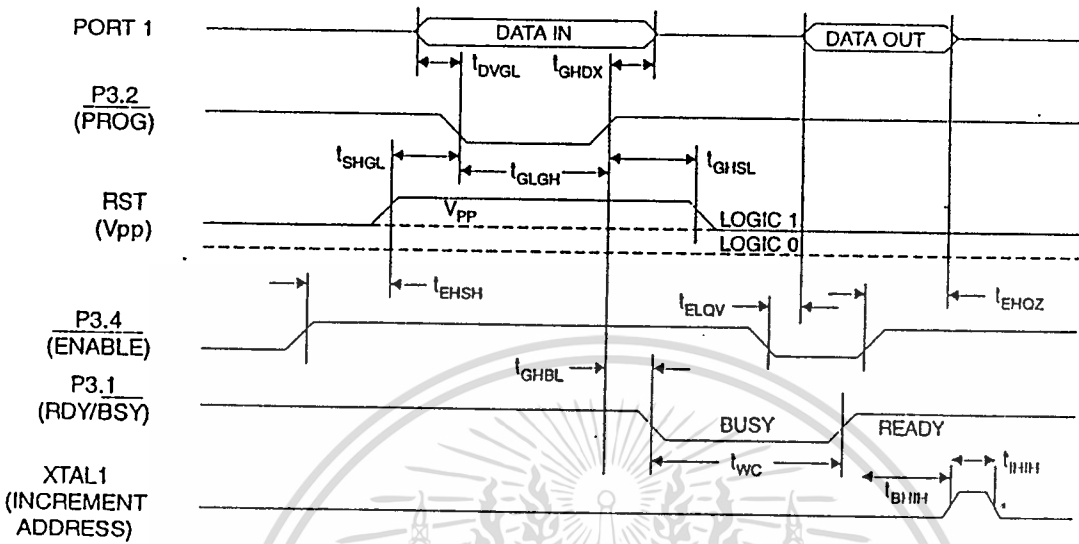


Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 21^\circ\text{C}$ to 27°C , $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V_{PP}	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I_{PP}	Programming Enable Current		250	μs
t_{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	1.0		μs
t_{GHDX}	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	1.0		μs
t_{EHS}	P3.4 ($\overline{\text{ENABLE}}$) High to V_{PP}	1.0		μs
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
t_{GHSL}	V_{PP} Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t_{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t_{ELQV}	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		1.0	μs
t_{EHQZ}	Data Float After $\overline{\text{ENABLE}}$	0	1.0	μs
t_{GHBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		50	ns
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms
t_{EHIH}	$\overline{\text{RDY/BSY}}$ to Increment Clock Delay	1.0		μs
t_{IHIL}	Increment Clock High	200		ns

Flash Programming and Verification Waveforms



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0 V to +7.0 V
Maximum Operating Voltage	6.6 V
DC Output Current.....	25.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

AT89C2051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D.C. Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 2.7\text{ V}$ to 6.0 V (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low Voltage		-0.5	$0.2 V_{CC}-0.1$	V
V_{IH}	Input High Voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC}+0.9$	$V_{CC}+0.5$	V
V_{IH1}	Input High Voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC}+0.5$	V
V_{OL}	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Ports 1, 3)	$I_{OL} = 20\text{ mA}$, $V_{CC} = 5\text{ V}$ $I_{OL} = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 2.7\text{ V}$		0.45	V
V_{OH}	Output High Voltage (Ports 1, 3)	$I_{OH} = -80\ \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{ V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -30\ \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -12\ \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1, 2, 3)	$V_{IN} = 0.45\text{ V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)	$V_{IN} = 2\text{ V}$		-750	μA
I_{LI}	Input Leakage Current (Port P1.0, P1.1)	$0 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
V_{OS}	Comparator Input Offset Voltage	$V_{CC} = 5\text{ V}$		20	mV
V_{CM}	Comparator Input Common Mode Voltage		0	V_{CC}	V
RRST	Reset Pulldown Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz, $V_{CC} = 6\text{ V}/3\text{ V}$		20/5.5	mA
		Idle Mode, 12 MHz, $V_{CC} = 6\text{ V}/3\text{ V}$ $P1.0$ & $P1.1 = 0\text{V}$ or V_{CC}		5/1	mA
	Power Down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 6\text{ V}$ $P1.0$ & $P1.1 = 0\text{V}$ or V_{CC}		100	μA
		$V_{CC} = 3\text{ V}$ $P1.0$ & $P1.1 = 0\text{V}$ or V_{CC}		20	μA

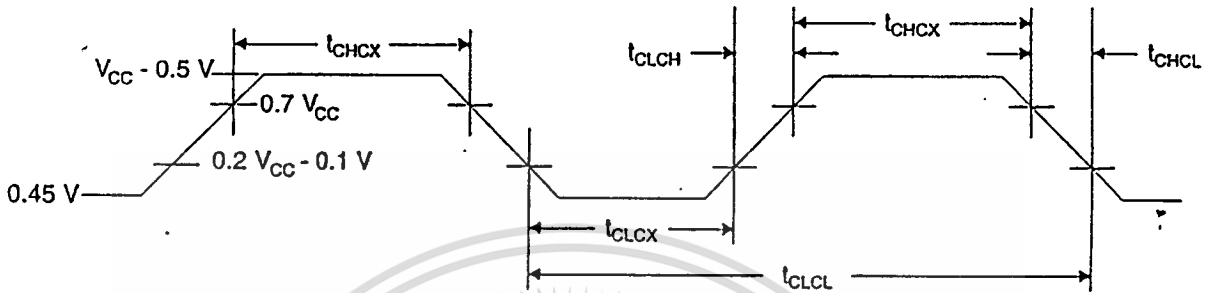
Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
 Maximum I_{OL} per port pin: 20 mA
 Maximum total I_{OL} for all output pins: 80 mA

If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

2. Minimum V_{CC} for Power Down is 2 V.



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

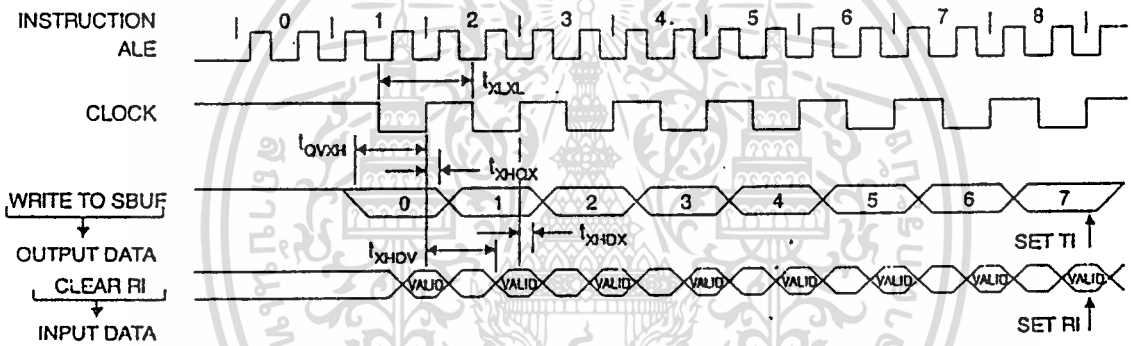
Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

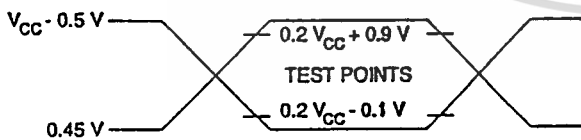
(V_{CC} = 5.0 V ± 20%; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t _{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		12t _{CLCL}		μs
t _{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		10t _{CLCL} -133		ns
t _{XHQX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		2t _{CLCL} -33		ns
t _{XHDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t _{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		10t _{CLCL} -133	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms

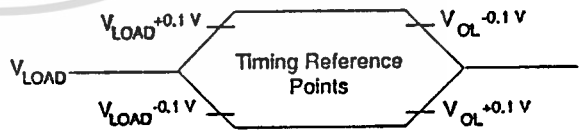


AC Testing Input/Output Waveforms ⁽¹⁾



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at V_{CC} - 0.5 V for a logic 1 and 0.45 V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{HI} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Float Waveforms ⁽¹⁾



Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when a 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

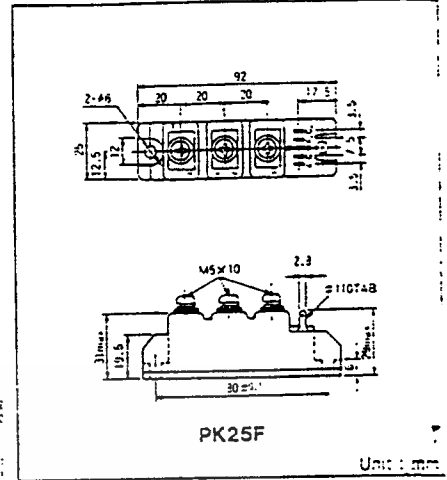
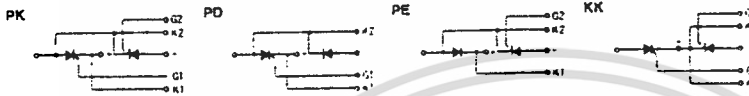


PK(PD,PE,KK)25F

Power Thyristor/Diode Module PK25F series are designed for various rectifier circuits and power controls. For your circuit application, following internal connections and wide voltage ratings up to 1,600 V are available. High precision 25 mm (inch) width package and electrically isolated mounting base make your mechanical design easy.

- $I_{T(AV)}$ 25A, $I_{T(RMS)}$ 39A, I_{TSM} 580A
- di/dt 100 A/ μ s
- dv/dt 500 V/ μ s

- (Applications)
- Various rectifiers
 - AC/DC motor drives
 - Heater controls
 - Light dimmers
 - Static switches



Maximum Ratings

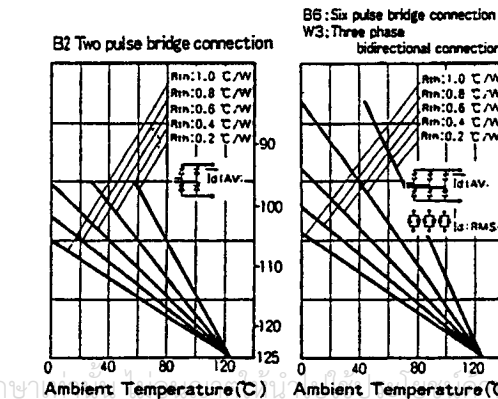
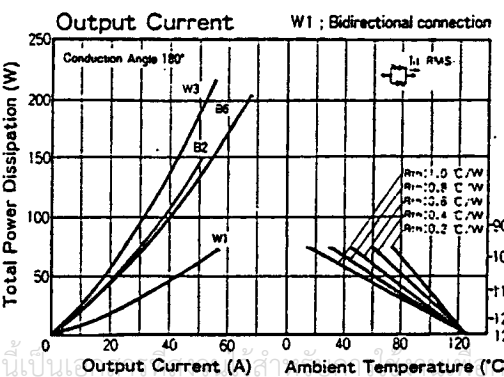
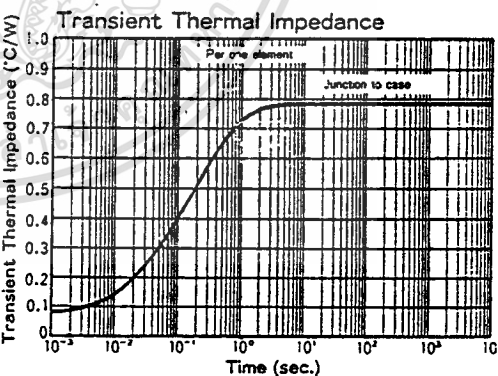
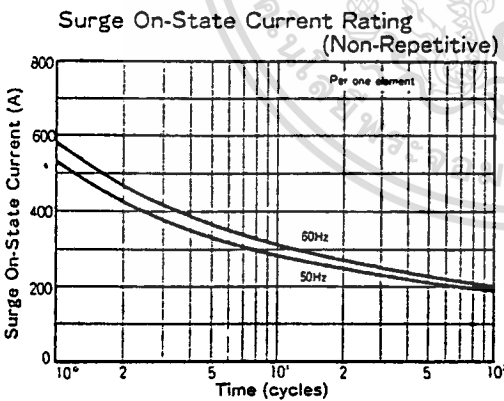
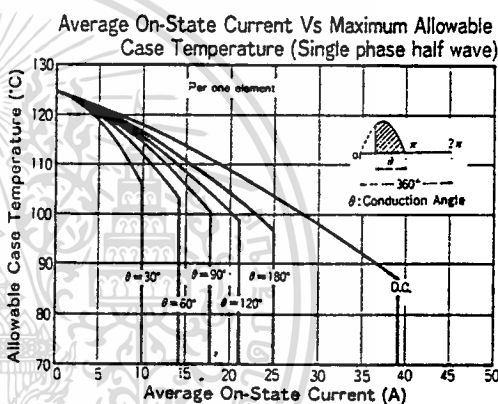
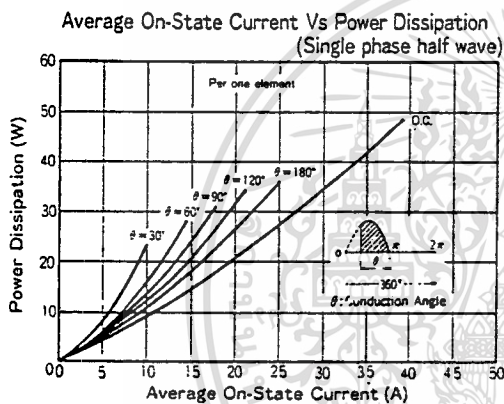
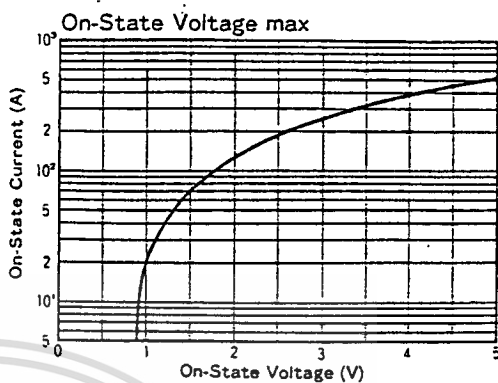
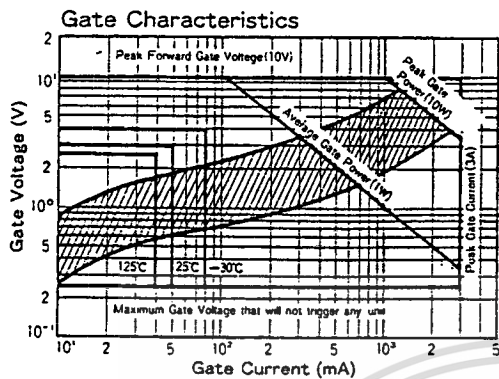
Symbol	Item	PK25F-40	PK25F-80	PK25F-120	PK25F-160	Unit
V_{RRM}	* Repetitive Peak Reverse Voltage	400	800	1200	1600	V
V_{RSM}	* Non-Repetitive Peak Reverse Voltage	480	960	1300	1700	V
V_{ORM}	Repetitive Peak Off-State Voltage	400	800	1200	1600	V

Symbol	Item	Conditions	Ratings	Unit
$I_{T(AV)}$	* Average On-State Current	Single phase, half wave, 180° conduction, $T_c : 96^\circ\text{C}$	25	A
$I_{T(RMS)}$	* R.M.S On-State Current	Single phase, half wave, 180° conduction, $T_c : 96^\circ\text{C}$	39	A
I_{TSM}	* Surge On-State Current	1/2 cycle, 50/60Hz, peak value, non-repetitive	530/580	A
I^2t	* I^2t	Value for one cycle of surge current	1400	A ² S
P_{GM}	Peak Gate Power Dissipation		10	W
$P_{G(AV)}$	Average Gate Power Dissipation		1	W
I_{FGM}	Peak Gate Current		3	A
V_{FGM}	Peak Gate Voltage(Forward)		10	V
V_{RGM}	Peak Gate Voltage(Reverse)		5	V
di/dt	Critical Rate of Rise of On-State Current	$I_g = 100\text{mA}$, $T_j = 25^\circ\text{C}$, $V_0 = 1/2 V_{ORM}$, $di_g/dt = 0.1\text{A}/\mu\text{s}$	100	A/ μ s
V_{ISO}	* Isolation Breakdown Voltage(R.M.S)	A.C. 1minute	2500	V
T_j	* Operating Junction Temperature		-40~+125	°C
T_{stg}	* Storage Temperature		-40~+125	°C
Mounting Torque	(M5)	Recommended Value 25kgf·cm	22~28	kgf·cm
	Terminal (M5)	Recommended Value 25kgf·cm	22~28	
Mass			1.70	g

Electrical Characteristics

Symbol	Item	Conditions	Ratings	Unit
I_{ORM}	Repetitive Peak Off-State Current, max.	at V_{ORM} , single phase, half wave, $T_j = 125^\circ\text{C}$	10	mA
I_{RRM}	* Repetitive Peak Reverse Current, max.	at V_{ORM} , single phase, half wave, $T_j = 125^\circ\text{C}$	10	mA
V_{TM}	* Peak On-State Voltage, max.	On-State Current 75A, $T_j = 25^\circ\text{C}$ Inst. measurement	1.55	V
I_{GT}/V_{GT}	Gate-Trigger Current/Voltage, max.	$T_j = 25^\circ\text{C}$, $I_T = 1\text{A}$, $V_0 = 6\text{V}$	50/3	mA/V
V_{GD}	Non-Trigger Gate, Voltage, min.	$T_j = 125^\circ\text{C}$, $V_0 = 1/2 V_{ORM}$	0.25	V
t_{gt}	Turn On Time, max	$I_T = 25\text{A}$, $I_g = 100\text{mA}$, $T_j = 25^\circ\text{C}$, $V_0 = 1/2 V_{ORM}$, $di_g/dt = 1\text{A}/\mu\text{s}$	10	μ s
dv/dt	Critical Rate of Rise of On-State Voltage, min.	$T_j = 125^\circ\text{C}$, $V_0 = 2/3 V_{ORM}$, Exponential wave.	500	V/ μ s
I_H	Holding Current, typ.	$T_j = 25^\circ\text{C}$	50	mA
I_L	Latching Current, typ.	$T_j = 25^\circ\text{C}$	100	mA
$R_{th(j-c)}$	* Thermal Impedance, max.	Junction to case	0.78	°C/W

Thyristor and Diode part No mark : Thyristor part



MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

240

MC1408 MC1508

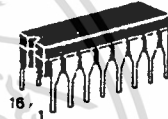
EIGHT-BIT MULTIPLYING DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTER

EIGHT-BIT MULTIPLYING DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTER

SILICON MONOLITHIC
INTEGRATED CIRCUIT

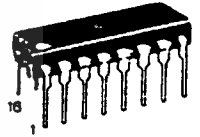
... designed for use where the output current is a linear product of an eight-bit digital word and an analog input voltage.

- Eight-Bit Accuracy Available in Both Temperature Ranges
Relative Accuracy: $\pm 0.19\%$ Error maximum
(MC1408L8, MC1408P8, MC1508L8)
- Seven and Six-Bit Accuracy Available with MC1408 Designated by 7 or 6 Suffix after Package Suffix
- Fast Settling Time - 300 ns typical
- Noninverting Digital Inputs are M TTL and CMOS Compatible
- Output Voltage Swing - +0.4 V to -5.0 V
- High-Speed Multiplying Input Slew Rate 4.0 mA/ μ s
- Standard Supply Voltages: +5.0 V and -5.0 V to -15 V



P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648

L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 620



ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
MC1408PB	0 to +75°C	Plastic
MC1408LB		Ceramic
MC1508LB	-55 to +125°C	Ceramic

FIGURE 1 - D-to-A TRANSFER CHARACTERISTICS

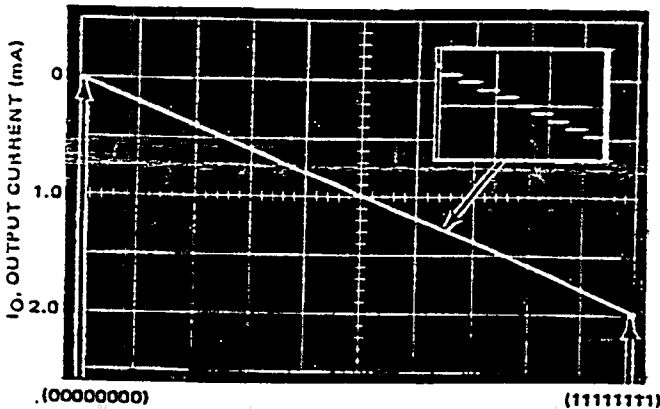
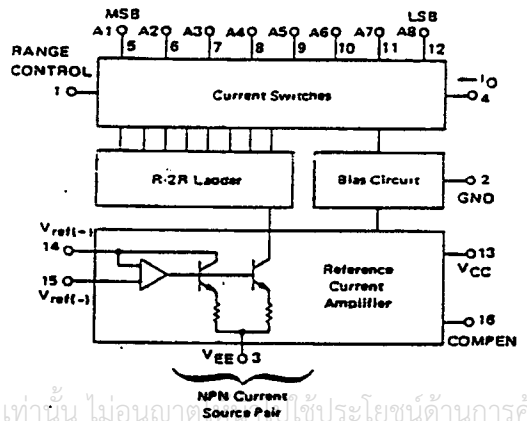


FIGURE 2 - BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1408, MC1508

GENERAL INFORMATION

Reference Amplifier Drive and Compensation

The reference amplifier provides a voltage at pin 14 for converting the reference voltage to a current, and a turn-around circuit or current mirror for feeding the ladder. The reference amplifier input current, I14, must always flow into pin 14 regardless of the setup method or reference voltage polarity.

Connections for a positive reference voltage are shown in Figure 7. The reference voltage source supplies the full current I14. For bipolar reference signals, as in the multiplying mode, R15 can be tied to a negative voltage corresponding to the minimum input level. It is possible to eliminate R15 with only a small sacrifice in accuracy and temperature drift. Another method for bipolar inputs is shown in Figure 25.

The compensation capacitor value must be increased with increases in R14 to maintain proper phase margin; for R14 values of 1.0, 2.5 and 5.0 kilohms, minimum capacitor values are 15, 37, and 75 pF. The capacitor should be tied to VEE as this increases negative supply rejection.

A negative reference voltage may be used if R14 is grounded and the reference voltage is applied to R15 as shown in Figure 8. A high input impedance is the main advantage of this method. Compensation involves a capacitor to VEE on pin 16, using the values of the previous paragraph. The negative reference voltage must be at least 3.0-volts above the VEE supply. Bipolar input signals may be handled by connecting R14 to a positive reference voltage equal to the peak positive input level at pin 15.

When a dc reference voltage is used, capacitive bypass to ground is recommended. The 5.0-V logic supply is not recommended as a reference voltage. If a well regulated 5.0-V supply which drives logic is to be used as the reference, R14 should be decoupled by connecting it to +5.0 V through another resistor and bypassing the junction of the two resistors with 0.1 μ F to ground. For reference voltages greater than 5.0 V, a clamp diode is recommended between pin 14 and ground.

If pin 14 is driven by a high impedance such as a transistor current source, none of the above compensation methods apply and the amplifier must be heavily compensated, decreasing the overall bandwidth.

Output Voltage Range

The voltage on pin 4 is restricted to a range of -0.55 to +0.4 volts at +25°C, due to the current switching methods employed in the MC1408. When a current switch is turned "off", the positive voltage on the output terminal can turn "on" the output diode and increase the output current level. When a current switch is turned "on", the negative output voltage range is restricted. The base of the termination circuit Darlington transistor is one diode voltage below ground when pin 1 is grounded, so a negative voltage below the specified safe level will drive the low current device of the Darlington into saturation, decreasing the output current level.

The negative output voltage compliance of the MC1408 may be extended to -5.0 V volts by opening the circuit at pin 1. The negative supply voltage must be more negative than -10 volts. Using a full scale current of 1.992 mA and load resistor of 2.5 kilohms between pin 4 and ground will yield a voltage output of 256 levels between 0 and -4.980 volts. Floating pin 1 does not affect the converter speed or power dissipation. However, the value of the load resistor determines the switching time due to increased voltage swing. Values of RL up to 500 ohms do not significantly affect performance, but a 2.5-kilohm load increases "worst case" settling time to 1.2 μ s (when all bits are switched on).

Refer to the subsequent text section on Settling Time for more details on output loading.

If a power supply value between -5.0 V and -10 V is desired, a voltage of between 0 and -5.0 V may be applied to pin 1. The value of this voltage will be the maximum allowable negative output swing.

Output Current Range

The output current maximum rating of 4.2 mA may be used only for negative supply voltages typically more negative than -8.0 volts, due to the increased voltage drop across the 350-ohm resistors in the reference current amplifier.

Accuracy

Absolute accuracy is the measure of each output current level with respect to its intended value, and is dependent upon relative accuracy and full scale current drift. Relative accuracy is the measure of each output current level as a fraction of the full scale current. The relative accuracy of the MC1408 is essentially constant with temperature due to the excellent temperature tracking of the monolithic resistor ladder. The reference current may drift with temperature, causing a change in the absolute accuracy of output current. However, the MC1408 has a very low full scale current drift with temperature.

The MC1408/MC1508 Series is guaranteed accurate to within $\pm 1/2$ LSB at +25°C at a full scale output current of 1.992 mA. This corresponds to a reference amplifier output current drive to the ladder network of 2.0 mA, with the loss of one LSB = 8.0 μ A which is the ladder remainder shunted to ground. The input current to pin 14 has a guaranteed value of between 1.9 and 2.1 mA, allowing some mismatch in the NPN current source pair. The accuracy test circuit is shown in Figure 4. The 12-bit converter is calibrated for a full scale output current of 1.992 mA. This is an optional step since the MC1408 accuracy is essentially the same between 1.5 and 2.5 mA. Then the MC1408 circuits' full scale current is trimmed to the same value with R14 so that a zero value appears at the error amplifier output. The counter is activated and the error band may be displayed on an oscilloscope, detected by comparators, or stored in a peak detector.

Two 8-bit D-to-A converters may not be used to construct a 16-bit accurate D-to-A converter. 16-bit accuracy implies a total error of $\pm 1/2$ of one part in 65, 536, or $\pm 0.00076\%$, which is much more accurate than the $\pm 0.19\%$ specification provided by the MC1408x8.

Multiplying Accuracy

The MC1408 may be used in the multiplying mode with eight-bit accuracy when the reference current is varied over a range of 256:1. The major source of error is the bias current of the termination amplifier. Under "worst case" conditions, these eight amplifiers can contribute a total of 1.6 μ A extra current at the output terminal. If the reference current in the multiplying mode ranges from 16 μ A to 4.0 mA, the 1.6 μ A contributes an error of 0.1 LSB. This is well within eight-bit accuracy referenced to 4.0 mA.

A monotonic converter is one which supplies an increase in current for each increment in the binary word. Typically, the MC1408 is monotonic for all values of reference current above 0.5 mA. The recommended range for operation with a dc reference current is 0.5 to 4.0 mA.

MC1408, MC1508

MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	+5.5	Vdc
	V_{EE}	-16.5	
Digital Input Voltage	V_5 thru V_{12}	0 to +5.5	Vdc
Applied Output Voltage	V_O	+0.5, -5.2	Vdc
Reference Current	I_{14}	5.0	mA
Reference Amplifier Inputs	V_{14}, V_{15}	V_{CC}, V_{EE}	Vdc
Operating Temperature Range	T_A	MC1508	$^\circ\text{C}$
		MC1408 Series	
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +5.0$ Vdc, $V_{EE} = -15$ Vdc, $R_{14} = 2.0$ mA, MC1508L8: $T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$. MC1408L Series: $T_A = 0$ to $+75^\circ\text{C}$ unless otherwise noted. All digital inputs at high logic level.)

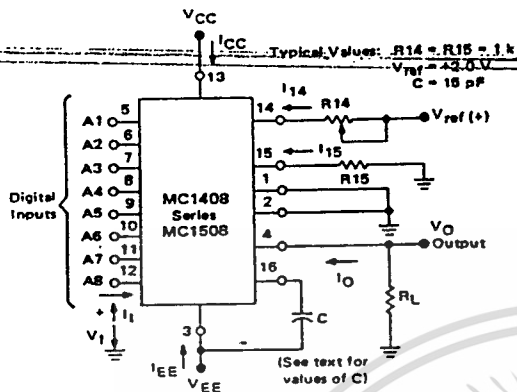
Characteristics	Figure	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Relative Accuracy (Error relative to full scale I_O) MC1508L8, MC1408L8, MC1408P8	4	E_r	—	—	± 0.19 ± 0.39 ± 0.78	%
Settling Time to within $\pm 1/2$ LSB (includes t_{pLH}) ($T_A = +25^\circ\text{C}$) (Note 2)	5	t_s	—	300	—	ns
Propagation Delay Time $T_A = +25^\circ\text{C}$	5	t_{PHL} t_{PLH}	—	30	100	ns
Output Full Scale Current Drift		TC_{IO}	—	-20	—	PPM/ $^\circ\text{C}$
Digital Input Logic Levels (MSB) High Level, Logic "1" Low Level, Logic "0"	3	V_{IH} V_{IL}	2.0	—	— 0.8	Vdc
Digital Input Current (MSB) High Level, $V_{IH} = 5.0$ V Low Level, $V_{IL} = 0.8$ V	3	I_{IH} I_{IL}	—	0 -0.4	0.04 -0.8	mA
Reference Input Bias Current (Pin 15)	3	I_{15}	—	-1.0	-5.0	μA
Output Current Range $V_{EE} = -5.0$ V $V_{EE} = -15$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$	3	I_{OR}	0 0	2.0 2.0	2.1 4.2	mA
Output Current $V_{REF} = 2.000$ V, $R_{14} = 1000$ Ω	3	I_O	1.9	1.99	2.1	mA
Output Current (All Bits Low)	3	$I_O(\text{min})$	—	0	4.0	μA
Output Voltage Compliance ($E_r \leq 0.19\%$ at $T_A = +25^\circ\text{C}$) Pin 1 Grounded Pin 1 Open, V_{EE} below -10 V	3	V_O	—	—	-0.55, +0.4 -5.0, +0.4	Vdc
Reference Current Slew Rate	6	$SR I_{ref}$	—	4.0	—	mA/ μs
Output Current Power Supply Sensitivity		$PSRR(-)$	—	0.5	2.7	$\mu\text{A/V}$
Power Supply Current (All Bits Low)	3	I_{CC} I_{EE}	—	+13.5 -7.5	+22 -13	mA
Power Supply Voltage Range ($T_A = +25^\circ\text{C}$)	3	V_{CCR} V_{EER}	+4.5 -4.5	+5.0 -15	+5.5 -16.5	Vdc
Power Dissipation All Bits Low $V_{EE} = -5.0$ Vdc $V_{EE} = -15$ Vdc	3	P_D	—	105	170	mW
All Bits High $V_{EE} = -5.0$ Vdc $V_{EE} = -15$ Vdc				190	305	
				90	—	
				160	—	

Notes: 1. All current switches are tested to guarantee at least 50% of rated output current.
2. All bits switched.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST CIRCUITS

FIGURE 3 - NOTATION DEFINITIONS TEST CIRCUIT



V_1 and I_1 apply to inputs A_1 thru A_8

The resistor tied to pin 15 is to temperature compensate the bias current and may not be necessary for all applications.

$$I_O = K \left\{ \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} + \frac{A_4}{16} + \frac{A_5}{32} + \frac{A_6}{64} + \frac{A_7}{128} + \frac{A_8}{256} \right\}$$

where $K \cong \frac{V_{ref}}{R_{14}}$

and $A_N = "1"$ if A_N is at high level
 $A_N = "0"$ if A_N is at low level

FIGURE 4 - RELATIVE ACCURACY TEST CIRCUIT

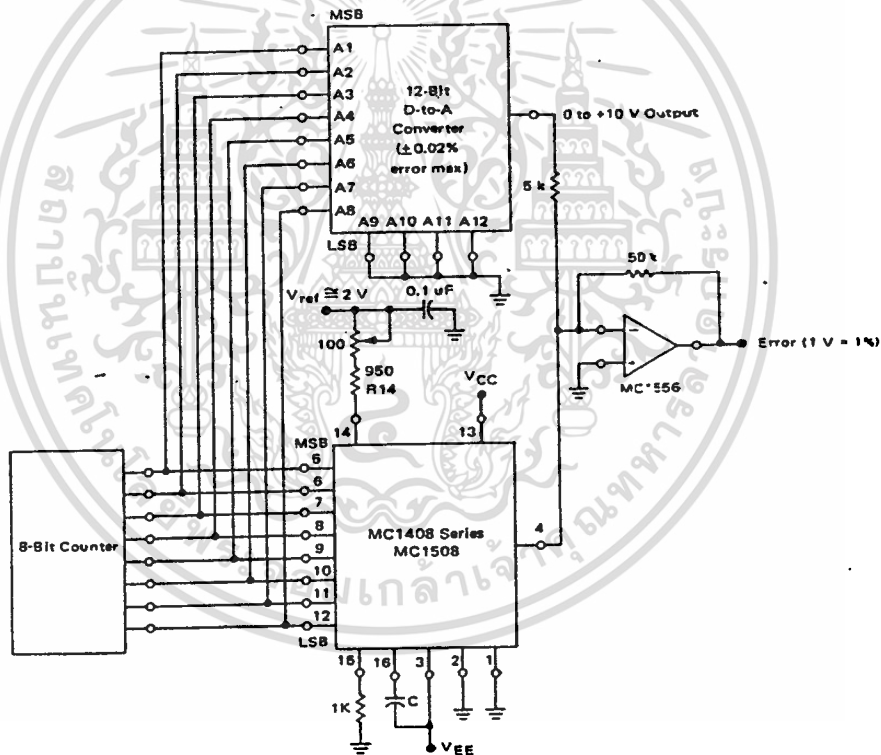
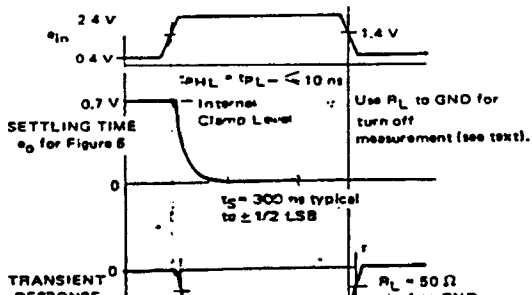
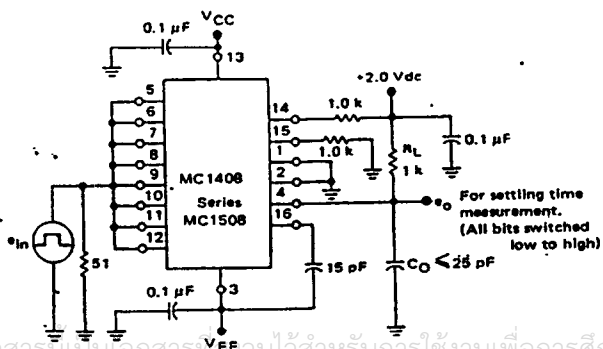


FIGURE 5 - TRANSIENT RESPONSE and SETTLING TIME



MC1408, MC1508

TEST CIRCUITS (continued)

FIGURE 6 - REFERENCE CURRENT SLEW RATE MEASUREMENT

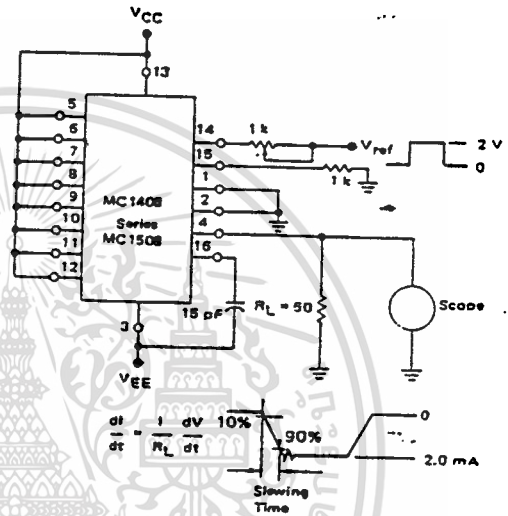


FIGURE 7 - POSITIVE V_{ref}

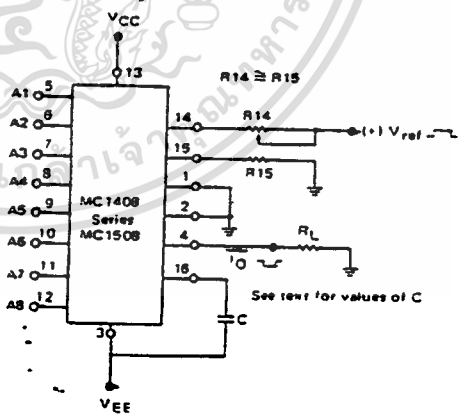
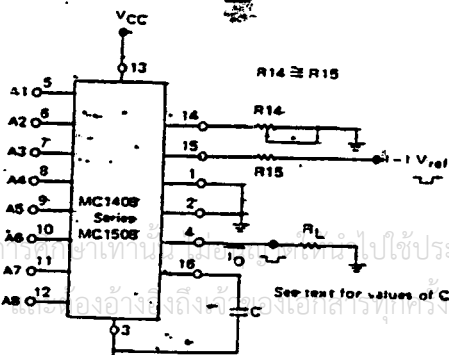
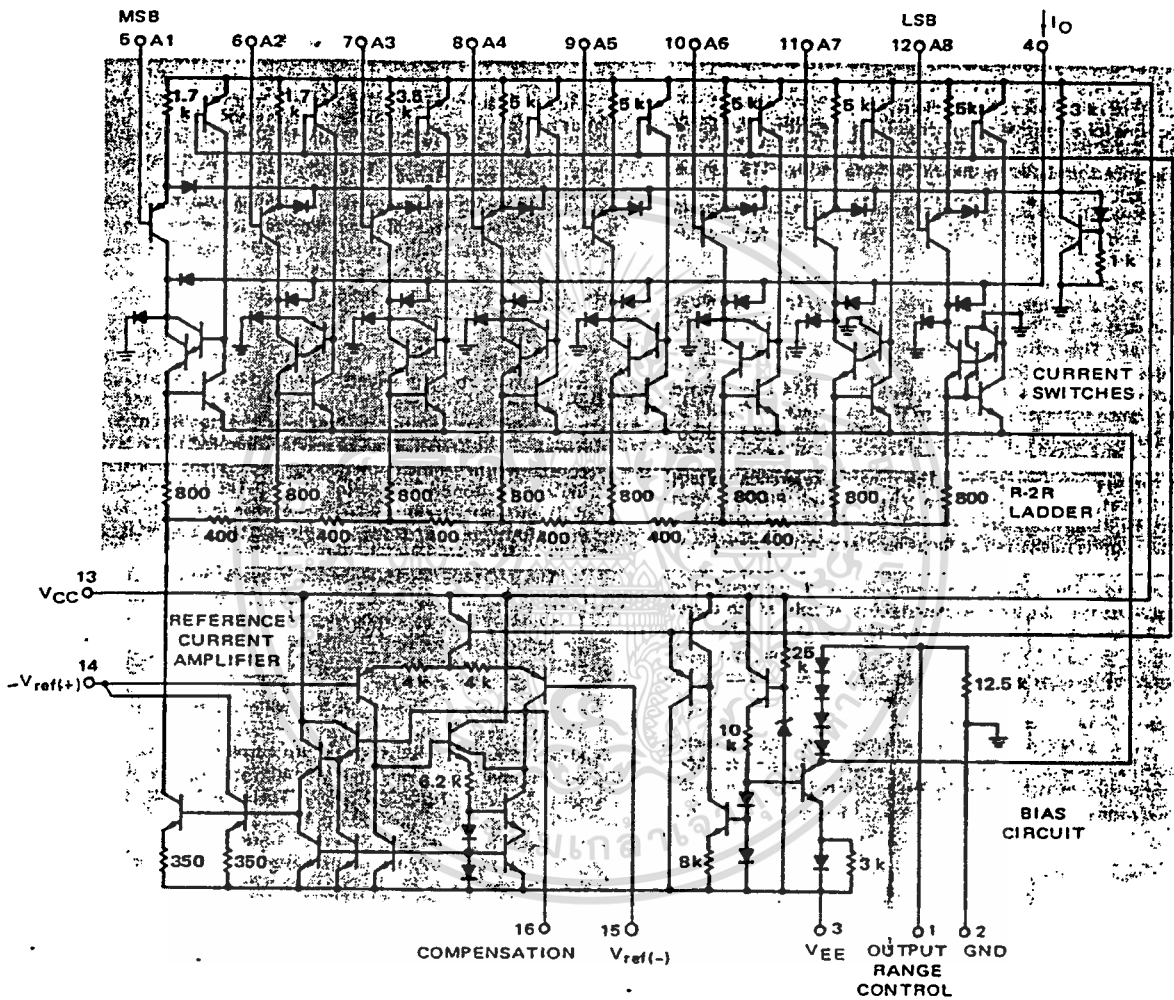


FIGURE 8 - NEGATIVE V_{ref}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาของเอกสารนี้โดยเด็ดขาด

FIGURE 9 — MC1408, MC1508 SERIES EQUIVALENT
CIRCUIT SCHEMATIC
DIGITAL INPUTS



CIRCUIT DESCRIPTION

The MC1408 consists of a reference current amplifier, an R-2R ladder, and eight high-speed current switches. For many applications, only a reference resistor and reference voltage need be added. The switches are noninverting in operation, therefore a high state on the input turns on the specified output current component. The switch uses current steering for high speed, and a termination amplifier consisting of an active load gain stage with unity gain feedback. The termination amplifier holds the parasitic capacitance of the ladder at a constant voltage during switching, and provides

a low impedance termination of equal voltage for all the ladder. The R-2R ladder divides the reference amplifier current into binary-related components, which are fed to the switches; that there is always a remainder current which is equal to the least significant bit. This current is shunted to ground, and the maximum output current is 255/256 of the reference current, or 1.992 mA for a 2.0 mA reference amplifier if the NPN current source pair is perfectly matched.

การนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENERAL INFORMATION (Continued)

Settling Time

The "worst case" switching condition occurs when all bits are switched "on", which corresponds to a low-to-high transition for all bits. This time is typically 300 ns for settling to within $\pm 1/2$ LSB, for 8-bit accuracy, and 200 ns to $1/2$ LSB for 7 and 6-bit accuracy. The turn off is typically under 100 ns. These times apply when $R_L \leq 500$ ohms and $C_O \leq 25$ pF.

The slowest single switch is the least significant bit, which turns "on" and settles in 250 ns and turns "off" in 80 ns. In applications where the D-to-A converter functions in a positive-going ramp mode, the "worst case" switching condition does not occur, and a settling time of less than 300 ns may be realized. Bit A7 turns "on" in 200 ns and "off" in 80 ns, while bit A6 turns "on" in 150 ns and "off" in 80 ns.

The test circuit of Figure 5 requires a smaller voltage swing for the current switches due to internal voltage clamping in the MC1408. A 1.0-kilohm load resistor from pin 4 to ground gives a typical settling time of 400 ns. Thus, it is voltage swing and not the output RC time constant that determines settling time for most applications.

Extra care must be taken in board layout since this is usually the dominant factor in satisfactory test results when measuring settling time. Short leads, 100 μ F supply bypassing for low frequencies, and minimum scope lead length are all mandatory.

TYPICAL CHARACTERISTICS

($V_{CC} = +5.0$ V, $V_{EE} = -15$ V, $T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.)

FIGURE 10 — LOGIC INPUT CURRENT versus INPUT VOLTAGE

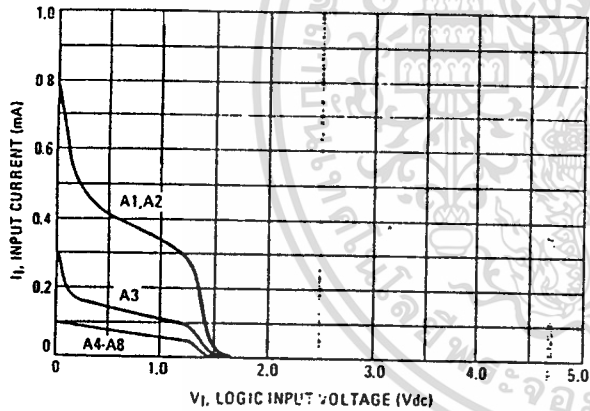


FIGURE 11 — TRANSFER CHARACTERISTIC versus TEMPERATURE (A5 thru A8 thresholds lie within range for A1 thru A4)

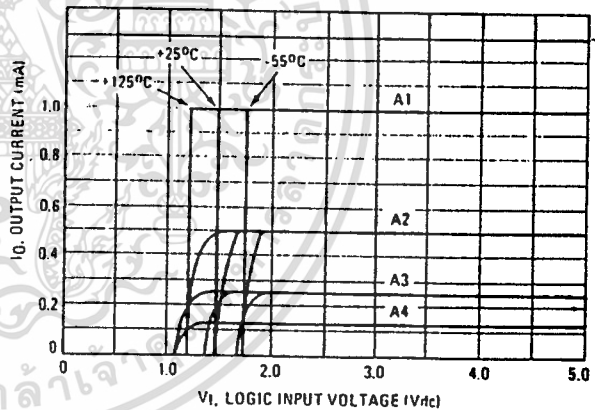


FIGURE 12 — OUTPUT CURRENT versus OUTPUT VOLTAGE (See text for pin 1 restrictions)

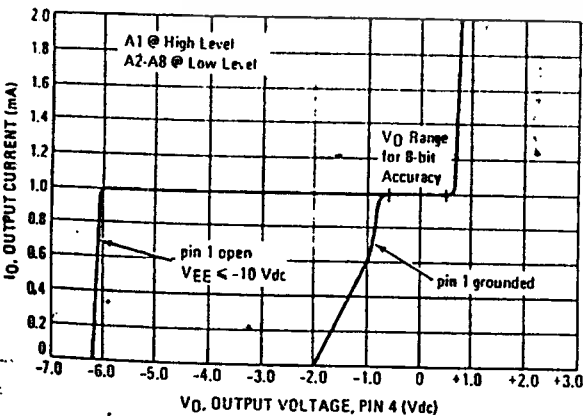
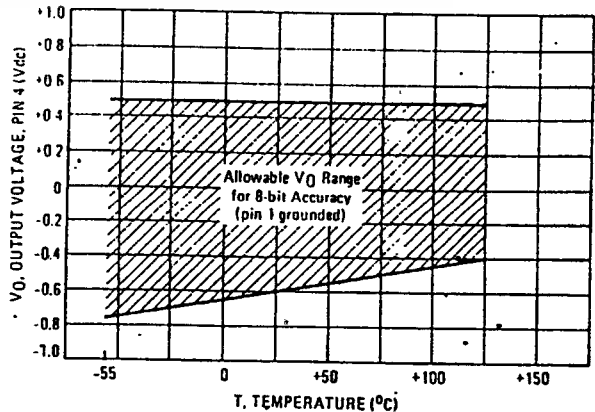


FIGURE 13 — OUTPUT VOLTAGE versus TEMPERATURE (Negative range with pin 1 open is -5.0 Vdc over full temperature range)



MC1408, MC1508

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)
 (VCC = +5.0 V, VEE = -15 V, TA = +25°C unless otherwise noted.)

FIGURE 14 - REFERENCE INPUT FREQUENCY RESPONSE

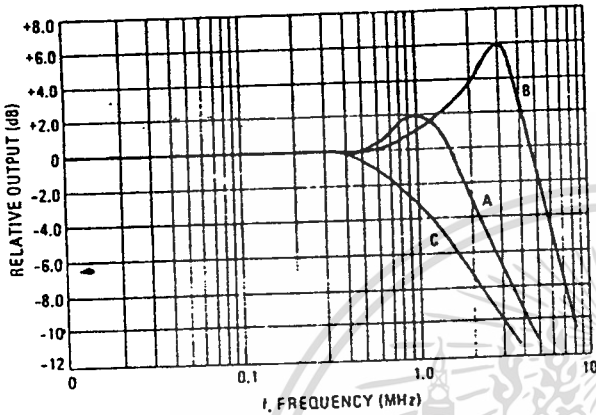
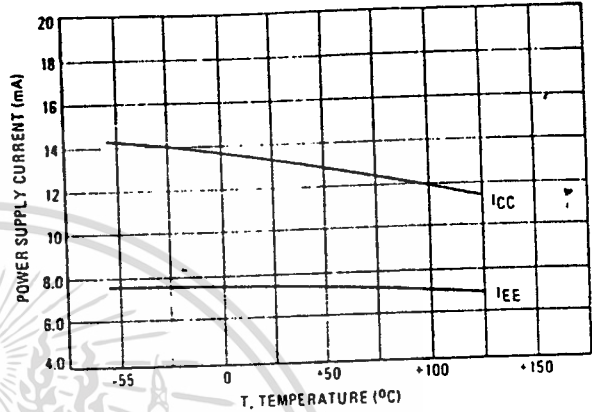


FIGURE 15 - TYPICAL POWER SUPPLY CURRENT versus TEMPERATURE (all bits low)

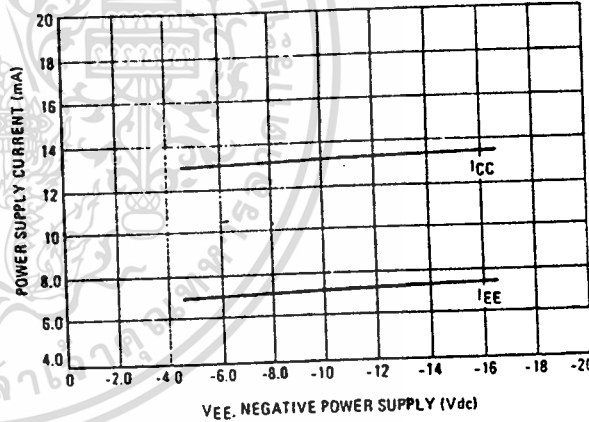


Unless otherwise specified:

- R14 = R15 = 1.0 kΩ
- C = 15 pF, pin 16 to VEE
- RL = 50 Ω, pin 4 to GND

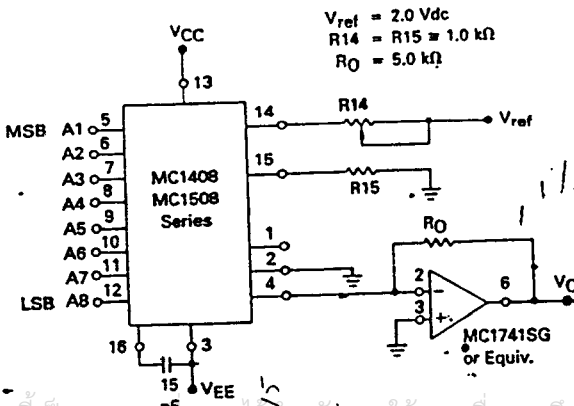
- Curve A: Large Signal Bandwidth
Method of Figure 7
Vref = 2.0 V(p-p) offset 1.0 V above GND
- Curve B: Small Signal Bandwidth
Method of Figure 7 RL = 250 Ω
Vref = 50 mV(p-p) offset 200 mV above GND
- Curve C: Large and Small Signal Bandwidth
Method of Figure 25 (no op-amp), RL = 50 Ω
RS = 50 Ω
Vref = 2.0 V
VS = 100 mV(p-p) centered at 0 V

FIGURE 16 - TYPICAL POWER SUPPLY CURRENT versus VEE (all bits low)



APPLICATIONS INFORMATION

FIGURE 17 - OUTPUT CURRENT TO VOLTAGE CONVERSION



Vref = 2.0 Vdc
 R14 = R15 = 1.0 kΩ
 RO = 5.0 kΩ

Theoretical VO

$$V_O = \frac{V_{ref}}{R_{14}} (R_O) \left[\frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} + \frac{A_4}{16} + \frac{A_5}{32} + \frac{A_6}{64} + \frac{A_7}{128} + \frac{A_8}{256} \right]$$

Adjust Vref, R14 or RO so that VO with all digital inputs at high level is equal to 9.961 volts.

$$V_O = \frac{2V}{1k} (5k) \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} + \frac{1}{256} \right]$$

$$= 10V \left[\frac{255}{256} \right] = 9.961V$$

PO = 10V 17

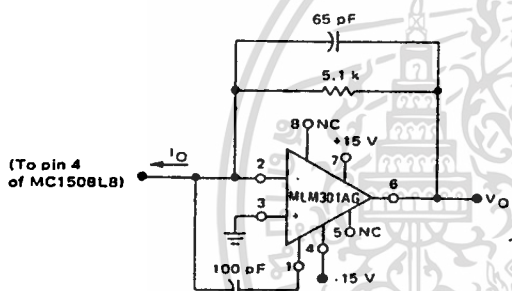
APPLICATIONS INFORMATION (continued)

Voltage outputs of a larger magnitude are obtainable with this circuit which uses an external operational amplifier as a current to voltage converter. This configuration automatically keeps the output of the MC1408 at ground potential and the operational amplifier can generate a positive voltage limited only by its positive supply voltage. Frequency response and settling time are primarily determined by the characteristics of the operational amplifier. In addition, the operational amplifier must be compensated for unity gain, and in some cases overcompensation may be desirable.

Note that this configuration results in a positive output voltage only, the magnitude of which is dependent on the digital input.

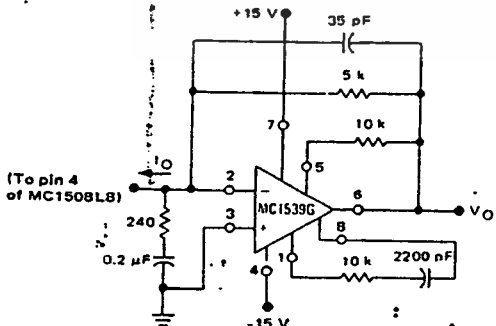
The following circuit shows how the MLM301AG can be used in a feedforward mode resulting in a full scale settling time on the order of 2.0 μ s.

FIGURE 18



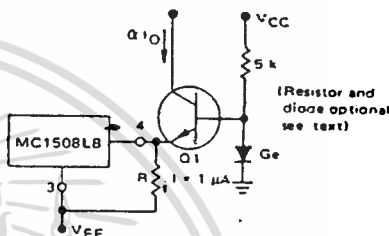
An alternative method is to use the MC1539G and input compensation. Response of this circuit is also on the order of 2.0 μ s. See Motorola Application Note AN-459 for more details on this concept.

FIGURE 19



The positive voltage range may be extended by cascading the output with a high beta common base transistor, Q1, as shown.

FIGURE 20 — EXTENDING POSITIVE VOLTAGE RANGE



The output voltage range for this circuit is 0 volts to BVC_{BO} of the transistor. If pin 1 is left open, the transistor base may be grounded, eliminating both the resistor and the diode. Variations in beta must be considered for wide temperature range applications. An inverted output waveform may be obtained by using a load resistor from a positive reference voltage to the collector of the transistor. Also, high-speed operation is possible with a large output voltage swing, because pin 4 is held at a constant voltage. The resistor (R) to V_{EE} maintains the transistor emitter voltage when all bits are "off" and insures fast turn-on of the least significant bit.

Combined Output Amplifier and Voltage Reference

For many of its applications the MC1408 requires a reference voltage and an operational amplifier. Normally, the operational amplifier is used as a current to voltage converter and its output need only go positive. With the popular MC1723G voltage regulator both of these functions are provided in a single package with the added bonus of up to 150 mA of output current. See Figure 21. The MC1723G uses both a positive and negative power supply. The reference voltage of the MC1723G is then developed with respect to the negative voltage and appears as a common-mode signal to the reference amplifier in the D-to-A converter. This allows use of its output amplifier as a classic current-to-voltage converter with the non-inverting input grounded.

Since ± 15 V and +5.0 V are normally available in a combination digital-to-analog system, only the -5.0 V need be developed. A resistor divider is sufficiently accurate since the allowable range on pin 5 is from -2.0 to -8.0 volts. The 5.0 kilohm pull-down resistor on the amplifier output is necessary for fast negative transitions.

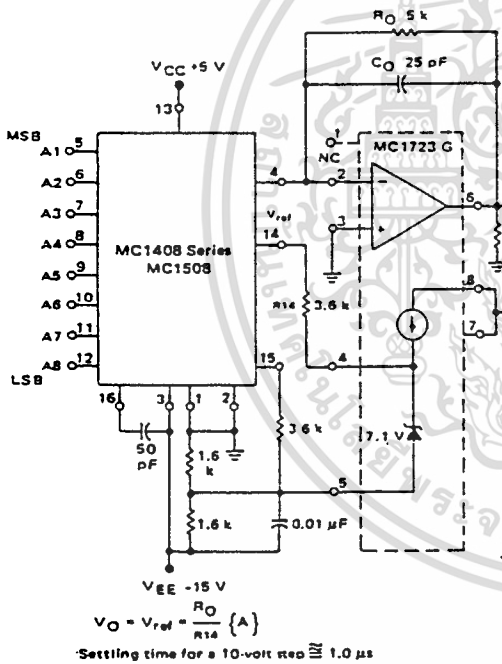
Full scale output may be increased to as much as 32 volts by increasing R_O and raising the +15 V supply voltage to 35 V maximum. The resistor divider should be altered to comply with the maximum limit of 40 volts across the MC1723G. C_O may be decreased to maintain the same $R_O C_O$ product if maximum speed is desired.

APPLICATIONS INFORMATION (continued)

Programmable Power Supply

The circuit of Figure 21 can be used as a digitally programmed power supply by the addition of thumbwheel switches and a BCD-to-binary converter. The output voltage can be scaled in several ways, including 0 to +25.5 volts in 0.1-volt increments, ±0.05 volt; or 0 to 5.1 volts in 20 mV increments, ±10 mV.

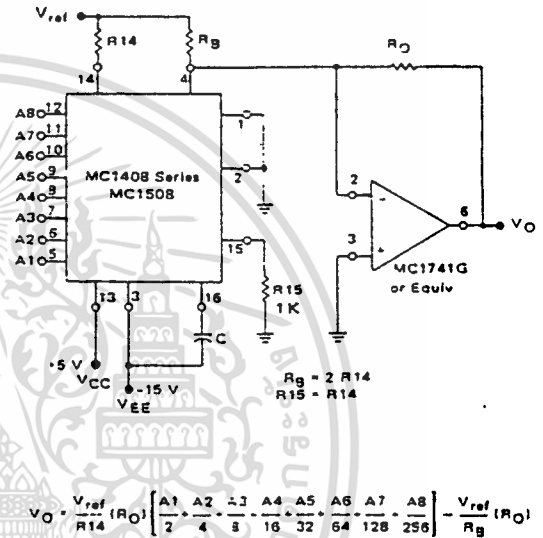
FIGURE 21 — COMBINED OUTPUT AMPLIFIER and VOLTAGE REFERENCE CIRCUIT



$$V_O = V_{ref} \frac{R_O}{R_{14}} \{A\}$$

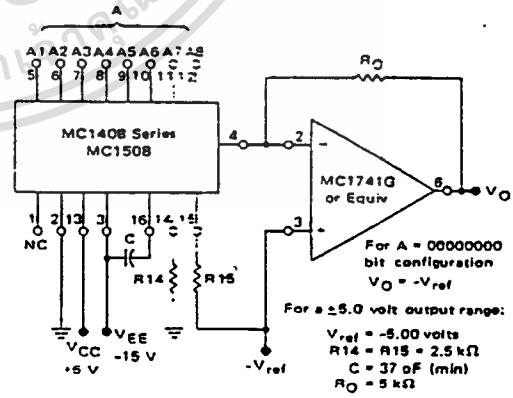
Settling time for a 10-volt step $\approx 1.0 \mu s$

FIGURE 22 — BIPOLAR OR NEGATIVE OUTPUT VOLTAGE CIRCUIT



$$V_O = \frac{V_{ref}}{R_{14}} (R_O) \left[\frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} + \frac{A_4}{16} + \frac{A_5}{32} + \frac{A_6}{64} + \frac{A_7}{128} + \frac{A_8}{256} \right] - \frac{V_{ref}}{R_B} (R_O)$$

FIGURE 23 — BIPOLAR OR INVERTED NEGATIVE OUTPUT VOLTAGE CIRCUIT



For A = 00000000 bit configuration $V_O = -V_{ref}$
 For a ±5.0 volt output range:
 $V_{ref} = -5.00$ volts
 $R_{14} = R_{15} = 2.5 k\Omega$
 $C = 37$ pF (min)
 $R_O = 5 k\Omega$

Bipolar or Negative Output Voltage

The circuit of Figure 22 is a variation from the standard voltage output circuit and will produce bipolar output signals. A positive current may be sourced into the summing node to offset the output voltage in the negative direction. For example, if approximately 1.0 mA is used a bipolar output signal results which may be described as a 8-bit "1's" complement offset binary. V_{ref} may be used as this auxiliary reference. Note that R_O has been doubled to 10 kilohms because of the anticipated 20 V(p-p) output range.

- Decrease R_O to 2.5 kΩ for a 0 to -5.0-volt output range. This application provides somewhat lower speed, as previously discussed in the Output Voltage Range section of the General Information.

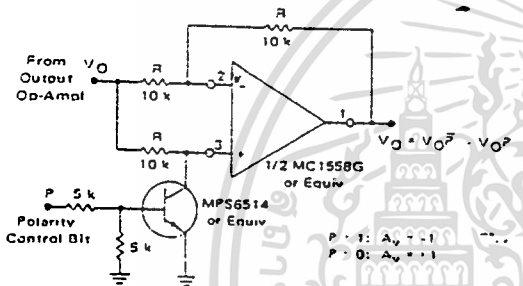
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION (continued)

Polarity Switching Circuit, 8-Bit Magnitude Plus Sign D-to-A Converter

Biolar outputs may also be obtained by using a polarity switching circuit. The circuit of Figure 24 gives 8-bit magnitude plus a sign bit. In this configuration the operational amplifier is switched between a gain of +1.0 and -1.0. Although another operational amplifier is required, no more space is taken when a dual operational amplifier such as the MC1558G is used. The transistor should be selected for a very low saturation voltage and resistance.

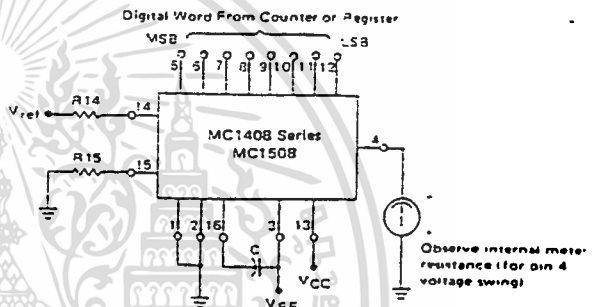
FIGURE 24 — POLARITY SWITCHING CIRCUIT (8-Bit Magnitude Plus Sign D-to-A Converter)



Panel Meter Readout

The MC1408 can be used to read out the status of BCD or binary registers or counters in a digital control system. The current output can be used to drive directly an analog panel meter. External meter shunts may be necessary if a meter of less than 2.0 mA full scale is used. Full scale calibration can be done by adjusting R14 or Vref.

FIGURE 26 — PANEL METER READOUT CIRCUIT



Programmable Gain Amplifier or Digital Attenuator

When used in the multiplying mode the MC1408 can be applied as a digital attenuator. See Figure 25. One advantage of this technique is that if $R_S = 50$ ohms, no compensation capacitor is needed. The small and large signal bandwidths are now identical and are shown in Figure 14.

The best frequency response is obtained by not allowing I14 to reach zero. However, the high impedance node, pin 16, is clamped to prevent saturation and insure fast recovery when the current through R14 goes to zero. R_S can be set for a ± 1.0 mA variation in relation to I14. I14 can never be negative.

The output current is always unipolar. The quiescent dc output current level changes with the digital word which makes ac coupling necessary.

FIGURE 25 — PROGRAMMABLE GAIN AMPLIFIER OR DIGITAL ATTENUATOR CIRCUIT

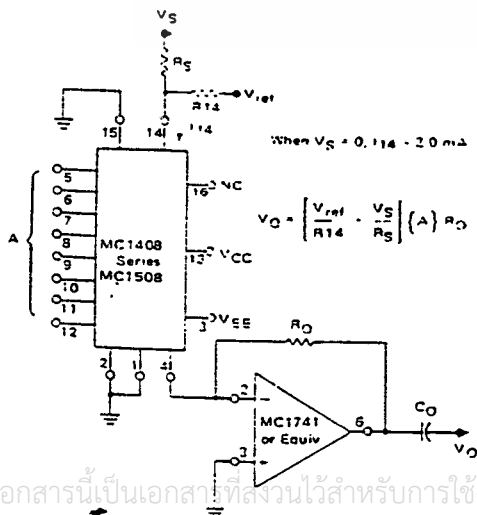
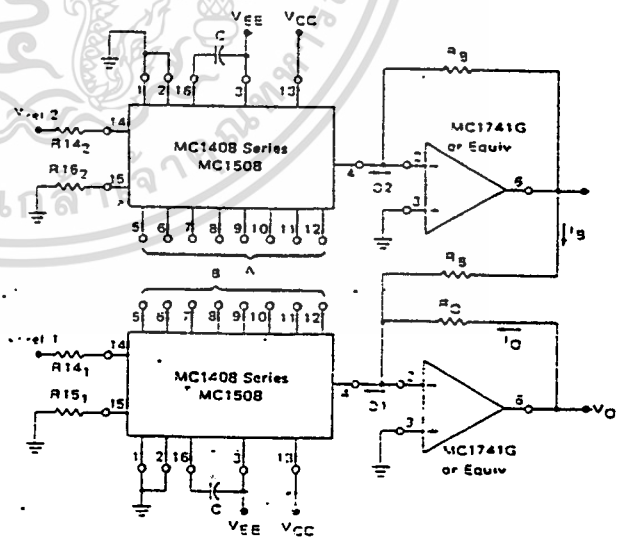


FIGURE 27 — DC COUPLED DIGITAL ATTENUATOR and DIGITAL SUBTRACTION



$V_{ref1} = \frac{V_{ref1}}{R_{141}} (A)$ $V_{ref2} = \frac{V_{ref2}}{R_{142}} (B)$ $I_{S1} = I_{S2} = I_S$
Digital Subtraction: **Programmable Amplifier**
 Let $\frac{V_{ref1}}{R_{141}} = \frac{V_{ref2}}{R_{142}}$ Connect Digital Inputs to A B

$$V_0 = \frac{V_{ref1}}{R_{141}} R_0 [A] - [B] \quad \Rightarrow \quad V_0 = [A] \left[\frac{V_{ref1}}{R_{141}} - \frac{V_{ref2}}{R_{142}} \right]$$

ประวัติผู้เขียน

ร.อ. นพปฎล ชะนะ (ร.น.) เกิดวันที่ 18 กรกฎาคม 2510 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ จบการศึกษาระดับปริญญาตรีในหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต จากโรงเรียนนายเรือ เมื่อปี พ.ศ. 2533 และเข้ารับราชการในตำแหน่ง นายทหารไฟฟ้าอาวุธประจำเรือหลวง ราชฤทธิ์ และเรือหลวง ทยานชล ตามลำดับปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำกองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โรงเรียนนายเรือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้