สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ที่มีต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

A Study of Effects of Harmonics on Three – Phase Induction Machines



โดย

นาย นวนิตย์ หอมเนียม

นาย วิทยา ชัยวงศ์

นาย ศรายุธ จินตนาการ

นาย สิริวัฒน์ กาญจนวิสุทธิ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 45967
วัน, เดือน, ปี 26 ก.พ. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2544

การศึกษาผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ที่มีต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

A Study of Effects of Harmonics on Three – Phase Induction Machines

โดย

นาย นวนิตย์ หอมเนียม

นาย วิทยา ชัยวงศ์

นาย ศรายุธ จินตนาการ

นาย สิริวัฒน์ กาญจนวิสุทธิ์



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. พิชิต ลำยอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ที่มีต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

ผู้จัดทำ

1. นาย นวนิตย์ หอมเนียม
2. นาย วิทยา ชัยวงศ์
3. นาย ศรายุธ จินตนาการ
4. นาย สิริวัฒน์ กาญจนวิสุทธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. พิชิต ลำยอง)

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ที่มีต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

นาย นวนิตย์ หอมเนียม
นายวิทยา ชัยวงศ์
นาย ศรายุธ จินตนาการ
นาย สิริวัฒน์ กาญจนวิสุทธิ์
ผศ. พิชิต ลำยอง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ที่มีต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยการประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดไม่มีแปรงถ่าน มาทำงานร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ในการป้อนศักดาไฟฟ้าที่ไม่เป็นรูปไซน์โดยจะจ่ายศักดาไฟฟ้าที่มีความถี่มูลฐานรวมกับฮาร์โมนิกส์ในอันดับต่างๆ ผลที่ได้จากการทดลองทำให้สามารถทำการวิเคราะห์ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ที่มีต่อเตรื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้อย่างชัดเจนว่า ฮาร์โมนิกส์ที่มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดไม่มีแปรงถ่าน ที่อันดับต่างๆจะส่งผลกระทบอย่างไร และมีการนำเสนอฮาร์โมนิกส์ชนิด 3 เฟสที่มีลำดับเฟสบวก และลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of Effects of Harmonics on Three – Phase Induction Machines

Nawanit Homniam

Wittaya Chaiwong

Sarayut Jintanakarn

Siriwat Kanjanavisut

Asst.Prof Pichit Lumyong Advisor

2001

Abstract

This project presents about analysis the harmonics effects on induction machines by using a brushless reluctance generator and 3 phase voltage source. They will be used to generate non-sinusoidal voltage that consist of the fundamental frequency and the other orders of harmonics content. This voltage will have different number of voltage distortion factor. This method will be able to show how this analysis can be done and identify that a different order of harmonics frequency will cause different effect. This project is also presented a positive and a negative sequence harmonics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	XIX
บทที่ 1 บทนำ	
ความเป็นมา	1
ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	1
บทที่ 2 เครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส	2
2.1 โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส	2
2.2 ความเข้าใจและลักษณะพื้นฐานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส	2
2.2.1 กฎและความเข้าใจที่ต้องใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส	2
2.2.2 ลักษณะพื้นฐานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส	3
2.3 แรงเคลื่อนแม่เหล็กเหนี่ยวนำภายในเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส	3
2.4 แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่มีลักษณะหมุน	6
2.4.1 แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด 1 เฟส	6
2.4.2 แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดหลายเฟส	7
2.5 แรงดันเหนี่ยวนำในเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส	10
2.6 ค่าความเหนี่ยวนำและวงจรสมมูล	13
2.6.1 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดของโรเตอร์	14
2.6.2 ค่าความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์	14
2.6.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสเตเตอร์	15
บทที่ 3 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส	19
3.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.1.1 การกำเนิดแรงบิด 19
3.1.2 วงจรสมมูล 24
บทที่ 4 ฮาร์โมนิกส์ 29
4.1 สาเหตุของฮาร์โมนิกส์ 29
4.2 ฮาร์โมนิกส์และผลกระทบต่อเครื่องจักรไฟฟ้า 29
4.3 ศัพท์และปริมาณต่างๆ 29
4.3.1 ฮาร์โมนิกส์ 29
4.3.2 กระแสฮาร์โมนิกส์ 30
4.3.3 แรงดันฮาร์โมนิกส์ 31
4.3.4 ตัวประกอบความเพี้ยน 32
4.3.5 ลำดับฮาร์โมนิกส์ 32
4.3.6 ตัวประกอบกำลัง 32
4.4 ประเภทของฮาร์โมนิกส์ 33
4.4.1 ฮาร์โมนิกส์คุณลักษณะ 33
4.4.2 ฮาร์โมนิกส์ที่ไม่เกิดจากคุณลักษณะ 34
4.4.3 ฮาร์โมนิกส์ที่สามหารลงตัว 34
4.5 แหล่งกำเนิดและผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า 34
4.5.1 แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ 34
4.5.2 ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ 35
4.6 วิธีแก้ปัญหาของฮาร์โมนิกส์ 35

บทที่ 5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบรีลัคแตนซ์ชนิดไม่มีแปรงถ่าน 36
หลักการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ 36

บทที่ 6 วงจรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 40
6.1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง 40
6.2 วิธีการทดลอง 41

บทที่ 7 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 42
7.1 No Load Test 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
7.2 Impedance Test	43
7.3 Test Method C/F,E/F,or E1/F1	44
บทที่ 8 ผลการทดลอง	50
8.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า	50
8.2 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า	67
8.3 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 5 แรงม้า	84
8.4 การเปรียบเทียบการคำนวณกับการทดลอง	
8.4.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า	101
8.4.2 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า	111
8.4.3 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 5 แรงม้า	120
บทที่ 9 สรุปผลการทดลอง	129
ปัญหาที่พบในการทดลอง	130
ข้อแนะนำ	130
แนวทางในการศึกษาต่อ	131
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 5 แรงม้า	
ภาคผนวก ข ตารางการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า	
ภาคผนวก ค ตารางการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	การเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าและกำลังกล	3
รูปที่ 2.2	ลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กซึ่งเกิดจากขดลวด 1 ชุด	4
รูปที่ 2.3	แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด 1 เฟส	5
รูปที่ 2.4	ขดลวดบนสเตเตอร์ 3 เฟส 2 ขั้ว	8
รูปที่ 2.5	เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส	10
รูปที่ 2.6	เครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสแบบขั้วนอนซาเลียน	13
รูปที่ 2.7	วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส	17
รูปที่ 2.8	วงจรสมมูลเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสรูปของลีดเกจรีแอคแตนซ์	18
รูปที่ 3.1	ลักษณะการวางขดลวดของมอเตอร์ 3 เฟส 2ขั้ว	19
รูปที่ 3.2	การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน	20
รูปที่ 3.3	โรเตอร์ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็กหมุน	20
รูปที่ 3.4	หลักการเกิดกระแสเหนี่ยวนำและแรงบิดบนโรเตอร์	21
รูปที่ 3.5	การเกิดแรงบิดเนื่องจากสนามแม่เหล็กในช่องว่างอากาศ	23
รูปที่ 3.6	วงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำ	25
รูปที่ 3.7	เฟสเซอร์ไดอะแกรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	26
รูปที่ 3.8	การคิดองศาไฟฟ้า	27
รูปที่ 4.1	รูปแบบของระบบไฟฟ้าและโหลดที่ความถี่มูลฐาน	30
รูปที่ 4.2	รูปแบบของระบบไฟฟ้าและโหลดที่ความถี่มูลฮาร์โมนิกส์	30
รูปที่ 4.3	การต่อคาปาซิเตอร์ขนานเข้าไปในระบบ	31
รูปที่ 4.4	การควบคุมกระแสที่ไหลผ่านโหลดแบบ Integral Cycle Control	33
รูปที่ 5.1	โครงสร้างของ BSRG 16 ขั้ว	36
รูปที่ 5.2	แสดงขดลวดของ BSRG	37
รูปที่ 5.3	แสดงลำดับเฟสบวกของ BSRG	37
รูปที่ 5.4	แสดงลำดับเฟสลบของ BSRG	38
รูปที่ 5.5	แผนภูมิการต่อ BSRG เข้ากับระบบไฟฟ้า	39
รูปที่ 6.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวเหนี่ยวนำ	40
รูปที่ 7.1	วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า	46
รูปที่ 7.2	วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า	46

เอกสารนี้ใช้เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
รูปที่ 7.3	วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 5 แรงม้า	46
รูปที่ 8.1.1	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 3,VDF 10 % ลำดับเฟสลบ	51
รูปที่ 8.1.2	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,VDF 10 % ลำดับเฟสบวก	51
รูปที่ 8.1.3	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 5,VDF 10 % ลำดับเฟสลบ	52
รูปที่ 8.1.4	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 10,VDF 10 % ลำดับเฟสบวก	52
รูปที่ 8.1.5	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,VDF 15 % ลำดับเฟสลบ	53
รูปที่ 8.1.6	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 7,VDF 15 % ลำดับเฟสบวก	53
รูปที่ 8.1.7	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 5,VDF 15 % ลำดับเฟสลบ	54
รูปที่ 8.1.8	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 8,VDF 15 % ลำดับเฟสบวก	54
รูปที่ 8.1.9	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 5,VDF 20 % ลำดับเฟสลบ	55
รูปที่ 8.1.10	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 11,VDF 20 % ลำดับเฟสบวก	55
รูปที่ 8.1.11	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 3,VDF 20 % ลำดับเฟสลบ	56
รูปที่ 8.1.12	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,VDF 20 % ลำดับเฟสบวก	56
รูปที่ 8.1.13	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,VDF 25 % ลำดับเฟสลบ	57
รูปที่ 8.1.14	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 9,VDF 25 % ลำดับเฟสบวก	57
รูปที่ 8.1.15	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,VDF 25 % ลำดับเฟสลบ	58
รูปที่ 8.1.16	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 11,VDF 25 % ลำดับเฟสบวก	58
รูปที่ 8.1.17	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 2,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	59
รูปที่ 8.1.18	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 5,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	59
รูปที่ 8.1.19	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 10,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	59
รูปที่ 8.1.20	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 3,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	60
รูปที่ 8.1.21	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 6,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	60
รูปที่ 8.1.22	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 11,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 8.1.23	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 4,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	61
รูปที่ 8.1.24	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 7,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	61
รูปที่ 8.1.25	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 10,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	61
รูปที่ 8.1.26	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 5,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	62
รูปที่ 8.1.27	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 8,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	62
รูปที่ 8.1.28	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 11,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	62
รูปที่ 8.1.29	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 2,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	63
รูปที่ 8.1.30	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 7,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	63
รูปที่ 8.1.31	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 11,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	63
รูปที่ 8.1.32	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 3,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	64
รูปที่ 8.1.33	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 6,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	64
รูปที่ 8.1.34	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 10,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	64
รูปที่ 8.1.35	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 3,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	65
รูปที่ 8.1.36	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 7,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	65
รูปที่ 8.1.37	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 11,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 8.1.38	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 4,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	66
รูปที่ 8.1.39	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 7,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	66
รูปที่ 8.1.40	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 10,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	66
รูปที่ 8.2.1	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,VDF 10 % ลำดับเฟสลบ	68
รูปที่ 8.2.2	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 9,VDF 10 % ลำดับเฟสบวก	68
รูปที่ 8.2.3	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,VDF 10 % ลำดับเฟสลบ	69
รูปที่ 8.2.4	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 7,VDF 10 % ลำดับเฟสบวก	69
รูปที่ 8.2.5	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 5,VDF 15 % ลำดับเฟสลบ	70
รูปที่ 8.2.6	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,VDF 15 % ลำดับเฟสบวก	70
รูปที่ 8.2.7	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,VDF 15 % ลำดับเฟสลบ	71
รูปที่ 8.2.8	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 11,VDF 15 % ลำดับเฟสบวก	71
รูปที่ 8.2.9	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,VDF 20 % ลำดับเฟสลบ	72
รูปที่ 8.2.10	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,VDF 20 % ลำดับเฟสบวก	72
รูปที่ 8.2.11	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 5,VDF 20 % ลำดับเฟสลบ	73
รูปที่ 8.2.12	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 8,VDF 20 % ลำดับเฟสบวก	73
รูปที่ 8.2.13	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,VDF 25 % ลำดับเฟสลบ	74
รูปที่ 8.2.14	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 11,VDF 25 % ลำดับเฟสบวก	74
รูปที่ 8.2.15	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,VDF 25 % ลำดับเฟสลบ	75
รูปที่ 8.2.16	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 10,VDF 25 % ลำดับเฟสบวก	75
รูปที่ 8.2.17	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 2,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	76
รูปที่ 8.2.18	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 5,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	76
รูปที่ 8.2.19	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 9,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	76
รูปที่ 8.2.20	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 2,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 8.2.21	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 6,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	77
รูปที่ 8.2.22	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 11,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	77
รูปที่ 8.2.23	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 3,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	78
รูปที่ 8.2.24	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 6,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	78
รูปที่ 8.2.25	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 10,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	78
รูปที่ 8.2.26	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 4,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	79
รูปที่ 8.2.27	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 6,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	79
รูปที่ 8.2.28	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 9,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	79
รูปที่ 8.2.29	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 3,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	80
รูปที่ 8.2.30	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 7,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	80
รูปที่ 8.2.31	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 9,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	80
รูปที่ 8.2.32	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 2,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	81
รูปที่ 8.2.33	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 5,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	81
รูปที่ 8.2.34	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 10,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 8.2.35	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 3,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	82
รูปที่ 8.2.36	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 8,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	82
รูปที่ 8.2.37	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 11,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	82
รูปที่ 8.2.38	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 4,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	83
รูปที่ 8.2.39	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 7,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	83
รูปที่ 8.2.40	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 10,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	83
รูปที่ 8.3.1	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 5,VDF 10 % ลำดับเฟสลบ	85
รูปที่ 8.3.2	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 9,VDF 10 % ลำดับเฟสบวก	85
รูปที่ 8.3.3	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 7,VDF 10 % ลำดับเฟสลบ	86
รูปที่ 8.3.4	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 10,VDF 10 % ลำดับเฟสบวก	86
รูปที่ 8.3.5	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,VDF 15 % ลำดับเฟสลบ	87
รูปที่ 8.3.6	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 9,VDF 15 % ลำดับเฟสบวก	87
รูปที่ 8.3.7	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 8,VDF 15 % ลำดับเฟสลบ	88
รูปที่ 8.3.8	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 2,VDF 15 % ลำดับเฟสบวก	88
รูปที่ 8.3.9	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,VDF 20 % ลำดับเฟสลบ	89
รูปที่ 8.3.10	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 11,VDF 20 % ลำดับเฟสบวก	89
รูปที่ 8.3.11	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 5,VDF 20 % ลำดับเฟสลบ	90
รูปที่ 8.3.12	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 8,VDF 20 % ลำดับเฟสบวก	90
รูปที่ 8.3.13	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,VDF 25 % ลำดับเฟสลบ	91
รูปที่ 8.3.14	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 11,VDF 25 % ลำดับเฟสบวก	91
รูปที่ 8.3.15	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,VDF 25 % ลำดับเฟสลบ	92
รูปที่ 8.3.16	การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 10,VDF 25 % ลำดับเฟสบวก	92
รูปที่ 8.3.17	เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 2,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 8.3.18 เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 5,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 93

รูปที่ 8.3.19 เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 9,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 93

รูปที่ 8.3.20 เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 3,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 94

รูปที่ 8.3.21 เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 7,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 94

รูปที่ 8.3.22 เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 10,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 94

รูปที่ 8.3.23 เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 3,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 95

รูปที่ 8.3.24 เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 5,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 95

รูปที่ 8.3.25 เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 11,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 95

รูปที่ 8.3.26 เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 4,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 96

รูปที่ 8.3.27 เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 8,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 96

รูปที่ 8.3.28 เปรียบเทียบกระแสอินพุทลำดับ 11,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 96

รูปที่ 8.3.29 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 2,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 97

รูปที่ 8.3.30 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 6,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 97

รูปที่ 8.3.31 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 9,VDF 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 97

รูปที่ 8.3.32 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 2,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน 98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 8.3.33	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 5,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	98
รูปที่ 8.3.34	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 10,VDF 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	98
รูปที่ 8.3.35	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 3,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	99
รูปที่ 8.3.36	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 8,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	99
รูปที่ 8.3.37	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 11,VDF 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	99
รูปที่ 8.3.38	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 4,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	100
รูปที่ 8.3.39	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 7,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	100
รูปที่ 8.3.40	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 11,VDF 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน	100
รูปที่ 8.4.1.1	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 2,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ	103
รูปที่ 8.4.1.2	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 5,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ	103
รูปที่ 8.4.1.3	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 10,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก	103
รูปที่ 8.4.1.4	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก	104
รูปที่ 8.4.1.5	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 7,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ	104
รูปที่ 8.4.1.6	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 10,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ	104
รูปที่ 8.4.1.7	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 8.4.1.8	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 7,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ	105
รูปที่ 8.4.1.9	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 10,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ	105
รูปที่ 8.4.1.10	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก	106
รูปที่ 8.4.1.11	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 6,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ	106
รูปที่ 8.4.1.12	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 9,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ	106
รูปที่ 8.4.1.13	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก	107
รูปที่ 8.4.1.14	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 7,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ	107
รูปที่ 8.4.1.15	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 10,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ	107
รูปที่ 8.4.1.16	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ	108
รูปที่ 8.4.1.17	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 7,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก	108
รูปที่ 8.4.1.18	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 10,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก	108
รูปที่ 8.4.1.19	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก	109
รูปที่ 8.4.1.20	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 7,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ	109
รูปที่ 8.4.1.21	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 11,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ	109
รูปที่ 8.4.1.22	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
รูปที่ 8.4.1.23	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 7,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ	110
รูปที่ 8.4.1.24	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 11,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ	110
รูปที่ 8.4.2.1	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก	112
รูปที่ 8.4.2.2	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 7,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ	112
รูปที่ 8.4.2.3	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 10,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก	112
รูปที่ 8.4.2.4	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก	113
รูปที่ 8.4.2.5	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 8,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ	113
รูปที่ 8.4.2.6	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 11,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ	113
รูปที่ 8.4.2.7	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก	114
รูปที่ 8.4.2.8	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 5,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ	114
รูปที่ 8.4.2.9	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 8,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ	114
รูปที่ 8.4.2.10	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก	115
รูปที่ 8.4.2.11	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 7,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก	115
รูปที่ 8.4.2.12	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 9,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ	115
รูปที่ 8.4.2.13	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 2,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ	116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 8.4.2.14	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 5,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก	116
รูปที่ 8.4.2.15	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 9,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ	116
รูปที่ 8.4.2.16	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ	117
รูปที่ 8.4.2.17	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 7,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก	117
รูปที่ 8.4.2.18	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 10,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ	117
รูปที่ 8.4.2.19	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ	118
รูปที่ 8.4.2.20	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 6,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก	118
รูปที่ 8.4.2.21	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 10,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ	118
รูปที่ 8.4.2.22	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก	119
รูปที่ 8.4.2.23	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 7,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก	119
รูปที่ 8.4.2.24	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 11,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ	119
รูปที่ 8.4.3.1	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก	121
รูปที่ 8.4.3.2	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 7,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก	121
รูปที่ 8.4.3.3	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 11,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ	121
รูปที่ 8.4.3.4	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 2,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 8.4.3.5	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 5,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ	122
รูปที่ 8.4.3.6	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 8,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ	122
รูปที่ 8.4.3.7	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก	123
รูปที่ 8.4.3.8	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 7,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ	123
รูปที่ 8.4.3.9	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 10,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ	123
รูปที่ 8.4.3.10	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ	124
รูปที่ 8.4.3.11	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 8,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ	124
รูปที่ 8.4.3.12	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 11,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก	124
รูปที่ 8.4.3.13	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 2,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ	125
รูปที่ 8.4.3.14	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 6,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ	125
รูปที่ 8.4.3.15	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 9,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก	125
รูปที่ 8.4.3.16	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก	126
รูปที่ 8.4.3.17	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 5,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ	126
รูปที่ 8.4.3.18	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 9,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก	126
รูปที่ 8.4.3.19	เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8.4.3.20 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 6,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ 127

รูปที่ 8.4.3.21 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 10,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ 127

รูปที่ 8.4.3.22 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก 129

รูปที่ 8.4.3.23 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 6,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ 129

รูปที่ 8.4.3.24 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 10,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ 129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 7.1	Assume values for stray load loss	43
ตารางที่ 7.2	Specified Temperature	45
ตารางที่ 7.3.1	Form F3 – Methods F,F1,C/F,E/F, and E/F1 (มอเตอร์ 1 HP)	46
ตารางที่ 7.3.2	Form F3 – Methods F,F1,C/F,E/F, and E/F1 (มอเตอร์ 3 HP)	47
ตารางที่ 7.3.3	Form F3 – Methods F,F1,C/F,E/F, and E/F1 (มอเตอร์ 5 HP)	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

ความเป็นมา

เนื่องจากในปัจจุบันงานอุตสาหกรรมได้นิยมใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทไม่เป็นเชิงเส้นมากขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นตัวทำให้เกิดมลภาวะทางไฟฟ้าหรือ ฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้น ทำให้แรงดันและกระแสในระบบมีขนาดและรูปคลื่นเพี้ยนไปจากเดิมที่ความถี่มูลฐานซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์ในระบบทำงานผิดพลาดหรือได้รับความเสียหาย จึงเป็นที่มาของการศึกษาผลกระทบของฮาร์โมนิกส์จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะมีผลกระทบอย่างไรต่อการใช้งานเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ในการศึกษาผลกระทบของฮาร์มอนิกส์ที่มีต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ในปัจจุบันนั้นเป็นการศึกษาที่อินเวอร์เตอร์ 3 เฟสจะใช้เทคนิคของอิเล็กทรอนิกส์กำลังซึ่งเทคนิคดังกล่าวมักมีปัญหาเกี่ยวกับการกำหนดขนาด และลำดับของฮาร์โมนิกส์เนื่องจากอาจมีฮาร์โมนิกส์อันดับอื่นๆเข้ามาปะปน ทำให้ไม่สามารถได้รับคำตอบอย่างชัดเจนว่าที่ฮาร์โมนิกส์อันดับต่างๆจะส่งผลกระทบต่อมอเตอร์ได้มากน้อยแตกต่างกันอย่างไร

ดังนั้นโครงงานนี้จึงนำเสนอเกี่ยวกับการศึกษาผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ที่มีต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยใช้เทคนิคของเครื่องกำเนิดซิงโครนัสแบบรีลัคแทนซ์ชนิดไม่มีแปรงถ่าน (BSRG) มาทำงานร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับสร้างแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าที่ไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ วิธีการนี้สามารถที่จะควบคุมเพื่อให้ได้การเรียงลำดับเฟสของฮาร์โมนิกส์ในทิศทางบวก หรือลบ ก็ได้ ซึ่งฮาร์โมนิกส์ที่จ่ายเข้าไปนั้นนอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงอันดับต่างๆแล้วยังมีการปรับระดับแรงดันของฮาร์โมนิกส์ที่ระดับต่างๆอีกด้วย

ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับ การศึกษาผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ที่มีต่อเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสชนิดโรเตอร์กรงกระรอก ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า, 3 แรงม้า และ 5 แรงม้า โดยทำการศึกษาที่ VDF ต่างๆกัน และมองถึงผลกระทบที่มีต่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในด้านกำลังไฟฟ้าป้อนเข้า กระแสป้อนเข้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
เครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัสมีลักษณะการใช้งาน 2 แบบคือ

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (Synchronous Generators)
2. มอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัส (Synchronous Motors)

ในส่วนที่จะกล่าวถึงในบทจะเน้นการใช้งานเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส

สเตเตอร์

เป็นส่วนที่อยู่กับที่โดยที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสจะถูกพันเอาไว้บนสเตเตอร์

โรเตอร์

เป็นส่วนหมุน ซึ่งขดลวดสนาม (Field winding) พันอยู่ โรเตอร์มี 2 ลักษณะ

1. โรเตอร์แบบขั้วซาเลียน (Salint pole) ขั้วแม่เหล็กจะยื่นออกมาจากแกนของโรเตอร์
2. โรเตอร์แบบขั้วนอนซาเลียน (Non-salient pole or Cylindrical rotor) ขั้วแม่เหล็กจะเรียบไปกับโรเตอร์

ขดลวดหน่วง

จะมีอยู่ในโรเตอร์แบบขั้วซาเลียนใช้เพื่อแก้การ Hunting ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส

เอ็กซ์ไซเตอร์

เป็นตัวจ่ายไฟกระแสตรงเข้าที่ขดลวดสนามของเครื่องจักรซิงโครนัส เพื่อสร้างขั้วแม่เหล็ก

2.2 ความเข้าใจและลักษณะพื้นฐานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส

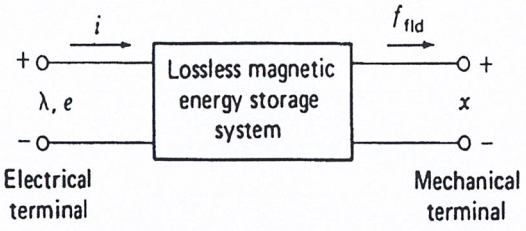
2.2.1 กฎและความเข้าใจที่ต้องใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส

$$e = \frac{d\lambda}{dt} \qquad (2.1)$$

1. กฎของฟาราเดย์ ดังในสมการ 2.1 ซึ่งแสดงให้เข้าใจถึงแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเปลี่ยน แปลงตามเวลาของสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเปลี่ยนรูประหว่างกำลังไฟฟ้าและกลซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อฟลักซ์มีการเปลี่ยนแปลงและมีการ เคลื่อนที่ทางกล ดังแสดงในรูป 2.1



รูป 2.1 การเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าและกำลังงานกล

3. เมื่อมีสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ต่อกัน จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดตัวนำ

2.2.2 ลักษณะพื้นฐานของเครื่องจักรกลซิงโครนัส

โดยปกติขดลวดอาร์เมเจอร์จะถูกพันอยู่บนสเตเตอร์ และขดลวดสนามจะถูกพันอยู่บนโรเตอร์โดยขดลวดสนามจะถูกต่ออยู่กับแรงดันไฟตรง

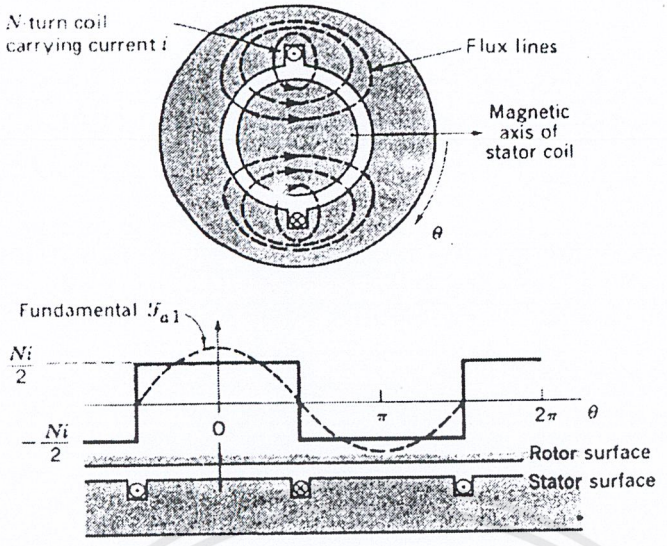
ในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแก่โหลด จะมีกระแสไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ ทำให้เกิดฟลักซ์ขึ้นในช่องอากาศ และฟลักซ์หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส (Synchronous speed) ฟลักซ์ที่เกิดขึ้นมีผลหักล้างกับฟลักซ์ที่เกิดจากขดลวดสนาม และจากการที่สนามแม่เหล็กทั้ง 2 (จากขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดสนาม) ทำมุมกัน จึงทำให้เกิดแรงบิดภายในขึ้นที่โรเตอร์ โดยมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงบิดภายนอกจากเครื่องต้นกำลัง ดังนั้นเพื่อให้โรเตอร์หมุนและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อไปได้ เครื่องต้นกำลังจึงต้องจ่ายกำลังงานกล (แรงบิด) เพิ่ม ในขณะที่โหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเพิ่มขึ้น

2.3 แรงเคลื่อนแม่เหล็กเหนี่ยวนำภายในเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส

ขดลวดที่พันอยู่บนสเตเตอร์มีหลายชุดและถูกจัดเรียงอยู่โดยรอบช่องอากาศโดยที่ขดลวดแต่ละชุดถูกต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กมีจำนวนขั้วตามที่ต้องการ

การศึกษาสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจากขดลวดหลายชุดทำได้โดยการพิจารณาขดลวดชุดเดียวซึ่งมีจำนวน N รอบ และด้านทั้ง 2 ของขดลวดห่างกัน 180 องศาไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า full-pitch-coil เช่นที่แสดงในรูป 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.2 ลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กซึ่งเกิดจากขดลวด 1 ชุด , N รอบ ด้านทั้ง 2 ของขดลวดห่างกัน 180 องศาไฟฟ้า

ทิศทางของสนามแม่เหล็กเป็นไปตามกฎมือขวาและเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นแม่เหล็กของส่วนที่เป็นโลหะมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับอากาศดังนั้นจึงสมมุติได้ว่าความต้านทานแม่เหล็กภายในวงจรแม่เหล็กจะมีค่าเฉพาะในช่องอากาศ

เนื่องจากโครงสร้างของสเตเตอร์สมมาตร สนามแม่เหล็กในช่องอากาศที่มุม θ ภายใต้ขั้วหนึ่งจะมีขนาดเท่ากันกับที่มุม $\pi+\theta$ ซึ่งอยู่ภายใต้ขั้วตรงข้าม โดยสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งทั้งสองมีทิศทางตรงกันข้ามกัน

แรงเคลื่อนแม่เหล็กโดยรอบเส้นทางปิด ซึ่งแสดงด้วยเส้นฟลักซ์ (ดังรูป 2.2) มีค่าเท่ากับ Ni และจากสมมติฐานที่กำหนดให้ความต้านทานทางแม่เหล็กในส่วนที่เป็นโลหะต่ำ ดังนั้นเทอม $\oint Hdl$ ในส่วนที่เป็นโลหะจึงมีค่าเกือบเป็นศูนย์

ดังนั้นการสูญเสียแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดขึ้นภายในวงจรแม่เหล็กจึงมีเฉพาะในช่องอากาศเท่านั้น ในการออกแบบเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับขดลวดจะถูกออกแบบจัดวางอย่างเหมาะสม เพื่อให้แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์มากที่สุด

เมื่อพิจารณาคลื่นของแรงเคลื่อนแม่เหล็กเช่นที่แสดงในรูป 2.2 ซึ่งเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม และเมื่อวิเคราะห์ด้วยอนุกรมฟูริเยร์ก็จะพบว่าประกอบด้วยส่วนของความถี่มูลฐานและส่วนฮาร์โมนิกส์คี่ ส่วนความถี่มูลฐาน ($\mathcal{F}_{a1}$) จากการวิเคราะห์จะมีค่าเท่ากับ

$$\mathcal{F}_{a1} = \frac{4}{\pi}\frac{Ni}{2}\cos\theta \qquad (2.2)$$

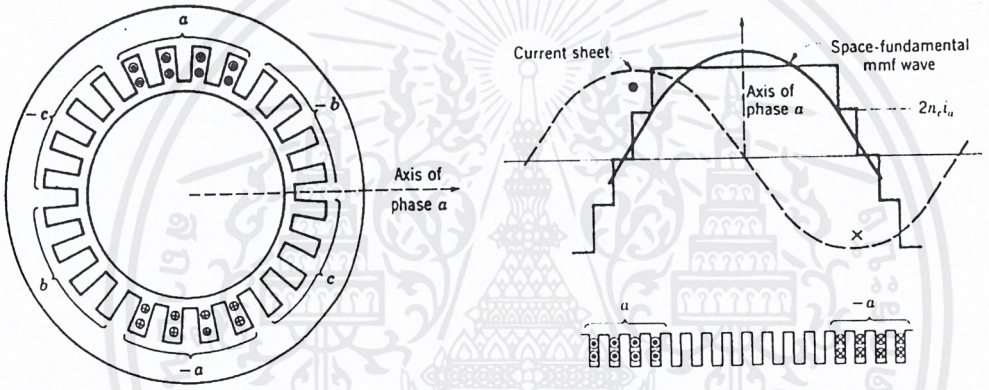
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ θ เป็นมุมที่วัดจากแกนของขดลวด ซึ่งส่วนความถี่มูลฐานนี้เป็นคลื่นที่มีขนาด $F_{1,PEAK}$ อยู่ในแนวแกนสนามแม่เหล็กของขดลวด

$$F_{1,peak} = \frac{4}{\pi}\frac{Ni}{2} \tag{2.3}$$

การศึกษาผลที่เกิดจากขดลวดที่วางอยู่ในหลายช่อง เช่นรูป 2.3 ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิด 2 ขั้ว 3 เฟส เป็นดังนี้

ขดลวดแต่ละเฟสมีคุณลักษณะเหมือนกัน และถูกจัดวางเพื่อให้แนวแกนแม่เหล็กที่เกิดจากแต่ละเฟสทำมุมกัน 120 องศาไฟฟ้า



รูป 2.3 แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด 1 เฟส ขดลวดจำนวน 3 เฟสถูกจัดวางเพื่อให้เกิด สนามแม่เหล็ก 2 ขั้ว และด้านทั้งสองของขดลวดแต่ละชุดห่างกัน 180 องศาไฟฟ้า

ในรูป 2.3 ขดลวดถูกจัดวางเป็น 2 ชั้น ขดลวดแต่ละชุดมีจำนวน N รอบ กระแส i ไหลผ่าน ซึ่งทำให้เกิดคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่มีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์มากขึ้นกว่าที่แสดงในรูป 2.2

ส่วนความถี่มูลฐานของคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กในกรณีที่ขดลวดถูกออกแบบจัดวางให้เกิดสนามแม่เหล็ก P ขั้ว โดยที่มีขดลวดจำนวน N_{ph} รอบ ต่ออนุกรมกันในแต่ละเฟส คือ

$$\Im_{a1} = \frac{4}{\pi} k_w \frac{N_{ph}}{P} i_a \cos\theta \tag{2.4}$$

โดยที่เทอม $4/\pi$ มาจากการใช้อนุกรมฟูริเยร์วิเคราะห์คลื่น mmf ลักษณะสามเหลี่ยมที่เกิดจากด้านของขดลวดที่วางห่างกัน 180 องศาทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K_W : ค่า Winding factor มีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวางขดลวด

i_a : คือ กระแสในเฟส A

ดังนั้น K_W และ N_{Ph} คือ จำนวนรอบประสิทธิผลที่ต่ออนุกรมกันในแต่ละเฟส ซึ่งทำให้เกิดส่วนความถี่มูลฐานของคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็ก

ส่วนความถี่มูลฐานของคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กนี้ จะเท่ากับแรงเคลื่อนแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดจากแผ่นกระแสสมมูลที่มีลักษณะการจัดวางแบบรูปคลื่นไซน์ เช่นที่แสดงในรูป 2.3

คลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดขึ้นดังกล่าวที่ผ่านมา มีลักษณะเป็น Standing wave กระจายอยู่ในช่องอากาศแบบโคไซน์ ขนาดสูงสุดของส่วนความถี่มูลฐาน($F_{\max}$) คือ

$$F_{\max} = \frac{4}{\pi} k_w \frac{N_{ph}}{P} I_m \tag{2.5}$$

โดยที่ I_m คือ ขนาดสูงสุดของกระแส $i_a = I_m \cos\omega t$ และ $F_{\max}$ อยู่ในแนวแกนสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดเฟส A

ด้วยหลักการเดียวกันขดลวดที่พันอยู่บนโรเตอร์ก็จะถูกออกแบบจัดวางเพื่อให้คลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ให้มากที่สุดเพื่อให้การลดส่วนฮาร์โมนิกส์ ซึ่งขดลวดในแต่ละช่องอาจจะมีจำนวนรอบต่างกัน เช่น ขดลวดที่อยู่ใกล้บริเวณผิวขั้ว จะมีจำนวนรอบน้อยกว่าขดลวดชุดอื่นๆ ที่อยู่ในช่องอื่น

2.4 แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่มีลักษณะหมุน

เพื่อที่จะให้เข้าใจทฤษฎีและการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าหลายเฟสได้ดีจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะของคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดหลายเฟสด้วย

ในขั้นแรกจะวิเคราะห์คลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กจากขดลวด 1 เฟส ในเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบ 2 ขั้วหรือคู่ขั้วใดๆ ในเครื่องจักรไฟฟ้าแบบ P ขั้วก่อน ซึ่งเป็นพื้นฐาน และช่วยให้เข้าใจระบบ 3 เฟส ได้ดีขึ้น

2.4.1 แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด 1 เฟส

เมื่อกระแสซึ่งแปรผันตามเวลาแบบรูปคลื่นไซน์

$$i_a = I_m \cos\omega t \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลผ่านขดลวด 1 เฟส จะทำให้เกิดคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็ก ($\Im_{a1}$) ตามสมการ 2.4 ดังนี้

$$\Im_{a1} = \frac{4}{\pi} k_w \frac{N_{ph}}{P} i_a \cos\omega t \cos\theta \qquad (2.7)$$

ขนาดสูงสุดของคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็ก ($F_{\max}$) คือ

$$F_{\max} = \frac{4}{\pi} k_w \frac{N_{ph}}{P} I_a \qquad (2.8)$$

นั่นคือ

$$\Im_{a1} = (F_{\max} \cos\theta)\cos\omega t \qquad (2.9)$$

$$\Im_{a1} = F_{\max}[\frac{1}{2}\cos(\theta - \omega t) + \frac{1}{2}\cos(\theta + \omega t)] \qquad (2.10)$$

จะเห็นได้ว่าคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากการที่ขดลวด 1 เฟส ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

$$\Im^{+} = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta - \omega t) \qquad (2.11)$$

$$\Im^{-} = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta + \omega t) \qquad (2.12)$$

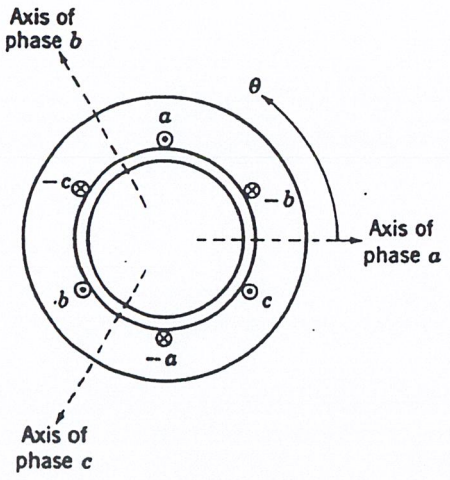
ซึ่ง $\Im^{+}$ และ $\Im^{-}$ เป็นคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่มีลักษณะหมุน มีขนาดเท่ากันคือ $F_{\max}/2$ และหมุนในทิศทางตรงข้ามกันคือ $\Im^{+}$ หมุนในทิศทาง $+\theta$ และ $\Im^{-}$ หมุนไปในทิศทาง $-\theta$ ด้วยความเร็วเชิงมุม (ω) เท่ากัน

2.4.2 แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดหลายเฟส

ในหัวข้อนี้จะเลือกวิเคราะห์จากขดลวด 3 เฟส เช่นที่อยู่บนสเตเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสและเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction manchine) โดยในที่นี้จะวิเคราะห์จากเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบ 2 ขั้ว หรือจากคู่ขั้วใดๆ ในเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบ P ขั้ว

ในเครื่องจักรกลไฟฟ้า 3 เฟส ขดลวดแต่ละเฟสแยกจากกันและห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า เช่นที่แสดงในรูป 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.4 ขดลวดบนสเตเตอร์ 3 เฟส 2 ขั้ว

โดยคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดแต่ละเฟส ก็จะต่างมุมกัน 120 องศาไฟฟ้า ด้วยขดลวดเฟส A , B และ C มีกระแสไหลผ่านตามลำดับเฟส A , B และ C

$$i_a = I_m \cos\omega t \tag{2.13}$$

$$i_b = I_m \cos(\omega t - 120) \tag{2.14}$$

$$i_c = I_m \cos(\omega t - 240) \tag{2.15}$$

จากสมการ 2.10 , 2.11 และ 2.12

$$\mathfrak{I}_{a1} = \mathfrak{I}^{+}_{a1} + \mathfrak{I}^{-}_{a1} \tag{2.16}$$

โดยที่

$$\mathfrak{I}^{+}_{a1} = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta - \omega t) \tag{2.17}$$

$$\mathfrak{I}^{-}_{a1} = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta + \omega t) \tag{2.18}$$

$$F_{\max} = \frac{4}{\pi} k_w \frac{N_{ph}}{P} I_a \tag{2.19}$$

ในทำนองเดียวกัน

$$\mathfrak{I}_{b1} = \mathfrak{I}^{+}_{b1} + \mathfrak{I}^{-}_{b1} \tag{2.20}$$

$$\mathfrak{I}^{+}_{b1} = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta - \omega t) \tag{2.21}$$

$$\mathfrak{I}^{-}_{b1} = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta + \omega t + 120) \tag{2.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Im_{c1}^{+} = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta - \omega t) \qquad (2.24)$$

$$\Im_{c1}^{-} = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta + \omega t - 120) \qquad (2.25)$$

ผลรวมคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็ก $(\Im(\theta,t))$ คือ

$$\Im(\theta,t) = \Im_{a1} + \Im_{b1} + \Im_{c1} \qquad (2.26)$$

$$\Im(\theta,t) = \Im^{+}(\theta,t) + \Im^{-}(\theta,t) \qquad (2.27)$$

โดยที่ $\Im^{+}$ เป็น คลื่นที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางบวก หรือ Positive – traveling wave

โดยที่ $\Im^{-}$ เป็น คลื่นที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางลบ หรือ Negative – traveling wave

ซึ่ง

$$\Im^{-}(\theta,t) = \Im^{-}_{a1} + \Im^{-}_{b1} + \Im^{-}_{c1} = 0 \qquad (2.28)$$

$$\Im^{+}(\theta,t) = \Im^{+}_{a1} + \Im^{+}_{b1} + \Im^{+}_{c1} \qquad (2.29)$$

$$= \frac{3}{2} F_{\max} \cos(\theta - \omega t) \qquad (2.30)$$

นั่นคือ เมื่อขดลวด 3 เฟส วางห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า มีกระแส 3 เฟส ต่างมุมกัน 120 องศาไฟฟ้า ไหลผ่าน จะทำให้เกิดคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็ก เฉพาะส่วนที่เป็น Positive – traveling wave

$$\Im\,(\theta,t) = \frac{3}{2} F_{\max} \cos(\theta - \omega t) \qquad (2.31)$$

ซึ่งเป็นคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็ก เมื่อเทียบกับมุม θ ขนาด $(3/2)F_{\max}$ คงที่ และมีเฟส ωt มีลักษณะเชิงเส้นเมื่อเทียบกับเวลา

เทอม ωt แสดงให้เห็นถึงการหมุนของคลื่นไปรอบช่องอากาศด้วยความเร็วเชิงมุม ω ในกรณีที่เครื่องจักรกลไฟฟ้ามีขั้ว P ขั้ว ความเร็วเชิงมุมทางกล

$$\omega_m = \frac{2}{P}\omega \qquad rad/\sec \qquad (2.32)$$

$$n = \frac{120f}{P} \qquad rev/\min \qquad (2.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

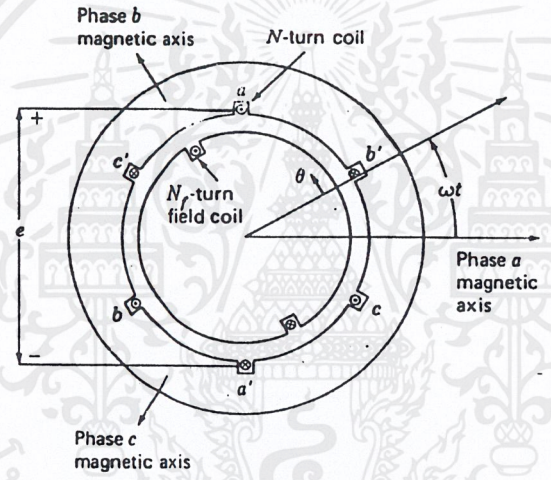
โดยทั่วไปสำหรับขดลวด q เฟส มีกระแส q เฟส ที่สมดุลไหลผ่าน โดยที่แต่ละเฟสห่างกัน $2\pi/q$ *rad* (มุมทางไฟฟ้า) จะทำให้เกิดคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็ก ที่มีขนาดคงที่เท่ากับ $(q/2)F_{\max}$

โดยที่ $F_{\max}$ คือ ขนาดสูงสุดของคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดเฟสเดียว

2.5 แรงดันเหนี่ยวนำในเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส

ในหัวข้อ 2.2 ได้กล่าวถึงลักษณะธรรมชาติการเกิดแรงดันเหนี่ยวนำที่ขดลวด ต่อไปนี้จะเป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณถึงแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ขดลวดบนสเตเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส หรือ เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบอื่น ๆ

เริ่มโดยการพิจารณารูปแบบเครื่องจักรกลไฟฟ้าดังรูป 2.5



รูป 2.5 เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส

แต่ละขดลวดที่แสดงในรูป 2.5 มีด้านห่างกัน 180 องศาไฟฟ้ากำหนดให้ขดลวดสนามบนโรเตอร์ ทำให้เกิดฟลักซ์ที่มีลักษณะรูปคลื่นไซน์ (B) ที่ผิวของสเตเตอร์ และโรเตอร์หมุนไปด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ (ω)

$$B = B_{peak}\cos\theta \qquad (2.34)$$

โดยที่ B_{peak} คือ ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ผ่านขดลวดเฟส A บนสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่แกนสนามแม่เหล็กโรเตอร์อยู่ในแนวเดียวกับแกนสนามแม่เหล็กจากขดลวดเฟส A หรือ ขณะที่มุม $\theta = 0^\circ$ (ดังรูปที่ 2.5)

ปริมาณ ฟลั๊กซ์ / ขั้ว ในช่องว่างอากาศ (ϕ) มีค่าดังนี้

$$\phi = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} B_{peak} \cos\theta lr d\theta \qquad (2.35)$$

$$= 2B_{peak} lr \qquad (2.36)$$

โดยที่ l คือ ความยาวตามแนวแกนของสเตเตอร์

r คือ รัศมีของสเตเตอร์ที่ช่องอากาศ

ในกรณีเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มี P ขั้ว

$$\phi = \frac{2}{P} 2B_{peak} lr \qquad (2.37)$$

ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ขั้วจะเป็น 2/P เท่า ของกรณีเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มี 2 ขั้ว โดยที่มี l และ r เท่ากัน

ในขณะที่โรเตอร์หมุน ฟลักซ์ที่ผ่านขดลวดบนสเตเตอร์ (Flux linkage , λ) จะเปลี่ยนแปลงตามโคไซน์ของมุม θ ซึ่งเป็นมุมระหว่างแกนสนามแม่เหล็กของขดลวดบนสเตเตอร์กับโรเตอร์ และเมื่อโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วเชิงมุม (ω) คงที่ $\lambda = N\phi\cos\omega t$

โดยที่ t คือ เวลาใด ๆ และเลือกกำหนดให้เป็นศูนย์ ในขณะที่แกนสนามแม่เหล็กของขดลวดบนสเตเตอร์และโรเตอร์อยู่ในแนวเดียวกัน

ตามกฎของฟาราเดย์ จะเกิดแรงดันเหนี่ยวนำ (e) ที่ขดลวดบนสเตเตอร์

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = N\frac{d\phi}{dt}\cos\omega t - \omega N\phi\sin\omega t \qquad (2.38)$$

ขั้วของแรงดันเหนี่ยวนำ (e) กำหนดได้จากการลัดวงจรที่ปลายของขดลวดบนสเตเตอร์ ซึ่ง e จะต้องทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของ λ ที่ผ่านขดลวดบนสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณฟลั๊กซ์ (ϕ) ที่อยู่ในสมการ 2.40 ได้มาจากการสมมุติให้เฉพาะขดลวดสามบนโรเตอร์เท่านั้นที่ทำให้เกิดฟลักซ์ แต่สมการก็ใช้ได้เช่นกันกับสภาพทั่วไป ซึ่งฟลักซ์ที่เกิดขึ้นในช่องอากาศเนื่องมาจากขดลวดทั้งบนสเตเตอร์และโรเตอร์

เทอมแรกทางขวาในสมการ 2.40 คือ แรงดันเหนี่ยวนำเนื่องจากฟลักซ์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า เรียกว่า Transformer voltage

เทอมที่ 2 ทางขวาในสมการ 2.40 คือ แรงดันเหนี่ยวนำเนื่องจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างฟลักซ์ในอากาศกับขดลวดบนสเตเตอร์ เรียกว่า Speed voltage

ซึ่งในสภาวะ Steady – state ปริมาณฟลักซ์ (ϕ) ในช่องอากาศมีค่าคงที่ ดังนั้นแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะมีเฉพาะส่วนของ Speed voltage

โดยปกติจะใช้คำว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Electromotive force) แทนคำว่า Speed voltage ดังนั้นในช่วงเวลาที่คงที่ $e = -\omega N\phi \sin \omega t$

และในช่วงเวลาที่คงที่ ตามปกติจะใช้ค่า rms (root mean square value) ทั้งสำหรับกระแสและแรงดัน

ดังนั้นจากสมการ 2.41 ค่าสูงสุดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (e) คือ

$$E_{\max} = \omega N\phi = 2\pi f N\phi \qquad (2.39)$$

และค่า rms ของ E_{MAX} คือ $$E_{\max} = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}\pi f N\phi \qquad (2.40)$$

สมการเหล่านี้มีลักษณะเดียวกับสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในกรณีหม้อแปลงไฟฟ้า นั่นคือ การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างขดลวดบนสเตเตอร์กับฟลักซ์ที่มีขนาดคงที่ และเคลื่อนที่ในช่องอากาศจะทำให้เกิดผลเช่นเดียวกันกับฟลักซ์ที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งผ่านขดลวดที่นิ่งในหม้อแปลงไฟฟ้า

ดังนั้นผลของการหมุนก็คือ การเปลี่ยนสิ่งที่คงที่ตามเวลา (เช่น ฟลักซ์) ให้เป็นสิ่งอื่นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (เช่น แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ)

แรงดันเหนี่ยวนำตามสมการ 2.41 นั้น เป็นแรงดันเหนี่ยวนำ 1 เฟสเท่านั้น ในการที่จะให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำ 3 เฟส ก็ทำได้โดยการจัดวางขดลวด 3 ชุด ห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า สมการ 2.43 จะแสดงค่า rms/phase โดยที่ N คือ จำนวนรอบของขดลวดที่อนุกรมกันต่อเฟส และด้านของขดลวดแต่ละชุดห่างกัน 180 องศาไฟฟ้า

ตามปกติขดลวดแต่ละเฟสที่พันอยู่ในเครื่องจักรกลไฟฟ้า จะถูกพันอยู่ในหลายช่อง ดังนั้นค่า K_w จะมีผลต่อแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดแต่ละชุดในเฟสเดียวกัน จะเกิดขึ้นไม่พร้อมกันและทำให้ผลรวมทางเฟสของแรงดันน้อยกว่าผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมทางสเกลาร์ โดยมากขดลวด 3 เฟสมีค่า K_W จะประมาณเท่ากับ 0.85 – 0.95 และจากสมการ 2.43 จะได้

$$E_{\max} = \sqrt{2} k_w \pi f N_{ph} \phi \qquad (2.41)$$

โดยที่ N_{Ph} คือ จำนวนรอบของขดลวดที่อนุกรมกันต่อเฟส

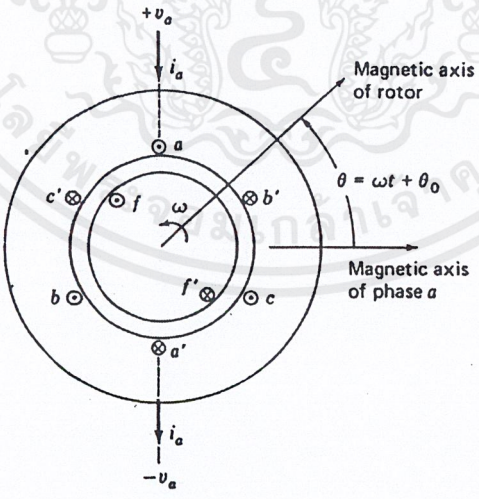
2.6 ค่าความเหนี่ยวนำและวงจรสมมูล

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาที่มาของวงจรสมมูล ซึ่งแสดงให้เห็นคุณสมบัติทางแรงดันและกระแสที่เอาท์พุตของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส (Terminal Volt – Ampere Characteristics) ขณะทำงานในช่วงเวลาที่คงที่

โดยการพิจารณาจากเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสแบบ 2 ขั้ว 3 เฟส และมีโรเตอร์แบบ Non – salient ดังแสดงในรูป 2.6

ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นแบบ 3 เฟส คือ ขดลวด AA' , BB' และ CC' แต่ละขดจะทำให้เกิดคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่มีลักษณะรูปคลื่นไซน์ และความหนาแน่นฟลักซ์ในช่องอากาศ

ขดลวดสนาม ff' บนโรเตอร์ ทำให้คลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กและความหนาแน่นฟลักซ์ที่มีลักษณะรูปคลื่นไซน์ และหมุนไปพร้อมกับโรเตอร์



รูป 2.6 เครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสแบบขั้วนอนซาเลียน

ฟลักซ์ที่ผ่าน (Flux linkage) ขดลวด A , B , C และ f ในเทอมของความเหนี่ยวนำและกระแสเขียนแสดงสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda_a = \pounds_{aa} i_a + \pounds_{ab} i_b + \pounds_{ac} i_c + \pounds_{af} i_f \quad (2.42)$$

$$\lambda_b = \pounds_{ba} i_a + \pounds_{bb} i_b + \pounds_{bc} i_c + \pounds_{bf} i_f \quad (2.43)$$

$$\lambda_c = \pounds_{ca} i_a + \pounds_{cb} i_b + \pounds_{cc} i_c + \pounds_{cf} i_f \quad (2.44)$$

$$\lambda_f = \pounds_{fa} i_a + \pounds_{fb} i_b + \pounds_{fc} i_c + \pounds_{ff} i_f \quad (2.45)$$

โดยที่ $\pounds_{aa}, \pounds_{bb}, \pounds_{cc}$ และ $\pounds_{ff}$ คือค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด A , B , C และ f ตามลำดับ

$\pounds_{ab}, \pounds_{ac}, \pounds_{af}, \ldots\ldots \pounds_{fc}$ คือ ค่าความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างขดลวด 2 ชุด ตามลำดับ

และสัญลักษณ์ £ หมายถึง ค่าความเหนี่ยวนำที่มีค่าขึ้นอยู่กับมุมหรือตำแหน่งของโรเตอร์ และแรงดันเหนี่ยวนำในแต่ละขดลวด สามารถถูกคำนวณได้จากกฎของฟาราเดย์

2.6.1 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดของโรเตอร์

เนื่องจากเป็นโรเตอร์แบบขั้วนอนซาเลียน ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสนามจึงไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของโรเตอร์ และโดยการไม่พิจารณาผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากช่องบนสเตเตอร์ จะได้

$$\pounds_{ff} = L_{ff} = L_{ffo} + L_{fl} \quad (2.46)$$

โดยที่ L คือ ค่าความเหนี่ยวนำที่มีค่าคงที่ ไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของโรเตอร์หรือมุม θ

L_{ffo} คือค่าความเหนี่ยวนำที่เกิดจากส่วนความถี่มูลฐานของฟลักซ์ในช่องอากาศ ซึ่งคำนวณได้จากขนาดของช่องอากาศและข้อมูลเกี่ยวกับขดลวด

L_{fl} คือ ค่าความเหนี่ยวนำที่เกิดจากส่วนของฟลักซ์เกี่ยวคล้องในขดลวดสนาม

ในช่วงทรานเซียนส์หรือเกิดการไม่สมดุลภายในเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสเช่น กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์แต่ละเฟสมีค่าแตกต่างกัน จะทำให้ฟลักซ์เกี่ยวคล้อง (λ_f) ที่ผ่านขดลวดสนามเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นในวงจรโรเตอร์ และเป็นผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจักรเมื่อต่อแรงดัน(V_f) คงที่เข้ากับปลายของขดลวดสนามที่มีความต้านทาน (R_f) จะทำให้เกิดกระแส $I_f = V_f / R_f$ ไหลในขดลวด

2.6.2 ค่าความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์

มีค่าแปรผันแบบเป็นคาบเวลากับมุม θ ระหว่างแกนสนามแม่เหล็กของขดลวดสนามบนโรเตอร์กับขดลวดอาร์เมเจอร์เฟส A บนสเตเตอร์ เช่นที่แสดงในรูป 2.6

เมื่อสมมุติให้คลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กและฟลักซ์ในช่องอากาศมีลักษณะแบบรูปคลื่นไซน์ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$£_{af} = £_{fa} = L_{af}\cos\theta \quad (2.47)$$

และที่เฟส B และ C จะแทนมุม θ ด้วย $\theta - 120^\circ$ และ $\theta + 120^\circ$ ตามลำดับ
เมื่อโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส (ω) จะได้สมการดังนี้

$$\theta = \omega t + \theta_o \quad (2.48)$$

โดยที่ θ_o คือ มุมของโรเตอร์ในขณะที่ $t = 0$ และเมื่อมีกระแส I ไหลในขดลวดสนาม จะได้

$$\lambda_{af} = L_{af} I_f \cos(\omega t + \theta_o) \quad (2.49)$$

2.6.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสเตเตอร์

เมื่อโรเตอร์เป็นแบบขั้วนอนซาเลียนและความกว้างของช่องอากาศมีค่าสม่ำเสมอ ไม่ขึ้นอยู่กับมุม θ และโดยไม่พิจารณาผลจากฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากช่องบนโรเตอร์ จะได้

$$£_{aa} = £_{bb} = £_{cc} = L_{aa} = L_{aao} + L_{al} \quad (2.50)$$

โดยที่ L_{aao} คือ ค่าความเหนี่ยวนำที่เกิดจากส่วนความถี่มูลฐานของฟลักซ์ในช่องอากาศ
L_{al} คือ ค่าความเหนี่ยวนำที่เกิดจากส่วนฟลักซ์เกี่ยวคล้องของขดลวดอาร์เมเจอร์
ค่าความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างขดลวดอาร์เมเจอร์ สามารถคำนวณได้โดยการสมมุติให้เกิดขึ้นเฉพาะจากส่วนความถี่มูลฐานของฟลักซ์ในช่องอากาศเท่านั้น

$$£_{ab} = £_{ba} = £_{ac} = £_{ca} = £_{bc} = £_{cb} = (1/2)\, L_{aao} \quad (2.51)$$

ทั้งนี้เพราะแต่ละเฟสต่างมุมกัน 120° และ $\cos(\pm 120^\circ) = -(1/2)$ ฟลักซ์ที่ผ่านขดลวดเฟส A (λ_a) จากสมการ 2.45 มีค่าดังนี้

$$\lambda_a = (L_{aao+} L_{al}) i_a - \frac{1}{2} L_{aao}(i_b + i_c) + \lambda_{af} \quad (2.52)$$

โดยที่ λ_a มีค่าตามสมการ 2.52
ในกรณีที่กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์ทั้ง 3 เฟส สมดุลกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_a + i_b + i_c = 0 \qquad or \qquad i_b + i_c = -i_a \tag{2.53}$$

เมื่อแทนลงในสมการ 2.52 จะได้

$$\lambda_a = (\frac{3}{2} L_{aao+} \; L_{al}) i_a + \lambda_{af} \tag{2.54}$$

กำหนดให้ค่าความเหนี่ยวนำซิงโครนัส (L_s) มีค่า

$$L_s = \frac{3}{2} L_{aao} + L_{al} \tag{2.55}$$

ดังนั้น

$$\lambda_a = L_s i_a + \lambda_{af} \tag{2.56}$$

ค่าความเหนี่ยวนำซิงโครนัส (L_s) เป็นค่าความเหนี่ยวนำประสิทธิผล เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่เฟสทั้ง 3 สมดุล ในขณะที่เครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสทำงานในสภาวะปกติ

ค่าความเหนี่ยวนำซิงโครนัส (L_s) ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. L_{aao} เป็นค่าความเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเนื่องจากส่วนความถี่มูลฐานของฟลักซ์ในช่องอากาศซึ่งเกิดจากขดลวดเฟส A
2. L_{al} เป็นค่าความเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเนื่องจากส่วนสูญเสียของฟลักซ์ที่ผ่านขดลวดเฟส A
3. $(1/2)L_{aao}$ เป็นค่าความเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟลักซ์ที่ผ่านขดลวดเฟส A ซึ่งเป็นส่วนความถี่มูลฐานของฟลักซ์ในช่องอากาศที่เกิดจากกระแสในขดลวดเฟส B และ C

แรงดันที่ปลาย (Terminal voltage) ของขดลวดเฟส A (v_{ta})

$$v_{ta} = R_a i_a + \frac{d\lambda_a}{dt} = R_a i_a + L_s \frac{di_a}{dt} + \frac{d\lambda_{af}}{dt} \tag{2.57}$$

แรงดันเหนี่ยวนำที่ขดลวดเฟส A (e_{af})เป็นแรงดันที่เกิดจากฟลักซ์ ซึ่งเป็นฟลักซ์จากขดลวดสนามที่หมุน และกำหนดให้ e_{af} เป็นแรงดันกระตุ้น (Excitation voltage) จากสมการ 2.61

$$e_{af} = -\omega L_{af} I_f \cos(\omega t + \theta_o + \frac{\pi}{2}) \tag{2.58}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแรงดันกระตุ้น (e_{af}) นำฟลักซ์เกี่ยวคล้อง (λaf) เป็นมุม 90° ค่า rms ของ e_{af} กำหนดให้เป็น E_{af}

$$E_{af} = \frac{\omega L_{af} I_f}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}\pi f k_w N_{ph} \phi_{af} \qquad (2.59)$$

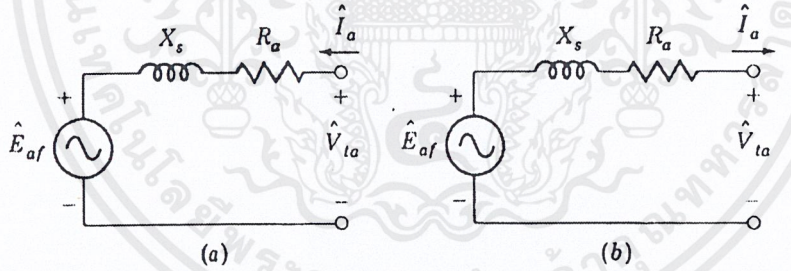
โดยที่ ϕ_{af} = ฟลักซ์ / ขั้ว ที่เกิดจากขดลวดสนาม

ในการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบรูปคลื่นไซน์ ในช่วงเวลา ที่คงที่ทำได้สะดวก โดยการใช้สัญลักษณ์ทางเฟส ดังนั้นเมื่อเขียนสมการ 2.63 ในรูปของค่าอิมพีแดนซ์แบบเชิงซ้อน (Complex impedance) โดยสัญลักษณ์ทางเฟส

$$\hat{V}_{ta} = R_a \hat{I}_a + jX_s \hat{I}_a + \hat{E}_{af} \qquad (2.60)$$

โดยที่ $X_s = \omega L_s$ ซึ่งเรียกว่าเป็นค่าซิงโครนัสรีแอกแตนซ์

วงจรสมมูลในรูปค่าอิมพีแดนซ์แบบเชิงซ้อน แสดงได้ดังรูป 2.7



รูป 2.7 แสดงวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

โดยการกำหนดให้ มีทิศทางบวก (ลบ) เมื่อไหลเข้า (ออก) ที่ขั้วของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส ดังนั้น มีค่าบวก (ลบ) ในกรณีของมอเตอร์ซิงโครนัส (เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส)

ในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแสดงสมการได้ดังนี้

$$\hat{V}_{ta} = -R_a \hat{I}_a - jX_s \hat{I}_a + \hat{E}_{af} \qquad (2.61)$$

และจากสมการ 2.55 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
45967

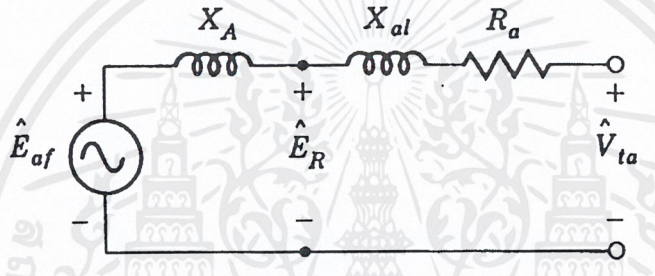
$$X_s = \omega L_s = \omega L_{al} + \omega(\frac{3}{2} L_{aao}) = X_{al} + X_A \qquad (2.62)$$

โดยที่ $X_{al} = \omega L_{al}$ คือ ค่าอาร์เมเจอร์ลีกเกจรีแอกแตนซ์

$X_A = \omega((3/2)L_{aao})$ คือ ค่ารีแอกแตนซ์ที่สัมพันธ์กับส่วนความถี่มูลฐานของฟลักซ์ซึ่งหมุนภายในช่องอากาศ เกิดจากกระแสในขวดลวดอาร์เมเจอร์ทั้ง 3 เฟส

แรงดันเหนี่ยวนำ E_R เป็นแรงดันที่เกิดจากฟลักซ์ในช่องอากาศ ซึ่งปกติจะเรียกว่าเป็น Air-gap voltage ในทางเฟส E_R จะนำ ϕ_R เป็นมุม 90

เมื่อนำสมการ 2.62 มาเขียนวงจรสมมูลจะได้ดังรูป 2.8



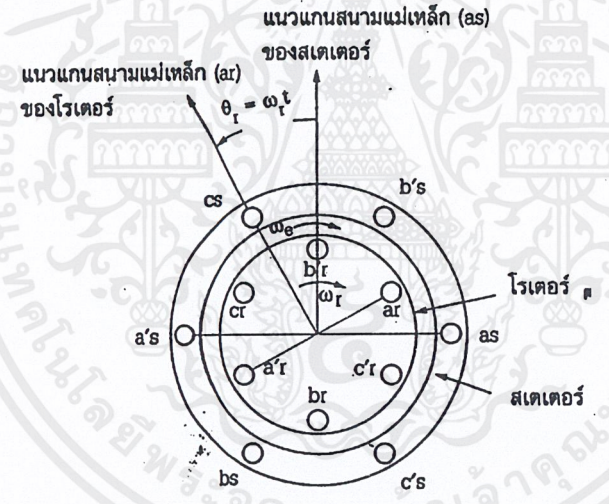
รูป 2.8 แสดงวงจรสมมูลของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสซึ่งอยู่ในรูปของลีกเกจรีแอกแตนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส

3.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ(Induction motor)

ในปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำถูกนำมาใช้ในระบบปรับความเร็วรอบอย่างกว้างขวางและมากขึ้นเรื่อยๆ รูป 3.1แสดงมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส 2 ขั้วแม่เหล็กในอุดมคติ แต่ละเฟสของสเตเตอร์จะประกอบด้วยขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก 1 ชุด ส่วนโรเตอร์จะมีทั้งแบบที่เป็นขดลวด (wound rotor)และแบบที่เป็นแท่งตัวนำ(squirrel cage) เมื่อต่อไฟให้ขดลวดสเตเตอร์จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนตัดผ่านโรเตอร์ส่งผลให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำและแรงบิดที่ทำให้โรเตอร์หมุนด้วยเหตุผลที่มีการเหนี่ยวนำเกิดขึ้นระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ เราจึงเรียกเครื่องจักรประเภทนี้ว่า **เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ**



รูป 3.1 ลักษณะการวางขดลวดของมอเตอร์ 3 เฟส 2 ขั้วแม่เหล็กอย่างง่าย

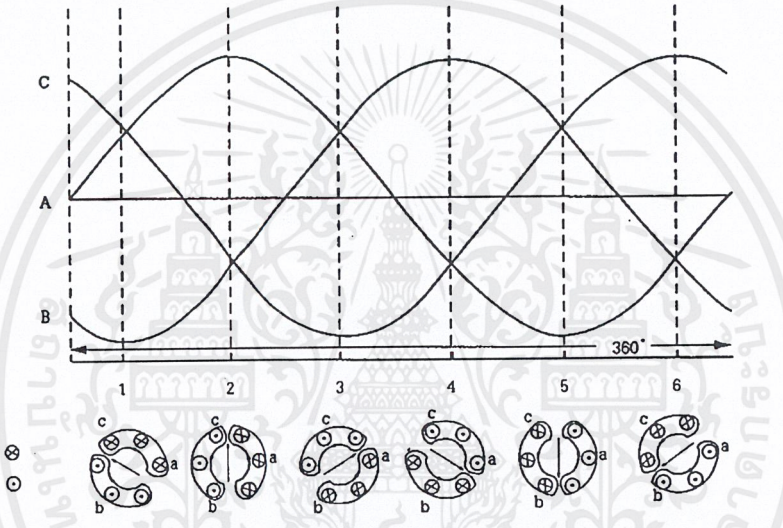
3.1.1 การกำเนิดแรงบิด

จากรูป 3.1 เมื่อเราจ่ายไฟ 3 เฟส เข้าไปที่สเตเตอร์ จะก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นในช่องว่างอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ดังแสดงในรูป 3.2 โดยที่สนามแม่เหล็กนี้จะหมุนรอบสเตเตอร์ด้วยความเร็วซิงโครนัส(synchronous speed) ตามสมการ

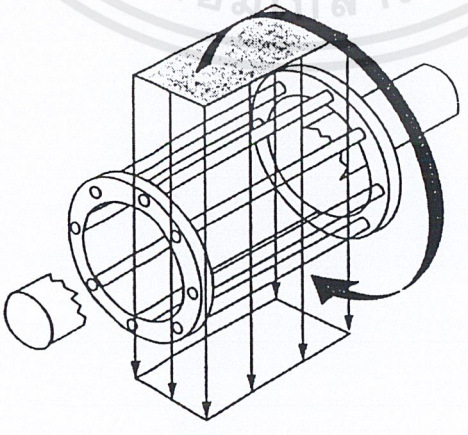
$$N_S = \frac{120f}{P} \tag{3.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ N_S คือความเร็วซิงโครนัสมีหน่วยเป็น rpm , f คือความถี่ของคลื่นไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป และ P คือจำนวนขั้วแม่เหล็ก และในทันทีที่เกิดสนามแม่เหล็กหมุนรอบสเตเตอร์ ตัวโรเตอร์ซึ่งวางอยู่ในสเตเตอร์ก็จะตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็กหมุนนี้ ส่งผลให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าไหลภายในวงจรของโรเตอร์ซึ่งมีลักษณะลัดวงจร ดังรูป 3.3 ทิศทางของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำบนโรเตอร์ที่เกิดขึ้นจะเป็นไปในลักษณะที่ทำให้กระแสเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในทิศทางที่ต่อต้านกับการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้เกิดมันขึ้นมาหลักการกำเนิดแรงเคลื่อนและกระแสเหนี่ยวนำนี้ก็คือกฎของเลนซ์ที่รู้จักกันดีนั่นเอง เพื่อให้เห็นปรากฏการนี้ชัดเจนจึงขออธิบายการกำเนิดกระแสเหนี่ยวนำและแรงบิดที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามรูป 3.4

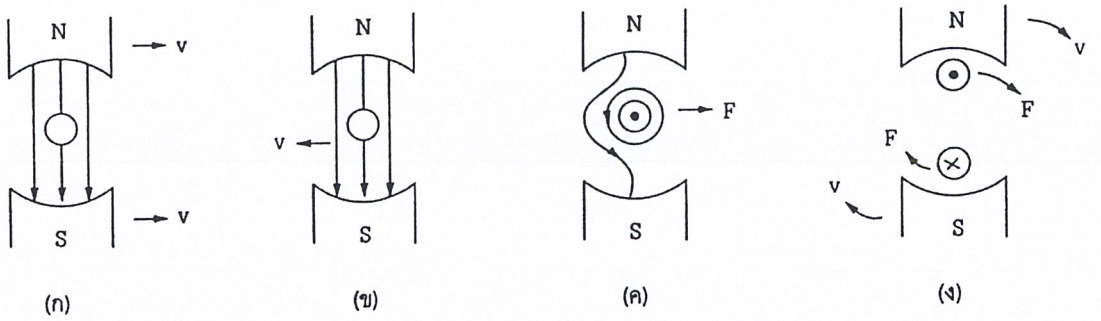


รูป 3.2 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน



รูป 3.3 โรเตอร์ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็กหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.4 หลักการเกิดกระแสเหนี่ยวนำและแรงบิดบนโรเตอร์

จากรูป 3.4 (ก) สมมุติว่าเรามีแม่เหล็กคู่หนึ่งเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กและให้สนามแม่เหล็กนี้วิ่งตัดผ่านแท่งตัวนำไปทางขวาด้วยความเร็ว V จากหลักการความเร็วสัมพัทธ์เราอาจกล่าวได้และมีผลเหมือนกับว่าสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ และตัวนำถูกทำให้วิ่งไปทางซ้ายด้วยความเร็ว V ดังในรูป (ข) ใช้กฎของเลนซ์เราจะได้ว่ากระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะต้องมีทิศทางที่ทำให้เกิดแรงผลักตัวนำไปทางขวาทั้งนี้เพื่อต่อต้านไปทางซ้ายทิศทางดังกล่าวคือกระแสต้องมีทิศทางออกจากหน้ากระดาษดังรูป (ค) และเมื่อพิจารณาแท่งตัวนำ 2 ตัวที่ประกอบกันเป็นโรเตอร์ที่มีสนามแม่เหล็กหมุนของสเตเตอร์จะทำให้แรงบิดเกิดขึ้นบนโรเตอร์ตามรูป (ง) และนี้คือหลักการกำเนิดแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

หากพิจารณาให้ถ่องแท้แล้วจะพบว่าในเครื่องจักรกลไฟฟ้าประเภทหมุนทุกประเภททั้งกระแสตรงและกระแสสลับจะมีปรากฏการณ์และพฤติกรรมของเครื่องกำเนิดและมอเตอร์อยู่ในเวลาเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นกระแสตรงหรือสลับสมมุติว่าเราให้เครื่องต้นกำลังหมุนของเครื่องกำเนิดไปทางขวา เมื่อเครื่องกำเนิดจ่ายกระแสให้โหลด ก็จะมีแรงมาต้านการหมุนของเครื่องต้นกำลัง ซึ่งแรงนี้ก็คือแรงปฏิกิริยาแบบมอเตอร์เนื่องจากกระแสที่จ่ายให้โหลด(motoring action) เช่นเดียวกันในกรณีของมอเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นกระแสตรงหรือกระแสสลับ เมื่อเราจ่ายให้มอเตอร์หมุนแล้วก็จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำต้านกลับ(back emf) ขึ้นมาตัวหนึ่งเสมอ และแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำต้านกลับนี้ก็คือปฏิกิริยาแบบเครื่องกำเนิดเมื่อมีสนามแม่เหล็กหมุนตัดผ่านขดลวด(generating action)

อย่างไรก็ดีในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ หากขาดซึ่งความเร็วที่แตกต่างระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนบนสเตเตอร์ กับความเร็วของโรเตอร์เองแล้ว การเหนี่ยวนำย่อมไม่เกิดขึ้น แต่เมื่อไดก็ตามที่มอเตอร์มีโหลดแม้แต่เพียงแค่แรงเสียดทานต่อการหมุนก็จะทำให้โรเตอร์หมุนช้ากว่าสนามแม่เหล็กหมุนบนเสเตเตอร์ทันที การที่โหลดทำให้โรเตอร์หมุนช้ากว่าสนามแม่เหล็กนี้เรียกว่าการไถล และเรามักเรียกทับศัพท์ว่าค่าสลิปโดยเรานิยามให้ค่าสลิปที่เกิดขึ้นหมายถึง ค่าความต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนบนสเตเตอร์ กับความเร็วโรเตอร์สามารถเขียนเป็นค่าสลิปต่อหนึ่งหน่วยได้ดังนี้

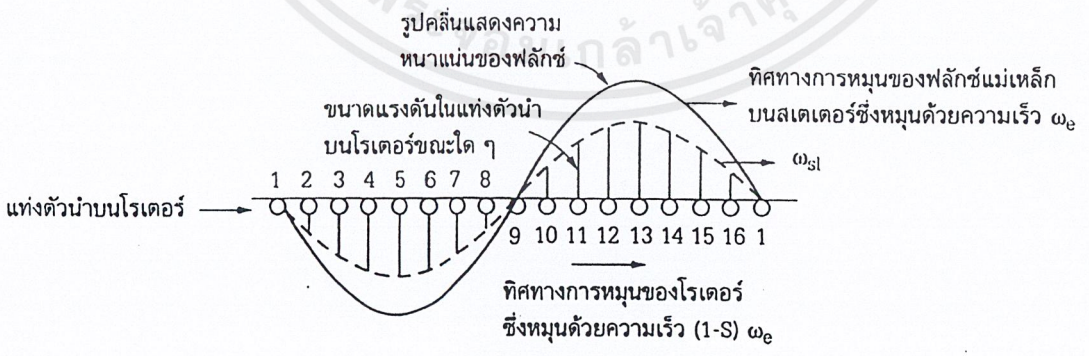
$$S = \frac{N_S - N_r}{N_S} = \frac{\omega_S - \omega_r}{\omega_S} \qquad (3.2)$$

เมื่อ ω_S คือ ความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กหมุนบนสเตเตอร์

ω_r คือ ความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้าของโรเตอร์

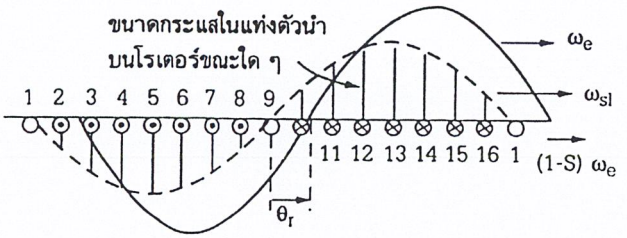
ω_{Sl} คือ ความเร็วเชิงมุมของสลิป

การที่โรเตอร์ถูกสนามแม่เหล็กบนสเตเตอร์หมุนตัดผ่านความเร็ว ω_{Sl} นี้ทำให้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำบนโรเตอร์มีความเร็วเชิงมุมเท่ากับ ω_{Sl} เช่นกัน ค่า ω_{Sl} นี้จะขึ้นอยู่กับโหลดเมื่อโหลดมากขึ้นก็จะทำให้โรเตอร์หมุนช้าลงและส่งผลต่อเนื่องให้ $\omega_S - \omega_r$ มีค่ามากขึ้นกล่าวคือโรเตอร์จะถูกสนามแม่เหล็กลัพธ์หมุนตัดด้วยความเร็วมากขึ้นตามกฎของฟาราเดย์ เมื่อการหมุนตัดมีความเร็วมากขึ้นแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำก็จะยิ่งมากขึ้นตามสมการ $e = -N\frac{d\phi_B}{dt}$ ผลก็คือกระแสในโรเตอร์มากขึ้น และด้วยหลักการเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อกระแสในด้านทุติยภูมิมากขึ้นก็จะส่งผลให้กระแสในสเตเตอร์เป็นกระแสปฐมภูมิมีค่ามากขึ้นกล่าวคือภาระทางกลจะถูกส่งผ่านเข้ามาสู่ภาระทางไฟฟ้าในรูปค่าสลิป

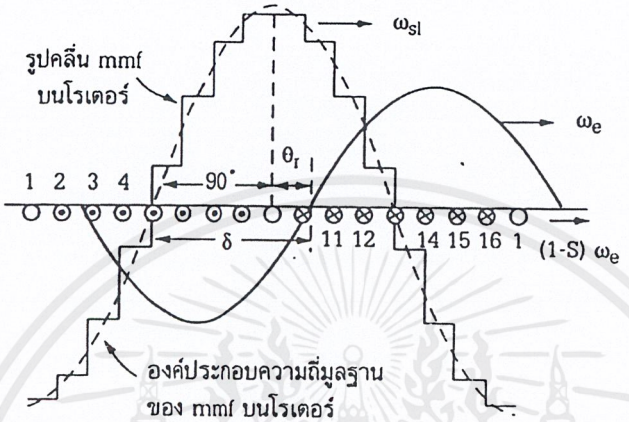


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



(ค)

รูป 3.5 การเกิดแรงบิดเนื่องจากสนามแม่เหล็กในช่องว่างอากาศและแรงเคลื่อนแม่เหล็กจากโรเตอร์

รูป 3.5 แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กบนโรเตอร์ ซึ่งแรงปฏิกิริยาที่เกิดระหว่างสนามแม่เหล็กบนสเตเตอร์และโรเตอร์คือ แรงที่ทำให้เกิดแรงบิดบนตัวมอเตอร์ดังรูป 3.5 (ก). แสดงการเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำบนโรเตอร์ และเกิดจากสนามแม่เหล็กบนสเตเตอร์หมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω_S ตัดผ่านโรเตอร์ซึ่งหมุนด้วยความเร็ว ω_r ทำให้โรเตอร์รู้สึกว่ามีสนามแม่เหล็กหมุนตัดผ่านด้วยความเร็ว ω_{Sl} ผลลัพธ์นี้เองทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ความถี่ ω_{Sl} โดยเส้นตรงแนวดิ่งแสดงขนาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นบนแท่งตัวนำแต่ละแท่งบนโรเตอร์ดังรูป 3.5 (ข). แสดงกระแสเหนี่ยวนำบนโรเตอร์ซึ่งจะล้าหลังแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำอยู่ด้วยมุม θ_r โดยกระแสเหนี่ยวนำนี้มีความถี่เดียวกับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำเพราะเป็นผลตอบสนองของอิมพีแดนซ์ รูป 3.5 (ค). แสดงแรงเคลื่อนแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์ แรงเคลื่อนนี้เกิดจากกระแสที่ไหลผ่านแท่งแต่ละแท่งในทิศทางดังรูปทำให้เกิดการเสริมกันของแม่เหล็กแต่ละคู่ ขดลวดจากวงในถึงวงนอกเกิดเป็นสนามแม่เหล็กลัพธ์ที่มีลักษณะเป็นขั้นบันไดและมีความถี่มูลฐานดังเส้นประ จากรูปจะเห็นว่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กของโรเตอร์ล้าหลังสเตเตอร์อยู่ถึง $90+\theta_r$ ซึ่งเรานิยามให้ค่ามุมนี้คือมุม δ และมีความเร็วเชิงมุมเท่ากับ ω_{Sl} เทียบกับโรเตอร์แต่เนื่องจากว่าโรเตอร์หมุนด้วยความเร็ว ω_r อยู่แล้วดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นแรงเคลื่อนแม่เหล็กบนโรเตอร์จึงหมุนด้วยความเร็ว $\omega_r + \omega_{sl} = \omega_s$ เทียบกับจุดหยุดนิ่งบนสเตเตอร์ ดังนั้นแรงบิดเกิดจากสนามแม่เหล็กทั้งสองนี้รวมตัวกันทางเวกเตอร์และหาได้จากสมการ

$$T_e = \pi\left(\frac{P}{2}\right) l_r B_p F_p \sin\delta \qquad (3.3)$$

โดยที่ l = ความยาวตามแนวแกนของตัวนำที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก

r = รัศมีของโรเตอร์

B_p = ค่าสูงสุดของความหนาแน่นฟลักซ์ในช่องว่างอากาศ

F_p = ค่าสุงสุดของแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดบนโรเตอร์

สมการสามารถเขียนได้เป็นอีกรูปหนึ่งคือ

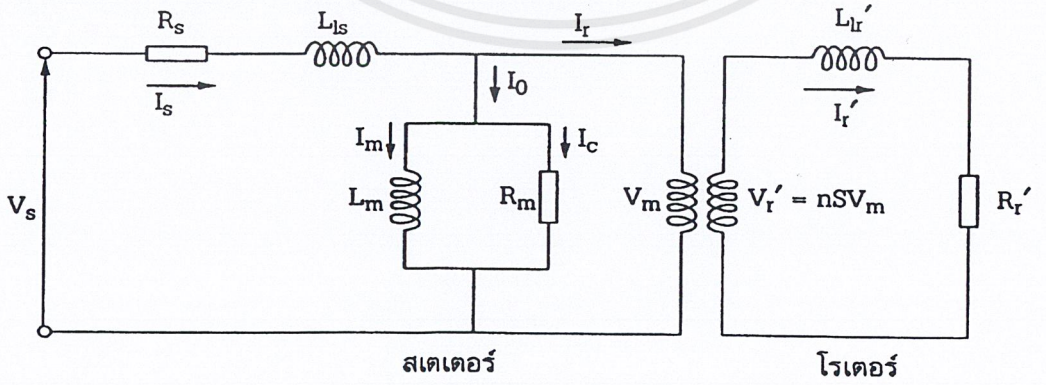
$$T_e = \frac{3}{2}\left(\frac{P}{2}\right)\left|\overline{\psi_m}\right|\left|\overline{I_r}\right|\sin\delta \qquad (3.4)$$

เมื่อ $\left|\overline{\psi_m}\right|$ คือค่าสูงสุดของสนามแม่เหล็กลัพธ์ต่อขั้วแม่เหล็ก

$\left|\overline{I_r}\right|$ คือกระแสสูงสุดบนโรเตอร์

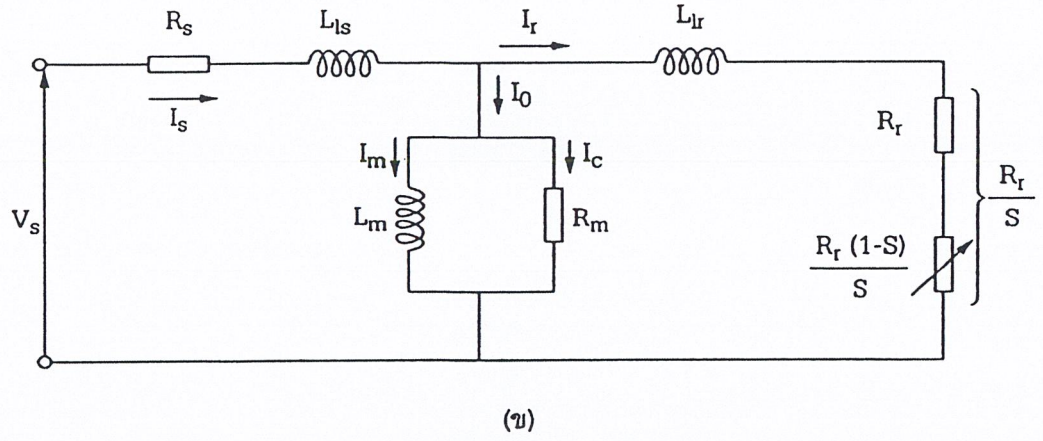
3.1.2 วงจรสมมูล

ตามที่เราได้ทราบแล้วว่าโครงสร้างของมอเตอร์คล้ายกับหม้อแปลงไฟฟ้าเพียงต่างกันที่ด้านทุติยภูมิของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถหมุนได้ ดังนั้นเราจึงสามารถเขียนวงจรสมมูลของมอเตอร์ได้ในลักษณะเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้าทุกประการดังในรูป 3.6



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

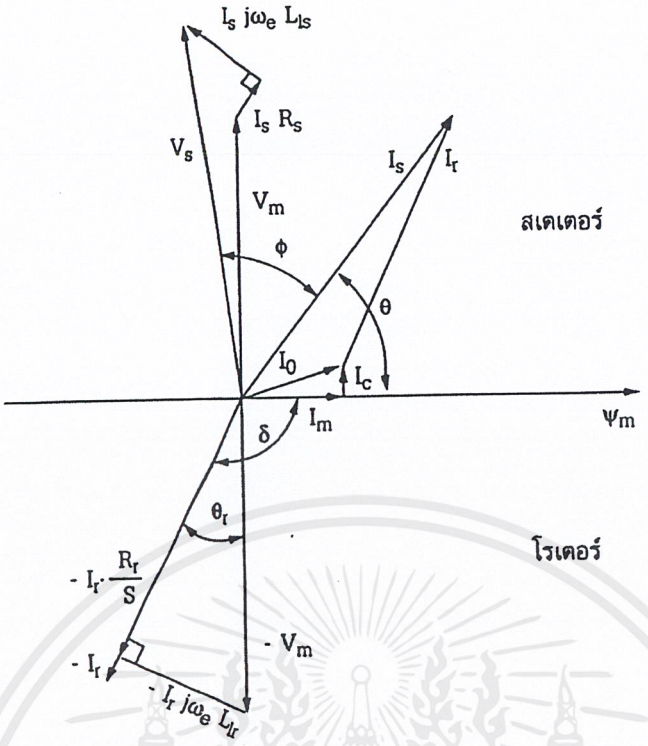
รูป 3.6 วงจรสมมูลมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

จากรูป 3.6

$$I_r = nI_r' = \frac{n^2 S V_m}{R_r' + j\omega_{sl} L_{lr}'} = \frac{V_m}{\left(\frac{R_r}{S}\right) + j\omega_e L_{lr}} \qquad (3.5)$$

โดยที่ค่าพารามิเตอร์ R_r และ L_{lr} เป็นค่าที่โอนไปไว้ทางสเตเตอร์แล้ว จากรูปและสมการ(3.5)จะเห็นว่าถ้าค่า S ยิ่งมาก กระแสก็ยิ่งมาก ณ จุดที่มอเตอร์หยุดนิ่ง S=1 เปรียบเสมือนการลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ในขณะที่ความเร็วซิงโครนัส S=0 เปรียบเสมือนการเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง การรับโหลดของมอเตอร์ก็จะถูกส่งผ่านเข้าสู่ระบบในรูปของการเปลี่ยนค่าสลิป ถ้าโหลดน้อยค่าสลิปก็เข้าใกล้ศูนย์ แต่ถ้าโหลดมากค่าสลิปเข้าใกล้หนึ่ง เฟสเซอร์ไดอะแกรมของวงจรสมมูลมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถเขียนได้ดังรูป 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.7 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

จากสมการ (3.4) เราสามารถเขียนสมการอยู่ในรูปของขนาดได้คือ

$$T_e = k\psi_m I_r \sin\delta$$

เนื่องจาก ψ_m จะแปรผันโดยตรงกับ I_m ดังนั้น

$$T_e = k' I_m I_r \sin\delta$$

จากรูป 3.7 หากประมาณว่า $R_m \to \infty$ จนทำให้ $I_c \to 0$ จะทำให้ $I_0 \cong I_m$ และล้าหลัง $V_m \cong 90^0$ และมีผลทำให้ $I_r \cos(\delta - 90) = I_s \sin\theta$ แต่เนื่องจาก $\cos(\delta - 90) = \sin\delta$ เราจึงเขียนสมการ T_e ใหม่ได้ดังนี้

$$T_e = k' I_m I_s \sin\theta = k' I_m I_a \qquad (3.6)$$

เมื่อ $I_a = I_s \sin\theta$ ซึ่งถือเป็นส่วนประกอบของแรงบิด (torque component) ที่แฝงตัวอยู่ที่ใน กระแสสเตเตอร์ สำหรับค่าทางไฟฟ้าอื่นๆสรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าขาเข้า $P_{in} = 3V_s I_s \cos\phi$ (3.7)

กำลังสูญเสียในขดลวดด้านสเตเตอร์ $P_{ls} = 3I_s^2 R_s$ (3.8)

การสูญเสียในแกนเหล็ก $P_{lc} = 3\dfrac{V_m^2}{R_m}$ (3.9)

กำลังที่ข้ามช่องว่างอากาศไปสเตเตอร์ $P_g = 3I_r^2 \dfrac{R_r}{S}$ (3.10)

กำลังสูญเสียในตัวนำด้านโรเตอร์ $P_{lr} = 3I_r^2 R_r$ (3.11)

กำลังไฟฟ้าขาออก $P_o = P_g - P_{ir} = 3I_r^2 R_r \dfrac{1-S}{s}$ (3.12)

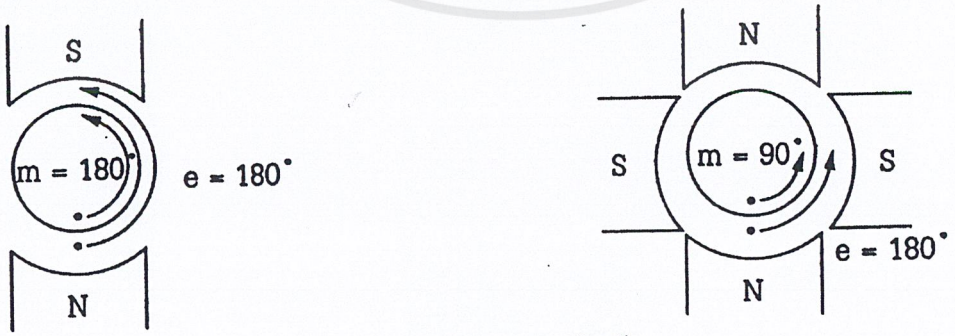
กำลังกลที่เพลา $P_{sh} = p_o - P_{Fw}$ (3.13)

เมื่อ P_{FW} คือกำลังสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานและแรงต้านของลม ส่วนการสูญเสียในแกนเหล็กที่ตัวโรเตอร์ถูกนำไปรวมไว้กับสเตเตอร์ตั้งแต่เขียนวงจรสมมูลแล้ว

เนื่องจาก $P = T\omega$ ดังนั้น

$$T_e = \frac{P_o}{\omega_m} = \frac{3}{\omega_m} I_r^2 R_r \frac{1-S}{S} \qquad (3.14)$$

ω_m คือความเร็วเชิงมุมทางกลของโรเตอร์มีค่าเท่ากับ $(2/p)\omega_r$ สำหรับค่า $\omega_m = (2/p)\omega_r$ อาจทำให้รู้สึกสับสนซึ่งจะต้องระลึกเสมอว่า ω_r คือความเร็วเชิงมุมของสนามแม่เหล็กบนโรเตอร์ เป็นความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้า ซึ่งจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับความเร็วเชิงมุมทางกลของตัวโรเตอร์เองเสมอ ถ้าเป็นมอเตอร์ 2 ขั้ว ความเร็วของ ω_r และ ω_m ก็จะเท่ากัน เนื่องเพราะว่าในขณะที่สนามแม่เหล็กเดินทางจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งเป็น 180 องศาไฟฟ้า ตัวโรเตอร์จริงๆก็จะเดินทางได้ระยะ 180 องศาทางกลเช่นกัน แต่ถ้าเป็น 4 ขั้ว ในขณะสนามแม่เหล็กเดินทางจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งเป็น 180 องศาไฟฟ้า ตัวโรเตอร์จะหมุนได้เพียง 90 องศาทางกลเท่านั้น



รูป 3.8 การคิดองศาทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ(3.2)

$$S = \frac{\omega_e - \omega_r}{\omega_e} \tag{3.15}$$

จะได้

$$\omega_r = \omega_e - S\omega_e = (1-S)\omega_e$$

$$\therefore \quad \omega_m = \left(\frac{2}{P}\right)(1-S)\omega_e \tag{3.16}$$

แทนใน(3.14)จะได้

$$T_e = 3\left(\frac{p}{2}\right)I_r^2 \frac{R_r}{S\omega_e} \tag{3.17}$$

แทนสมการ(3.10) ลงในสมการ(3.17) จะได้

$$T_e = \left(\frac{P}{2}\right)\frac{P_g}{\omega_e} \tag{3.18}$$

เนื่องจาก

$$I_r = \frac{V_s}{\sqrt{\left(R_s + {R_r}/{S}\right)^2 + \omega_e^2\left(L_{ls} + L_{lr}\right)^2}} \tag{3.19}$$

แทนสมการ(3.17)จะได้

$$T_e = 3\left(\frac{P}{2}\right)\frac{R_r}{S\omega_e}\frac{V_s^2}{\left(R_s + {R_r}/{S}\right)^2 + \omega_e^2\left(L_{lS} + L_{lr}\right)^2} \tag{3.20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ฮาร์โมนิกส์

4.1 สาเหตุของฮาร์โมนิกส์

ในระบบไฟฟ้าสามเฟส 50 Hz ที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าแรงดันและกระแสที่ได้ในสภาวะปกติเกือบจะเป็นคลื่นไซน์ความถี่ 50 Hz อะไรก็ตามที่เปลี่ยนรูปคลื่นนี้ไปจากเดิมก่อให้เกิดฮาร์โมนิกส์ขึ้น โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น จะกินกระแสไม่เป็นสัดส่วนกับแรงดัน ซึ่งก่อให้เกิดความผิดเพี้ยนจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น เทียบกับขนาดของไฟฟ้า ณ สถานที่นั้น ค่าตัวประกอบกำลังต่ำจะทำให้กระแสและแรงดันไม่ตรงกัน แต่คลื่นไซน์ยังคงบริสุทธิ์อยู่ แหล่งที่มาของฮาร์โมนิกส์คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น รวมไปถึงอุปกรณ์อิเล็กโทรนิกส์กำลัง

4.2 ฮาร์โมนิกส์และผลกระทบต่อเครื่องจักรไฟฟ้า

ในการศึกษาการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยทั่วไป ซึ่งพื้นฐานของการศึกษา จะสมมุติฐานว่า มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานสภาวะ แหล่งจ่ายเป็นรูปคลื่นไซน์ แต่ในการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่ไม่ถูกใช้งานในสภาวะไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ เนื่องจากการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม มักจะควบคุมจากอินเวอเตอร์ โดยการเปลี่ยนความถี่ ซึ่งจะมีผลต่อความเร็วเนื่องจาก n = 120f/p ซึ่งในการใช้จากอินเวอเตอร์ปรับความเร็ว ทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานภายในสภาวะไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนมูลฐาน (fundamental) และฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ ซึ่งจะต้องศึกษาผลกระทบต่อฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆในเครื่องจักรกลไฟฟ้า

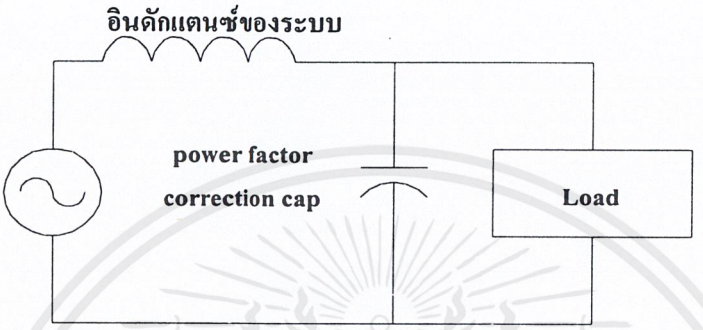
4.3 ศัพท์และปริมาณต่างๆ

4.3.1 ฮาร์โมนิกส์(Harmonics)

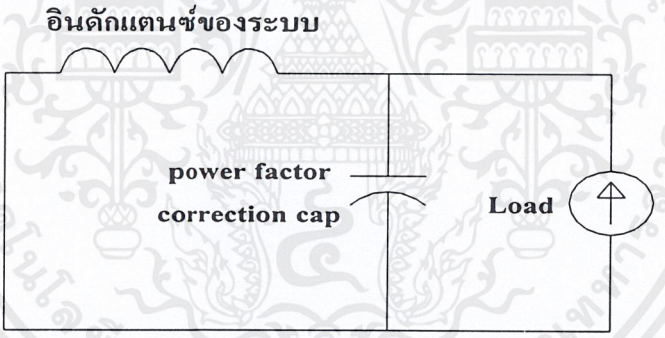
วิชาทางไฟฟ้า ฮาร์โมนิกส์ คือ สัญญาณที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐาน เช่น ความถี่มูลฐาน คือ 50 Hz ฮาร์โมนิกส์ คือ 100,200 Hz เป็นต้น ความถี่มูลฐานเรียกว่าฮาร์โมนิกส์ที่ 1 ส่วนฮาร์โมนิกส์ลำดับอื่นๆ ก็หาได้จากการเอาเลขจำนวนเต็มบวก คูณกับความถี่มูลฐาน การวัดความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ทำได้หลายวิธีแตกต่างกันออกไป แต่โดยส่วนมากจะใช้วัดความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวม(Total Harmonic Distortion) ที่ความถี่ฮาร์โมนิกส์ต่างๆกัน ปริมาณของขนาดจะแสดงด้วยจำนวนเปอร์เซ็นต์ของขนาดที่ความถี่มูลฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโหลดไม่เป็นเชิงเส้น ถูกป้อนด้วยแรงดันมูลฐานบริสุทธ์ โดยแหล่งจ่ายซึ่งไม่มีค่าอิมพีแดนซ์ของระบบ จะมีผลทำให้รูปร่างของกระแสมีความแตกต่างไปจากแรงดันที่ป้อนให้ความเพี้ยนของกระแสนี้จะมีผลทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ตัวอิมพีแดนซ์นี้จะมีผลทำให้เกิดความเพี้ยนของแรงดันแสดงดังรูป 4.1 ด้วยเหตุนี้ โหลดไม่เป็นเชิงเส้นหรือตัวผลิตฮาร์โมนิกส์จะถูกแทนด้วยแหล่งจ่ายกระแสฮาร์โมนิกส์ ด้วยอิมพีแดนซ์ ของระบบที่เหมาะสมดังรูป 4.2



รูป 4.1 รูปแบบของระบบไฟฟ้าและโหลดที่มีความถี่มูลฐาน



รูป 4.2 รูปแบบของระบบไฟฟ้าและโหลดที่มีความถี่ฮาร์โมนิกส์

4.3.2 กระแสฮาร์โมนิกส์(Harmonic Current)

ฮาร์โมนิกส์ที่อยู่ในรูปของกระแสในไลน์ในระบบไฟฟ้าเกิดขึ้นจากอุปกรณ์ที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งอาจเป็นโหลดหรือแหล่งกำเนิดก็ได้ ในอดีตไม่มีการศึกษาอย่างจริงจัง เนื่องจากอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นน้อยมาก ทำให้ผลของฮาร์โมนิกส์ต่อระบบไฟฟ้ามีค่าน้อย แต่ในช่วงสิบปีที่ผ่านมาอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเครื่องแปลงผัน(converter) ได้ขยายตัวอย่างมากเป็นผลทำให้เกิดกระแสฮาร์โมนิกส์ขึ้นอย่างมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 แรงดันฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Voltage)

เกิดจากการที่กระแสฮาร์โมนิกส์ไหลผ่านค่ารีแอกแตนซ์ของระบบแหล่งจ่ายสายส่งหรือรีแอก-แตนซ์ของคาปาซิเตอร์ที่ต่อขนานเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลัง(power factor) ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของรูปแรงดัน อันเนื่องจากรีแอกแตนซ์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความถี่ ส่วนค่าความต้านทานไม่เปลี่ยนแปลงกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ไหลในระบบนั้นจะเป็นตัวสร้างทำให้เกิดความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกส์ (harmonic voltage distortion) ซึ่งเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

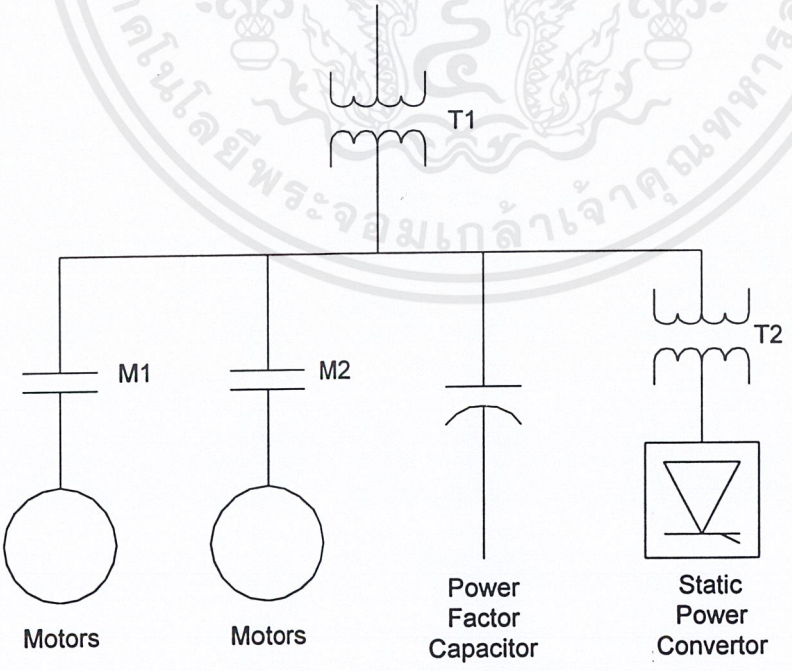
$$V_n = Z_n I_n$$

เมื่อ V_n = แรงดันฮาร์โมนิกส์

I_n = กระแสฮาร์โมนิกส์ในระบบ

Z_n = ค่าอิมพีแดนซ์ของระบบ

ถ้าในระบบไฟฟ้าใช้คาปาซิเตอร์ต่อขนานเข้าไปในระบบ เพื่อปรับปรุง ตัวประกอบกำลังจะทำให้มีอิทธิพลต่อระดับฮาร์โมนิกส์ในระบบจำหน่าย คาปาซิเตอร์มิได้กำเนิดฮาร์โมนิกส์แต่จากการต่อวงจรในระบบมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดเงื่อนไขรีโซแนนซ์แบบขนาน ระหว่างคาปาซิ-เตอร์ และ รีแอกแตนซ์ ของระบบดังรูป 4.3



รูป 4.3 การต่อคาปาซิเตอร์ขนานเข้าไปในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจรณาให้โหลดไม่เป็นเชิงเส้นเป็นแหล่งจ่ายกระแสฮาร์โมนิกส์ ถ้ารีโซแนนซ์แบบขนานเกิดที่ความถี่เดียวกันหรือใกล้เคียงกันกับความถี่ฮาร์โมนิกส์ของโหลดไม่เป็นเชิงเส้นจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมรีแอกแตนซ์ของระบบ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ตัวประกอบความเพี้ยนของแรงดันมีค่ามาก (distortion factor)

4.3.4 ตัวประกอบความเพี้ยน(Distortion Factor, DF)

ตัวประกอบฮาร์โมนิกส์ (harmonic factor) HF

ความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ทั้งหมด (totol harmonic distortion) THD

ความหมายทั้งสามตัวนั้นมาตรฐานของ IEEE ได้ให้ความหมายไว้เหมือนกันกล่าวคือ ค่าที่บอกถึงปริมาณของฮาร์โมนิกส์ที่มีอยู่ทั้งหมดโดยเปรียบเทียบกับค่า rms ของส่วนประกอบความถี่มูลฐาน

$$DF_i = HF_i = THD_i = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_1^2}} \times 100\%$$

4.3.5 ลำดับฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Order)

ลำดับฮาร์โมนิกส์ คือ อัตราส่วนของความถี่ฮาร์โมนิกส์ และความถี่มูลฐาน เช่น เมื่อพูดถึงฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 หากความถี่มูลฐานเป็น 50 Hz จะได้ความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 เป็น 150 Hz

4.3.6 ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

หมายถึง อัตราส่วนของกำลังงานจริง ต่อ กำลังงานปรากฏ อย่างไรก็ตามหากรูปคลื่นของแรงดันและกระแสมีลักษณะรูปคลื่นไซน์ เราอาจพูดถึงตัวประกอบในเทอมของค่า (cosine) ของมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแสก็ได้

Displacement Power Factor (DPF) คือ อัตราส่วนของกำลังงานจริงของรูปคลื่นความถี่มูลฐานต่อกำลังงานปรากฏของรูปคลื่นความถี่มูลฐาน

$$DPF = \frac{Active \quad Power}{Apparent \quad Power}$$

$$Total \quad PF = \frac{Active \quad Power}{Apparent \quad Power}$$

เมื่อ พิกัดกำลังงานจริง (Active Power) = ผลคูณของ rms ของแรงดันและกระแสที่ inphase กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัดกำลังงานปรากฏ (Apparent Power) = ผลคูณของ rms ของแรงดันและกระแส

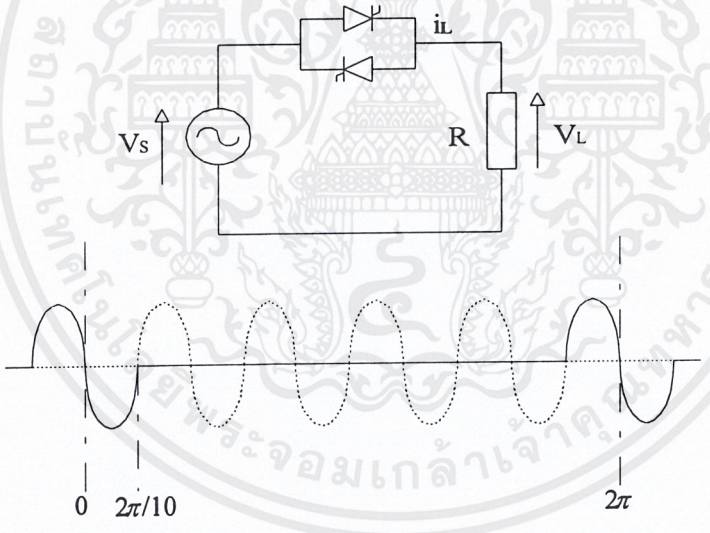
พิกัดกำลังปรากฏ (Fund) ได้จาก rms ของแรงดันและกระแส Fundamental

พิกัดกำลังปรากฏ (Total) ได้จากการรวมเอาฮาร์โมนิกส์มาด้วย

4.4 ประเภทของฮาร์โมนิกส์

ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นปะปนอยู่ในกระแสหรือแรงดันอาจแบ่งเป็นประเภทต่างๆดังต่อไปนี้

- ฮาร์โมนิกส์ หมายถึง ส่วนประกอบรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐาน
- อินเตอร์ฮาร์โมนิกส์ หมายถึง ส่วนประกอบรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐาน อินเตอร์ฮาร์โมนิกส์นี้ส่วนมากจะพบในกระแสเตาหลอมแบบอาร์ก เนื่องจากตอนหลอมกระแสอาร์กจะไม่เสถียร ทำให้คาบกระแสไม่แน่นอน กล่าวคือ ความถี่ 50 Hz คาบจะกินเวลา 20 มิลิวินาที แต่กระแสอาร์กจะมีคาบเวลาไม่เป็น 20 มิลิวินาที ทุกคาบ ทำให้เกิดอินเตอร์ฮาร์โมนิกส์ขึ้นนอกจากนี้ก็จะพบอินเตอร์ฮาร์โมนิกส์ ในอุปกรณ์ที่มีการควบคุมทำงานแบบ Integral Cycle Control ดังรูป



รูป 4.4 การควบคุมกระแสที่ไหลผ่านโหลดแบบ Integral Cycle Control

4.4.1 ฮาร์โมนิกส์คุณลักษณะ (Characteristic Harmonic)

หมายถึง ฮาร์โมนิกส์ ที่สร้างโดยเครื่องแปลงผันไฟฟ้า (แปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้สารกึ่งตัวนำ เช่น ไดโอด ,SCR) ในสภาวะการทำงานปกติลำดับของฮาร์โมนิกส์สามารถหาได้จาก

$$n = kp \pm 1$$

n = ลำดับของฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

k = เลขจำนวนเต็มบวกใดๆ

p = จำนวนพัลซ์ของเครื่องแปลงผันไฟฟ้า

4.4.2 ฮาร์โมนิกส์ที่ไม่เกิดจากคุณลักษณะ (Noncharacteristic Harmonic)

ฮาร์โมนิกส์ที่ไม่เกิดจากคุณลักษณะหมายถึงฮาร์โมนิกส์ที่ถูกสร้างโดยเครื่องแปลงผันไฟฟ้าไม่เป็นไปตามสมการ $n = kp \pm 1$ เช่น เครื่องแปลงผันไฟฟ้าชนิด 12 พัลส์ ควรจะมีเฉพาะฮาร์โมนิกส์คุณลักษณะที่มีลำดับ 11,13,23,25,35,37 ดังนั้นถ้ามีฮาร์โมนิกส์ที่มีลำดับเป็น 5,7,17,19 ปนมาด้วย ฮาร์โมนิกส์เหล่านี้ถือว่าเป็นฮาร์โมนิกส์ที่ไม่เกิดจากคุณลักษณะ

4.4.3 ฮาร์โมนิกส์ที่สามหารลงตัว

ฮาร์โมนิกส์ที่สามหารลงตัว หมายถึง ฮาร์โมนิกส์ลำดับสามหารลงตัวได้แก่ ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3,6 ,9 ซึ่งจัดอยู่กลุ่มลำดับ (sequnce) เป็นศูนย์ ในกรณีที่เป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย ฮาร์โมนิกส์กลุ่มนี้จะไหลอยู่ในสายนิวตรอน ทำให้เกิดปัญหากับระบบไฟฟ้าขึ้นเช่น สายนิวตรอนร้อนฉนวนเสียหาย เกิดลัดวงจร เป็นต้น

4. 5 แหล่งกำเนิดและผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

4.5.1 แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์

แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังมีอยู่มากมาย อุปกรณ์ที่ถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์มีดังต่อไปนี้

1. หม้อแปลงไฟฟ้า ในสภาวะปรกติหม้อแปลงไม่ทำให้เกิดความเพี้ยน แต่ถ้าหม้อแปลงทำงานเกินขอบเขตปกติ จะทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์ขึ้น กรณีหม้อแปลงไม่มีโหลดแรงดันปฐมภูมิรูปไซน์ของหม้อแปลงจะสร้างฟลักซ์รูปคลื่นไซน์ แต่กระแสปฐมภูมิจะไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ ที่เป็นเช่นนี้เพราะฟลักซ์ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสสร้างอำนาจแม่เหล็ก
2. เครื่องจักรไฟฟ้ามีลักษณะคล้ายหม้อแปลง คือในสภาวะอยู่ตัวมันไม่ทำให้เกิดการเพี้ยนแก่วงจร แต่ในขณะชั่วครู่หรือเครื่องจักรทำงานเกินขอบเขตจะทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์ขึ้น เครื่องจักรไฟฟ้าจะผลิตกระแสฮาร์โมนิกส์ในฟังก์ชั่นของความเร็ว กับจำนวนร่องของอาร์เมเจอร์ การออกแบบเครื่องจักรที่ดีต้องทำให้ฮาร์โมนิกส์มีค่าน้อยที่สุด
3. อุปกรณ์อาร์ก มีมากมายหลายชนิดซึ่งรวมถึงเตาอาร์กขนาดใหญ่และเครื่องเชื่อม อุปกรณ์ทั้งสองนี้ทำให้เกิดปัญหาฮาร์โมนิกส์และไฟกระพริบ
4. หลอดฟลูออเรสเซนต์ นิยมใช้กันมากในบ้านเรือนและในอุตสาหกรรมบางชนิดจึงถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ที่สำคัญ การปล่อยประจุในหลอดฟลูออเรสเซนต์ถือว่าเป็นแบบไม่เชิงเส้นอย่างมาก ซึ่งจะทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์อันดับคี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องแปลงผัน (converter) ใช้กันอย่างกว้างขวางตั้งแต่ในบ้านจนถึงในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ การที่เครื่องอุปกรณ์นี้ได้รับความนิยมอย่างมากเนื่องจากว่ามันมีประสิทธิภาพสูง

4.5.2 ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์

แรงดันและกระแสฮาร์โมนิกส์ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าดังนี้

- ทำให้เกิดการขยายระดับฮาร์โมนิกส์ เนื่องจากผลของรีโซแนนซ์อนุกรมและขนาน
- ทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้า การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและการใช้กำลังไฟฟ้ามีประสิทธิภาพลดลง
- ทำให้ฉนวนของอุปกรณ์เสื่อมสภาพ เป็นผลให้อายุการใช้งานสั้นลง
- ทำให้โรงจักรทำงานผิดพลาด

สำหรับผลกระทบที่มีต่อเครื่องจักรไฟฟ้า ทำให้เกิดการสูญเสียขณะมีโหลดและไม่มีโหลดเพิ่มขึ้น เป็นผลให้เครื่องจักรร้อนกว่าปรกติ นอกจากนี้ยังมีผลต่อประสิทธิภาพและแรงบิดด้วย

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสที่มีแหล่งจ่ายไม่เป็นรูปคลื่นไซน์จะสร้างคลื่นความหนาแน่นฟลักซ์รบกวนอย่างมาก เมื่อเทียบกับกรณีมีแหล่งจ่ายรูปคลื่นไซน์ ฮาร์โมนิกส์จะก่อให้เกิดการกระจายในช่องอากาศและทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า (Cogging) คือการที่ไม่สามารถเดินเครื่องได้

4.6 การแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์

ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีอุปกรณ์กำเนิดฮาร์โมนิกส์ถ้าไม่จำกัดฮาร์โมนิกส์ดังกล่าวก็จะทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ได้รับความเสียหาย ระบบที่มีอุปกรณ์กำเนิดฮาร์โมนิกส์มักจะมีเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ ดังนั้นจึงมีคาปาซิเตอร์ช่วยแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ ถ้าหากขนาดคาปาซิเตอร์ทำให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์ใกล้เคียงกับฮาร์โมนิกส์ใดจากอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำให้เกิดแรงดันและกระแสสูงในระบบทำให้อุปกรณ์เสียหายได้

การแก้ไขปัญหาฮาร์โมนิกส์สามารถทำได้หลายประการ

- เปลี่ยนตำแหน่งการติดตั้งหรือเปลี่ยนขนาดคาปาซิเตอร์
- ใส่ฟิลเตอร์ที่ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์
- ใส่ รีแอกเตอร์อนุกรมกับคาปาซิเตอร์เพื่อทำให้เป็นฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบรีลัคแทนซ์ชนิดไม่มีแปรงถ่าน

หลักการสร้างแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแบบไม่เป็นรูปคลื่นไซน์

จากโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบรีลัคแทนซ์ชนิดไม่มีแปรงถ่าน จะเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้า 3 เฟส มีขั้วแม่เหล็ก 16 ขั้ว จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามลักษณะขดลวดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าได้แก่ส่วนของขดลวดกระตุ้น และขดอาร์มาเจอร์ ซึ่งความแตกต่าง ระหว่างเครื่องจักรไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดนี้กับเครื่องจักรไฟฟ้าซิงโครนัสทั่วไปคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบรีลัคแทนซ์ชนิดไม่มีแปรงถ่าน จะไม่มีขดลวดที่โรเตอร์จึงมีความสามารถในการหมุนที่ความเร็วสูงได้ โดยที่ขดลวดอาร์มาเจอร์ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า 3 เฟส ในขณะที่อันดับของฮาร์โมนิกส์ที่ต้องการจะสามารถควบคุมที่ความเร็วที่โรเตอร์ ดังตัวอย่างการปรับฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 11 ความถี่ 550 Hz ความเร็วซิงโครนัสของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีขั้วแม่เหล็ก 16 ขั้วจะเท่ากับ 4125 รอบต่อนาที และระดับของศักดาไฟฟ้าจะสามารถปรับได้โดยการปรับไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนเข้ากับขดลวดกระตุ้นที่อยู่ที่สเตเตอร์

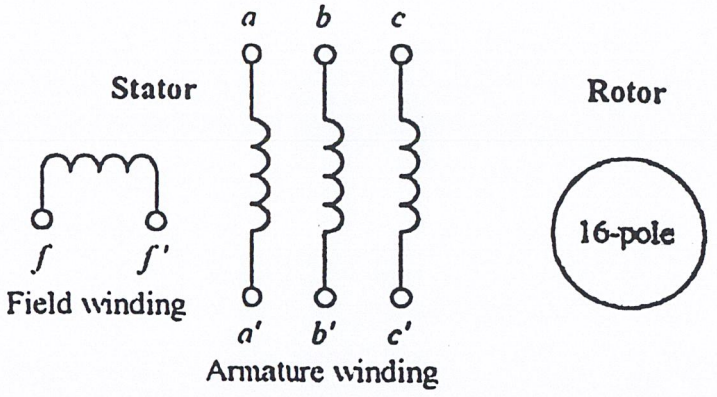


(a) (b) (c)

รูป5.1 โครงสร้างของ BSRG 16 ขั้ว

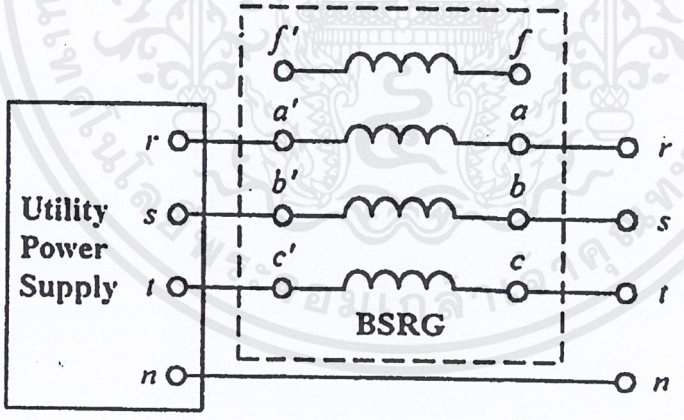
(a)สเตเตอร์และโรเตอร์ (b)โรเตอร์ (c)สเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป5.2 แสดงขดลวดของ BSRG

โดยมีสมการไฟฟ้าไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ที่ป้อนเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าจะประกอบด้วยศักดาไฟฟ้าที่มีความถี่มูลฐานรวมกับศักดาไฟฟ้าอันดับ k^{th} ของฮาร์โมนิกส์ จากศักดาไฟฟ้าของฮาร์โมนิกส์ที่ป้อนเข้าสามารถแบ่งเป็น 2 แบบตามการเรียงลำดับเฟสของฮาร์โมนิกส์ ซึ่งใช้การอ้างอิงจากการเรียงลำดับเฟสของศักดาไฟฟ้าความถี่มูลฐาน โดยมีสมการอันดับ k^{th} ของฮาร์โมนิกส์ศักดาไฟฟ้าลำดับเฟสบวก(positive sequence) ดังนี้



รูป 5.3 แสดงลำดับเฟสบวกของ BSRG

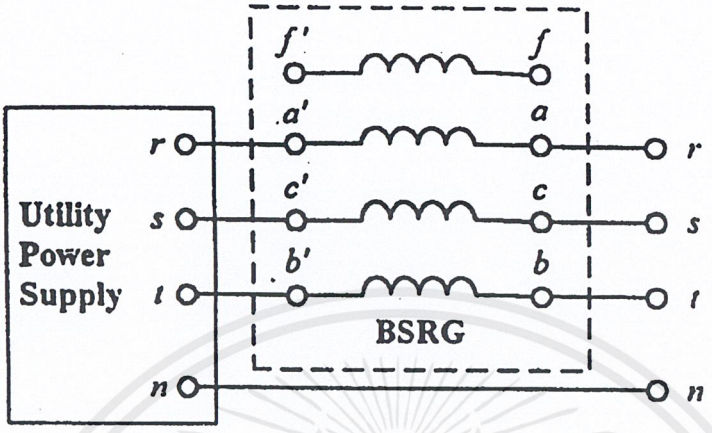
$$V_R(t) = V_{m,1}\sin(\omega_0 t) + V_{m,k}\sin(k\omega_0 t + \phi_k)$$

$$V_s(t) = V_{m,1}\sin(\omega_0 t - 120^o) + V_{m,k}\sin(k\omega_0 t - 120^o + \phi_k)$$

$$V_T(t) = V_{m,1}\sin(\omega_0 t - 240^o) + V_{m,k}\sin(k\omega_0 t - 240^o + \phi_k)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีสมการอันดับ k^{th} ของฮาร์โมนิกส์ศักดาไฟฟ้าลำดับเฟสลบ(negative sequence) ดังนี้



รูป 5.4 แสดงลำดับเฟสลบของ BSRG

$$V_R(t) = V_{m,1}\sin(\omega_0 t) + V_{m,k}\sin(k\omega_0 t + \phi_k)$$

$$V_S(t) = V_{m,1}\sin(\omega_0 t - 120^o) + V_{m,k}\sin(k\omega_0 t + 120^o + \phi_k)$$

$$V_T(t) = V_{m,1}\sin(\omega_0 t - 240^o) + V_{m,k}\sin(k\omega_0 t + 240^o + \phi_k)$$

เมื่อ $V_{m,1}$ เป็นค่าศักดาไฟฟ้าความถี่มูลฐาน

$V_{m,k}$ เป็นค่าศักดาไฟฟ้าอันดับ k^{th} ฮาร์โมนิกส์

k เป็นอันดับของฮาร์โมนิกส์

0 เป็นค่าความเร็วเชิงมุมความถี่มูลฐาน

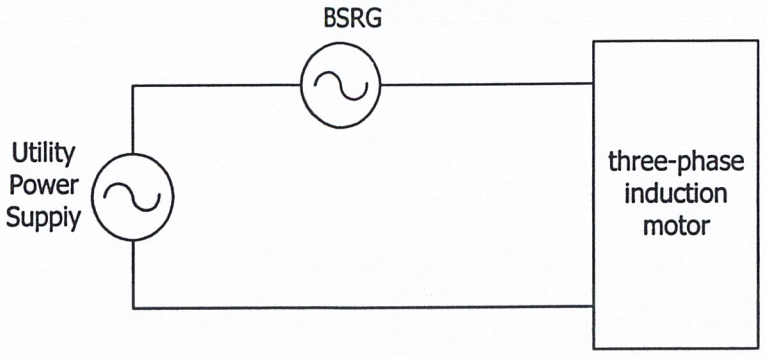
ϕ_k เป็นค่ามุมเฟสของศักดาไฟฟ้าอันดับ k^{th} ฮาร์โมนิกส์

ค่าของศักดาไฟฟ้าที่เพี้ยนไปซึ่งเป็นผลเนื่องจากฮาร์โมนิกส์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อสร้างศักดาไฟฟ้าไม่เป็นรูปคลื่นไซน์สามารถแสดงในค่าตัวประกอบความเพี้ยนของศักดาไฟฟ้า(VDF)ดังนี้

$$\text{VDF}(\%) = \frac{V_{m,k}}{V_{m,1}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีลักษณะการต่อ BSRG อนุกรมเข้ากับระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อป้อนศักดาไฟฟ้าไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ดังรูป



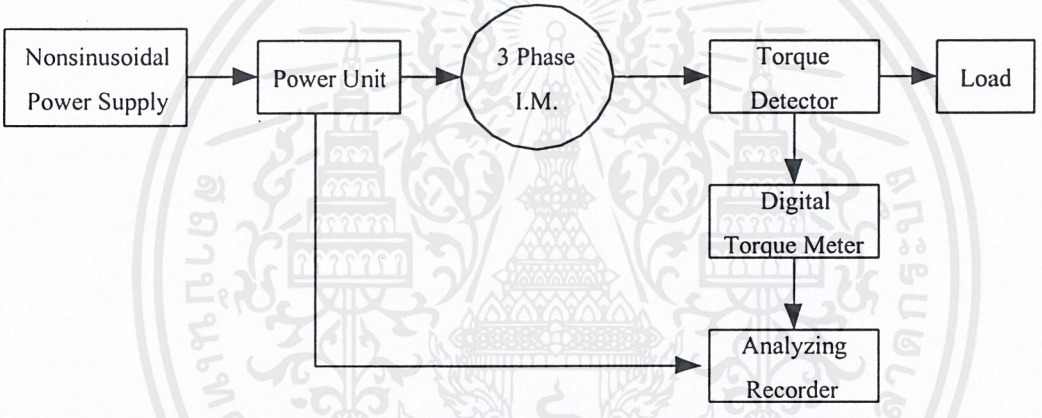
รูป 5.5. แผนภูมิการต่อ BSRG เข้ากับระบบไฟฟ้าเพื่อกำเนิดศักดาไฟฟ้าไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ป้อนให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
วงจรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

6.1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

การทดสอบนี้อาศัยหลักการของ BSRG ร่วมกับ Unity Power Supply เพื่อสร้างแหล่งกำเนิดศักดาไฟฟ้าแบบไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ โดยทำการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอก 3 เฟส 380 โวลท์ 50 เฮิรทซ์ 4 ขั้วแม่เหล็ก จำนวน 3 ตัวประกอบด้วยขนาด 5 แรงม้า, 3 แรงม้า และ 1 แรงม้าโดยมีบล็อกไดอะแกรมการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสดังนี้



รูป 6.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

- Nonsinusoidal power supply ทำหน้าที่จ่ายศักดาไฟฟ้าแบบไม่เป็นรูปคลื่นไซน์
- Power unit ทำหน้าที่แปลงสภาวะศักดาและกระแสไฟฟ้าเพื่อป้อนให้ Analyzing recorder
- Torque detector ทำหน้าที่วัดแรงบิดและความเร็วรอบที่เพลาของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
- Digital torque and meter ทำหน้าที่แสดงผลค่าแรงบิดและความเร็วรอบที่เพลาของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
- Load ทำหน้าที่เป็นภาระทางกลให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยโหลดที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง(D.C. generator)ซึ่งเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะต่ออยู่กับ Torque detector ที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
- Analyzing recorder ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลศักดาและกระแสไฟฟ้า
- เครื่องมืออื่นๆ เช่น VARIAC 1 เฟส จำนวน 3 ตัว Amp meter ,Volt meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 วิธีการทดลอง

1 ต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองตาม บล็อกไดอะแกรม

2.ทำการเริ่มหมุนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ต้องการทดลองโดยปรับUtility power supply (แหล่งจ่ายไฟจากการไฟฟ้า) ค่อยๆปรับ Variac 1 เฟส 3 ตัว ที่นำมาต่อเข้าด้วยกันเป็น Variac 3 เฟส พร้อมๆกันจนถึงค่าพิกัดแรงดันของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำหากเราให้หมุนโดยตรงอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ Torque detector ได้จากการกระชากในขณะเริ่มหมุน ในการเลือกใช้ Variac 1เฟส มาต่อเป็น3 เฟส มีข้อดีคือว่าเราสามารถปรับค่าแรงดันในแต่ละเฟส เพื่อให้ได้แรงดันที่เท่ากันทุกเฟสได้

3.ทำการเดินเครื่อง BSRG โดยปรับความเร็วของ มอเตอร์ที่เพลาถูกเชื่อมโยงอยู่กับ BSRG โดยสายพาน และทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวดสนาม(Field winding) BSRG จะสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สามารถควบคุมความถี่ได้ เมื่อรวมกับ แหล่งจ่ายจากการไฟฟ้าทำให้เราได้แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าที่ไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

4.ทำการเพิ่มโหลดจาก 0 - 100% โดยการเปิดหลอดไฟที่เป็นโหลดให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงอีกที่หนึ่ง เมื่อเปิดหลอดไฟเพิ่มขึ้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงก็ต้องการแรงบิดที่เพลามากขึ้น มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เราต้องการทดสอบก็จะดึงกระแสมากขึ้น ทำการบันทึกค่ากระแสและแรงดันโดยเครื่อง Analyzing recorder บันทึกค่าความเร็วรอบและแรงบิดลงในตาราง

5.นำค่าต่างๆมาคำนวณเพื่อหาผลกระทบต่างๆที่เกิดจากแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

กระบวนการในการทดสอบ

1. No load Test

การทดสอบทำโดยการเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าโดยไม่เชื่อมต่อกับโหลดที่พิกัดกระแสและแรงดัน แต่เพื่อให้ค่าของ การสูญเสียที่เกิดจากแรงเสียดทานอันอาจจะเกิดจากอุปกรณ์เชื่อมต่อและลูกปืนซึ่งช่วงแรกจะยังมีความฝืดอยู่ มีค่าคงที่ควรเดินเครื่องทิ้งไว้ก่อนจนกระทั่งค่าของ กำลังไฟฟ้าทางด้านเข้ามีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 3% ที่ ระดับแรงดันเท่ากันโดยวัดทุกๆครึ่งชั่วโมง ข้อมูลต่างๆจะถูกบันทึกโดยเครื่อง Analyzing Recorder ในรูปแบบ ASCII ซึ่งเราสามารถที่จะนำข้อมูลเหล่านี้มาคำนวณหาค่าต่างๆได้

1.1 การสูญเสียขณะไม่มีโหลด(No load loss)

ในการทดสอบ No load test นั้นค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุทคือค่าความสูญเสียทั้งหมดขณะไม่มีโหลด หากนำค่าการสูญเสียที่สเตเตอร์(I^2R)มาลบออก ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นผลรวมของค่าความสูญเสียอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานและลมกับความสูญเสียในแกนเหล็ก(Friction ,Windage and Core loss)

1.2 **การสูญเสียอันเนื่องมาจากจากแรงเสียดทานและลม(Friction and windage Loss)**

ในการทดลองเพื่อหาค่าความสูญเสียอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานและลมทำได้โดยค่อยๆลดระดับแรงดันจากที่ 125% บันทึกค่ากระแสและแรงดันทำอย่างนี้ไปจนกระทั่งถึงจุดที่กระแสมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้น จากนั้นคำนวณหาค่าของ W ตามสมการด้านล่าง

$$W = \text{No load loss- Stator } I^2R \tag{7.1}$$

ซึ่ง W นี้เป็นผลรวมของค่าความสูญเสียระหว่างความสูญเสียในแกนเหล็ก กับ ความสูญเสียอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานและลม การหาค่าความสูญเสียอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานและลมหาได้โดย การนำค่า W มาพล็อตกราฟเทียบกับแรงดัน เส้นโค้งจะตกลงเรื่อยๆและหากลากเส้นต่อไปหาตำแหน่งแนวแกนที่แรงดันเป็นศูนย์ที่จุดนี้เป็นค่าของการสูญเสียของแรงเสียดทานและลม ค่าที่ได้จะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นหาก พล็อตค่า W เทียบกับค่า แรงดันยกกำลังสอง ในช่วงที่แรงดันต่ำๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การสูญเสียในแกนเหล็ก

วิธีการหาค่าการสูญเสียในแกนเหล็กขณะไม่มีโหลดสามารถหาได้โดยการนำค่าของ W ลบออกด้วย ค่าการสูญเสียรวมของแรงเสียดทานและลมที่หาได้จากวิธีการด้านบน

$$\text{Core loss}=\text{W-Friction and Windage loss} \tag{7.2}$$

1.4 Stray load loss

stray load loss นี้เป็นการสูญเสียอันนอกเหนือไปจากการสูญเสียที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆหากใช้ Method F,F1 จะใช้ค่าStray load loss โดยการประมาณค่าจากตาราง 7.1

ตาราง 7.1 Assumed values for stray load loss

Machine rating		Stray load loss percent of rate output
1-125 hp	1-90kW	1.8%
126-500 hp	91-375 kW	1.5%
501-2499 hp	376-1853kW	1.2%
2500 hpและมากกว่า	1851kWและมากกว่า	0.9%

สำหรับพิกัดโหลดอื่นๆ จะสมมติให้ค่า สูญเสีย Stray load loss แปรผันกับค่ากำลังสองของกระแสโรเตอร์

$$W_{LL} = W_{LL}^{'}\left(\frac{I_2}{I_2^{'}}\right)^2 \tag{7.3}$$

$W_{LL}^{'}$ =ค่าของ Stray load loss ที่ค่า $I_2^{'}$

I_2 =ค่าของกระแสโรเตอร์เพื่อหาค่า W_{LL}

$I_2^{'}$ =ค่าของกระแสโรเตอร์ที่พิกัดของมอเตอร์

2 Impedance Test

การคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์หาได้หลายวิธีซึ่งในที่นี้เราเลือกใช้วิธีที่1สำหรับค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้นี้เป็นค่าณ.อุณหภูมิของมอเตอร์ขณะทดสอบซึ่งหมายความว่าต้องมีการแปลงกลับไปสู่อุณหภูมิที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 Lock rotor and load point test(Method4)

ค่าของ X1 , X2, Xm และ Rfe สามารถหาได้จากการทดสอบ Lock Rotor และNo load test ที่ความถี่พิกัดมีกระบวนการตาม(Method1,2) สำหรับวิธีการนี้ มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำอาจจะไม่เชื่อมต่อกับโหลด หรืออาจเชื่อมต่ออยู่กับโหลดก็ได้ ค่าR2 สามารถหาได้จากกระบวนการด้านล่างหลังจากที่ค่าพารามิเตอร์อื่นๆหาค่าได้แล้ว

1 คำนวณ V2 โดยใช้สมการ

$$V_2 = \sqrt{\left[V_1 - I_1 X_1 \sin\theta_1 + R_1 \cos\theta_1\right]^2 + \left[I_1 X_1 \cos\theta_1 + I_1 R_1 \sin\theta_1\right]^2} \qquad (7.4)$$

2 คำนวณ Q2 จากสมการ

$$\theta_2 = \arctan \frac{I_1 (X_1 \cos\theta + R_1 \sin\theta_1)}{V_1 - I_1 \left(X_1 \sin\theta_1 + R_1 \cos\theta_1\right)} \qquad (7.5)$$

3 คำนวณ *Ie* และ *Ife* จากสมการ

$$I_{fe} = \frac{\left(\frac{W_n}{m}\right)}{V_2} \qquad (7.6)$$

$$I_e = \frac{V_2}{X_m} \qquad (7.7)$$

4 คำนวณ I_2 ได้จากสมการ

$$I_2 = \left(I_1 \cos\theta_1 + I_e \sin\theta_2 + I_{fe} \cos\theta_2\right)^2 + \left(I_1 \sin\theta_1 - I_e \cos\theta_2\right) \qquad (7.8)$$

5 คำนวณ ค่าอิมพีแดนซ์ของโรเตอร์ Z_2 จากสมการ

$$Z_2 = \frac{V_2}{I_2} \qquad (7.9)$$

6 คำนวณหาค่า R_2/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{R_2}{s} = \sqrt{Z_2^2 - X_2^2} \qquad (7.10)$$

7 ค่า R2 สามารถหาได้จากการคูณค่าของ R_2/s ด้วยค่า เปอร์ยูนิตสลิป และแปลงค่า R2 ไปที่อุณหภูมิจำเพาะ

3 Test method C/F,E/F,or E1/F1 - equivalent circuit calibrated with one load point

การปรับแต่งวงจรสมมูลด้วยการจ่ายโหลดดังนี้

1 ใช้ Form F3 (ตารางที่ 7.3) แต่เริ่มต้นที่บรรทัดที่ 2 โดยสมมติค่าของ R_2/s สำหรับการทดสอบโหลด และค่าของ R1 เปลี่ยนแปลงไปตามค่า อุณหภูมิของขดลวดสเตเตอร์ จนถึงบรรทัดที่ 21 ตรวจสอบค่าที่คำนวณผ่านมาทั้งหมดกับค่าที่ได้จากการวัดของ กระแสป้อนเข้า และกำลังไฟฟ้าป้อนเข้า

2 ปรับค่าของ R_2/s และค่า Xm และทำการคำนวณซ้ำจนกระทั่งค่าของกระแสป้อนเข้าและกำลังป้อนเข้าที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัด มีความแตกต่างกันไม่เกิน 1% โดยที่ค่า พารามิเตอร์อื่นๆไม่เปลี่ยนแปลง(ค่าของ กำลังไฟฟ้าป้อนเข้าขึ้นกับค่าของ R_2/s)

3 หาค่า R2 ได้โดยการ การคูณค่าของ R_2/s กับค่าของ s ที่ได้จากการวัด ซึ่งขั้นตอนนี้จะได้ค่าของ R2 ที่สามารถยอมรับได้(ยังไม่ได้แปลงไปสู่อุณหภูมิที่ถูกต้อง) เพื่อใช้คำนวณค่าของคุณลักษณะของมอเตอร์ได้

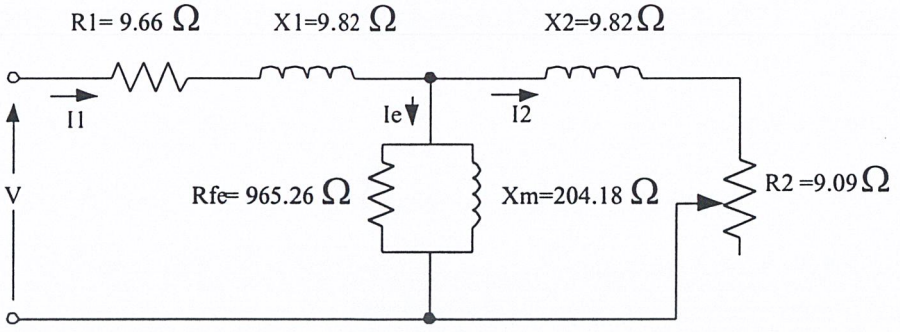
4 ทำการแปลงค่า R1 และ R2 ไปที่ อุณหภูมิจำเพาะ ซึ่งเป็นอุณหภูมิของขดลวด Stator แต่หากไม่ได้วัดค่าของอุณหภูมินี้ที่พิกัดโหลดเราสามารถหาค่าความต้านทานของขดลวดโดยใช้อุณหภูมิที่มีให้ตามตาราง 7.2

ตาราง 7.2 Specified Temperataure

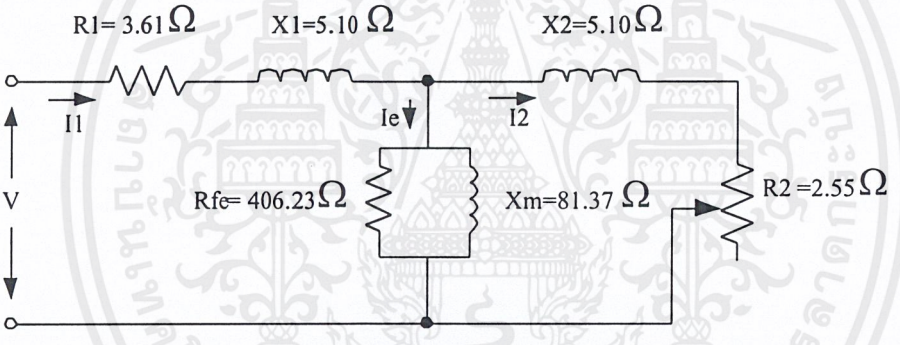
Class of insulation system	Temperature in C
A	75
B	95
F	115
H	130

หลังจากนั้นจึงคำนวณคุณลักษณะมอเตอร์ตามตาราง Form F3

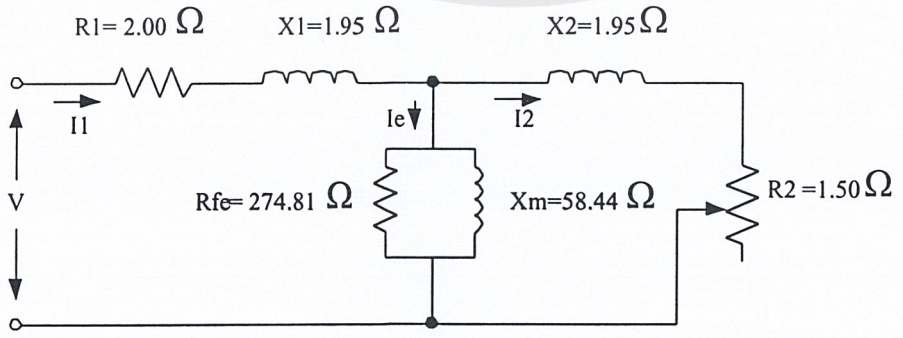
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 7.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า



รูป 7.2 วงจรสมมูลมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า



รูป 7.3 วงจรสมมูลมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ขนาด 5 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 7.3.1 Form F3 – Methods F,F1,C/F,E/F,and E/F1

Serial No_____ Model No_____

Type ____B____ hp/kW ___1 hp___Voltage ___380__Synchronous Speed 1500 Phase 3 Frequency _50___

Before starting calculation ,Fill in following items,obtained from previous tests

R2=__9.09__v =phase volts _220 v___I_1_2.19A__and W_{LL}_13.42 W

also all the item below that marked with an asterisk

Assume a value of corresponding to expected full-load point and proportional values for other loads. For motor operation ,s is positive . For generator operation ,s is negative . Numbers in ( ) represent item numbers

Item	Description (Motoring) (generating)	1	2	3	4	5	6
1	s=slip,per unit	0.0027	0.0200	0.0333	0.0473	0.0647	0.0820
2	.r2/s	3408.750	454.5000	272.7000	192.0423	140.5670	110.8537
*3	.x2=	9.8200	9.8200	9.8200	9.8200	9.8200	9.8200
4	$.z_2^2=(2)^2+(3)^2$	1161967	206666.6	74461.72	36976.65	19855.51	12384.96
5	.g1=(2)(4)	0.0003	0.0022	0.0037	0.0052	0.0071	0.0090
*6	.gfc	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
7	G=(5)+(6)	0.0013	0.0032	0.0047	0.0062	0.0081	0.0100
8	-b2=(30)/(4)	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003	0.0005	0.0008
*9	-bm=	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049
10	-b=(8)+(9)	0.0049	0.0049	0.0050	0.0052	0.0054	0.0057
11	$Y^2=(2)^2+(3)^2$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001
12	$.r_2=(7)/(11)$	51.6006	92.6430	99.1828	95.1568	85.4828	75.5904
*13	.r1=resistance per phase	9.6600	9.6600	9.6600	9.6600	9.6600	9.6600
14	.r=(12)+(13)	61.2606	102.3030	108.8428	104.8168	95.1428	85.2504
15	.xg=(10)/(11)	190.1414	141.6099	106.1755	78.8678	56.7978	43.0725
*16	.x1=	9.8200	9.8200	9.8200	9.8200	9.8200	9.8200
17	.x=(15)+(16)	199.9614	151.4299	115.9955	88.6878	66.6178	52.8925
18	.z=/(14)	209.1349	182.7482	159.0652	137.3029	116.1468	100.3256
19	I_1=v/(18)	1.0520	1.2038	1.3831	1.6023	1.8942	2.1929
20	I_2=I1/(4)(11)	0.0608	0.4481	0.7364	1.0298	1.3796	1.7143
21	Stator power in,$W=m.(19)^2.(14)^2$	203.3735	444.7835	624.6206	807.3056	1024.066	1229.812
22	Sec.Input=$m.(20)^2.(14)$	37.8033	273.8025	443.6767	611.0208	802.6359	977.3370
23	Stator $I^2R=m.(19)^2.(13)$	32.0694	41.9989	55.4362	74.4019	103.9751	139.3541
24	Core Loss=$m.(19)^2.(6).(11)$	133.5009	128.9822	125.5077	121.8828	117.4552	113.1214
25	Sec. $I^2R=(1).(22)$	0.1008	5.4760	14.7892	28.9217	51.9038	80.1416
26	Friction and Windage Loss	3.6000	3.6000	3.6000	3.6000	3.6000	3.6000
27	$WLL=WLL'.[(20)/I1]^2$	13.4200	13.4200	13.4200	13.4200	13.4200	13.4200
28	Losses=Items(23) through(27)	182.6911	193.4771	212.7531	242.2264	290.3540	349.6372
29	Shaft power ,in W,=(21).(28)	20.6825	251.3064	411.8674	565.0792	733.7121	880.1754
30	Efficiency,in %=(see below)	10.1697	56.5008	65.9388	69.9957	71.6469	71.5699
31	Power Factor ,in %	0.2929	0.5598	0.6843	0.7634	0.8192	0.8497
32	Shaft power ,in Hp,=(29)/745.7	0.0277	0.3370	0.5523	0.7578	0.9839	1.1803
33	Speed =[1-(1)].synchronous speed	1496.000	1470.000	1450.000	1429.000	1403.000	1377.000
34	Torque=KT.(29)/(33)	0.1320	1.6325	2.7124	3.7760	4.9937	6.1037

(30) Efficiency ,in % = (29).100/(21) for motoring operation

= (21).100/(29) for generating operation

For Torque in	K_T =
Lb.ft	7.043
N.m	9.549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 7.3.2 Form F3 – Methods F,F1,C/F,E/F,and E/F1

Serial No_____ Model No_____

Type ____B____ hp/kW ___3hp___Voltage __380__Synchronous Speed __1500__Phase _3__Frequency_50__

Before starting calculation ,Fill in following items,obtained from previous tests

R2=__2.55___v =_____220_____phase volts I_1 __4.47 A__and W_{LL} _40.28 W

Also all the item below that marked with an asterisk

Assume a value of corresponding to expected full-load point and proportional values for other loads. For motor operation ,s is positive . For generator operation ,s is negative . Numbers in ( ) represent item numbers

Item	Description (Motoring) (generating)	1	2	3	4	5	6
1	s=slip,per unit	0.0020	0.0127	0.0240	0.0353	0.0480	0.0613
2	.r2/s	1275.000	201.3158	106.2500	72.1698	53.1250	41.5761
*3	.x2=	5.1000	5.1000	5.1000	5.1000	5.1000	5.1000
4	.$z_2^2=(2)^2+(3)^2$	1625651.	40554.05	11315.07	5234.491	2848.275	1754.581
5	.g1=(2)(4)	0.0008	0.0050	0.0094	0.0138	0.0187	0.0237
*6	.gfc	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
7	G=(5)+(6)	0.0032	0.0074	0.0119	0.0162	0.0211	0.0262
8	-b2=(30)/(4)	0.0000	0.0001	0.0005	0.0010	0.0018	0.0029
*9	-bm=	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123
10	-b=(8)+(9)	0.0123	0.0124	0.0127	0.0133	0.0141	0.0152
11	$Y^2=(2)^2+(3)^2$	0.0002	0.0002	0.0003	0.0004	0.0006	0.0009
12	.r_m=(7)/(11)	20.0806	35.4822	39.1433	36.9329	32.7836	28.5831
*13	.r1=resistance per phase	3.6100	3.6100	3.6100	3.6100	3.6100	3.6100
14	.r=(12)+(13)	23.6906	39.0922	42.7533	40.5429	36.3936	32.1931
15	.xg=(10)/(11)	76.0468	59.3233	42.0777	30.1478	21.8628	16.6055
*16	.x1=	5.1000	5.1000	5.1000	5.1000	5.1000	5.1000
17	.x=(15)+(16)	81.1468	64.4233	47.1777	35.2478	26.9628	21.7055
18	.z=/(14)	84.5343	75.3562	63.6678	53.7228	45.2933	38.8268
19	I_1=v/(18)	2.6025	2.9195	3.4554	4.0951	4.8572	5.6662
20	I_2=I1/(4)(11)	0.1605	1.0021	1.8669	2.6985	3.5863	4.4716
21	Stator power in,W=m.$(19)^2$.$(14)^2$	481.3682	999.5826	1531.430	2039.691	2575.863	3100.741
22	Sec.Input=m.$(20)^2$.(14)	98.5866	606.5126	1110.894	1576.583	2049.818	2493.950
23	Stator I^2R=m.$(19)^2$.(13)	73.3513	92.3072	129.3107	181.6171	255.5084	347.7040
24	Core Loss=m. $(19)^2$.(6).(11)	309.4304	300.7629	291.2253	281.4907	270.5368	259.0870
25	Sec. I^2R=(1).(22)	0.1972	7.6825	26.6615	55.7060	98.3913	152.9623
26	Friction and Windage Loss	7.6000	7.6000	7.6000	7.6000	7.6000	7.6000
27	WLL=WLL'.$[(20)/I1]^2$	40.2860	40.2860	40.2860	40.2860	40.2860	40.2860
28	Losses=Items(23) through(27)	430.8648	448.6386	495.0835	566.6997	672.3226	807.6393
29	Shaft power ,in W,=(21).(28)	50.5034	550.9441	1036.346	1472.992	1903.540	2293.102
30	Efficiency,in %=(see below)	10.4916	55.1174	67.6718	72.2164	73.8991	73.9533
31	Power Factor ,in %	0.2802	0.5188	0.6715	0.7547	0.8035	0.8291
32	Shaft power ,in Hp,=(29)/745.7	0.0677	0.7388	1.3898	1.9753	2.5527	3.0751
33	Speed =[1-(1)].synchronous speed	1497.000	1481.000	1464.000	1447.000	1428.000	1408.000
34	Torque=KT.(29)/(33)	0.3221	3.5523	6.7596	9.7205	12.7289	15.5517

(30) Efficiency ,in % = (29).100/(21) for motoring operation

= (21).100/(29) for generating operation

For Torque in	K_T =
Lb.ft	7.043
N.m	9.549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 7.3.3 Form F3 – Methods F,F1,C/F,E/F,and E/F1

Serial No_____ Model No_____

Type __B__ hp/kW ___5 hp___Voltage __380___Synchronous Speed __1500___Phase __3___Frequency__50__

Before starting calculation ,Fill in following items,obtained from previous tests

R2=__1.50____v =phase volts __220____.and I_1 __7.109 A__and W_{LL} 67.05W

Also all the item below that marked with an asterisk

Assume a value of corresponding to expected full-load point and proportional values for other loads. For motor operation ,s is positive . For generator operation ,s is negative . Numbers in ( ) represent item numbers

Item	Description (Motoring) (generating)	1	2	3	4	5	6
1	s=slip,per unit	0.0013	0.0080	0.0153	0.0240	0.0320	0.0400
2	.r2/s	1125.000	187.5000	97.8261	62.5000	46.8750	37.5000
*3	.x2=	1.9500	1.9500	1.9500	1.9500	1.9500	1.9500
4	$.z_2^2=(2)^2+(3)^2$	1265628.	35160.05	9573.745	3910.052	2201.068	1410.052
5	.g1=(2)(4)	0.0009	0.0053	0.0102	0.0160	0.0213	0.0266
*6	.gfc	0.0036	0.0036	0.0036	0.0036	0.0036	0.0036
7	G=(5)+(6)	0.0045	0.0090	0.0139	0.0196	0.0249	0.0302
8	-b2=(30)/(4)	0.0000	0.0001	0.0002	0.0005	0.0009	0.0014
*9	-bm=	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171
10	-b=(8)+(9)	0.0171	0.0172	0.0173	0.0176	0.0180	0.0185
11	$Y^2=(2)^2+(3)^2$	0.0003	0.0004	0.0005	0.0007	0.0009	0.0013
12	$.r_c=(7)/(11)$	14.4491	23.9118	28.1741	28.2270	26.3676	24.0691
*13	.r1=resistance per phase	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
14	.r=(12)+(13)	16.4491	25.9118	30.1741	30.2270	28.3676	26.0691
15	.xg=(10)/(11)	54.6118	45.7547	35.2054	25.3314	19.0312	14.7235
*16	.x1=	1.9500	1.9500	1.9500	1.9500	1.9500	1.9500
17	.x=(15)+(16)	56.5618	47.7047	37.1554	27.2814	20.9812	16.6735
18	.z=/(14)	58.9051	54.2877	47.8644	40.7179	35.2836	30.9452
19	I_c=v/(18)	3.7348	4.0525	4.5963	5.4030	6.2352	7.1093
20	I_c=I1/(4)(11)	0.1875	1.1157	2.1182	3.2771	4.3218	5.3419
21	Stator power in,$W=m.(19)^2.(14)^2$	688.3406	1276.616	1912.389	2647.229	3308.592	3952.816
22	Sec.Input=$m.(20)^2.(14)$	118.7038	700.2536	1316.723	2013.660	2626.536	3210.303
23	Stator $I^2R=m.(19)^2.(13)$	83.6933	98.5356	126.7568	175.1566	233.2656	303.2570
24	Core Loss=$m.(19)^2.(6).(11)$	485.9436	477.8274	468.9096	458.4124	448.7899	439.2559
25	Sec. $I^2R=(1).(22)$	0.1583	5.6020	20.1898	48.3279	84.0492	128.4121
26	Friction and Windage Loss	12.5000	12.5000	12.5000	12.5000	12.5000	12.5000
27	$WLL=WLL'.[(20)/I1]^2$	67.0500	67.0500	67.0500	67.0500	67.0500	67.0500
28	Losses=Items(23) through(27)	649.3451	661.5150	695.4062	761.4469	845.6548	950.4750
29	Shaft power ,in W_c=(21).(28)	38.9955	615.1016	1216.983	1885.783	2462.937	3002.341
30	Efficiency,in %=(see below)	5.6651	48.1822	63.6368	71.2361	74.4406	75.9545
31	Power Factor ,in %	0.2792	0.4773	0.6304	0.7424	0.8040	0.8424
32	Shaft power ,in Hp_c=(29)/745.7	0.0523	0.8249	1.6320	2.5289	3.3029	4.0262
33	Speed =[1-(1)].synchronous speed	1498.000	1488.000	1477.000	1464.000	1452.000	1440.000
34	Torque=KT.(29)/(33)	0.2486	3.9473	7.8680	12.3001	16.1974	19.9093

(30) Efficiency ,in % = (29).100/(21) for motoring operation

= (21).100/(29) for generating operation

For Torque in	K_T =
Lb.ft	7.043
N.m	9.549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

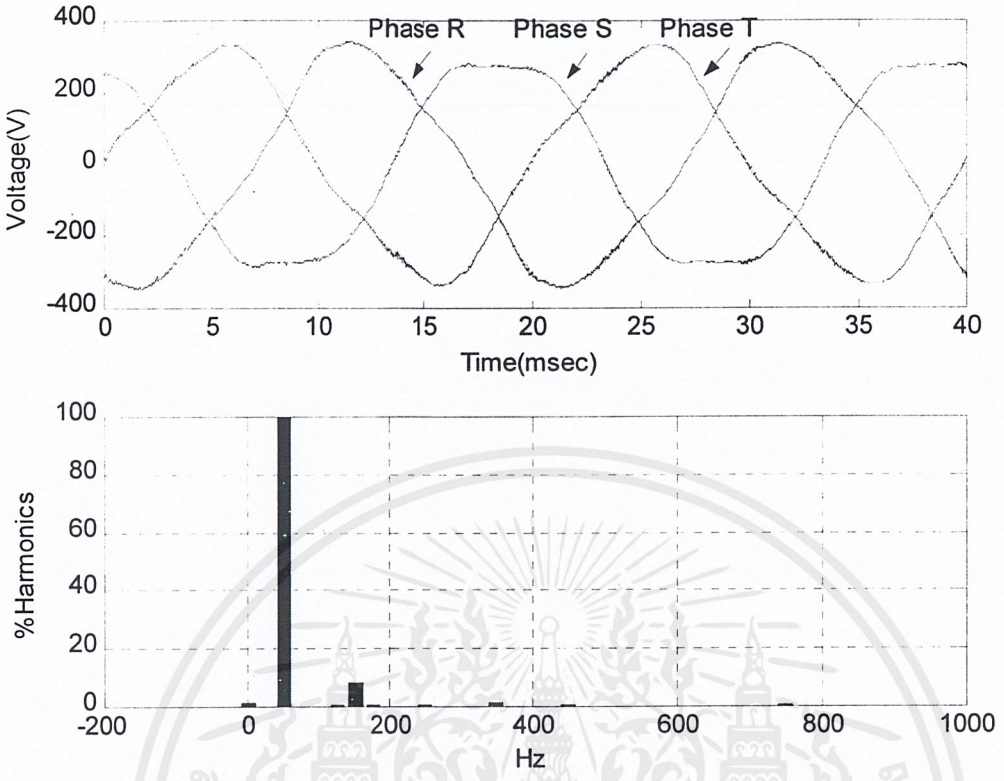
บทที่ 8
ผลการทดลอง

การทดลองนี้ได้ทำการทดลองด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดโรเตอร์กรงกระรอกจำนวน 3 ตัวประกอบด้วย 1 แรงม้า, 3 แรงม้า และ 5 แรงม้า ซึ่งได้ทำการจ่ายฮาร์โมนิกส์ที่มี VDF 10%, 15% และ 20% ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

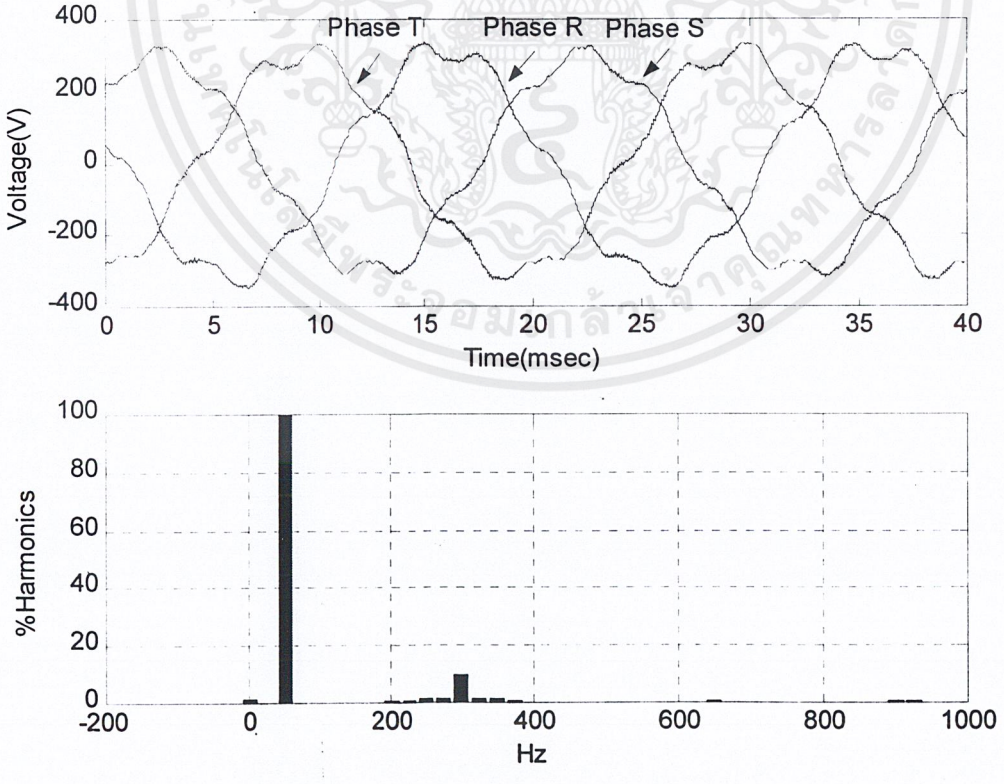
8.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า

การทดลองนี้เป็นการทดลองที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า ซึ่งมีความเร็วรอบที่พิกัดเป็น 1400 รอบต่อนาทีและมีค่ากระแสที่พิกัดขนาด 2 แอมแปร์ และทำการต่อแบบสตาร์ ซึ่งทำโดยการป้อนศักดาไฟฟ้าที่ไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำและทำการเพิ่มภาระของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจนกระทั่งถึงค่าที่พิกัด และทำการบันทึกค่าศักดาไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าไว้ ซึ่งสามารถแสดงผลของการป้อนศักดาไฟฟ้าที่ไม่เป็นรูปไซน์ได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

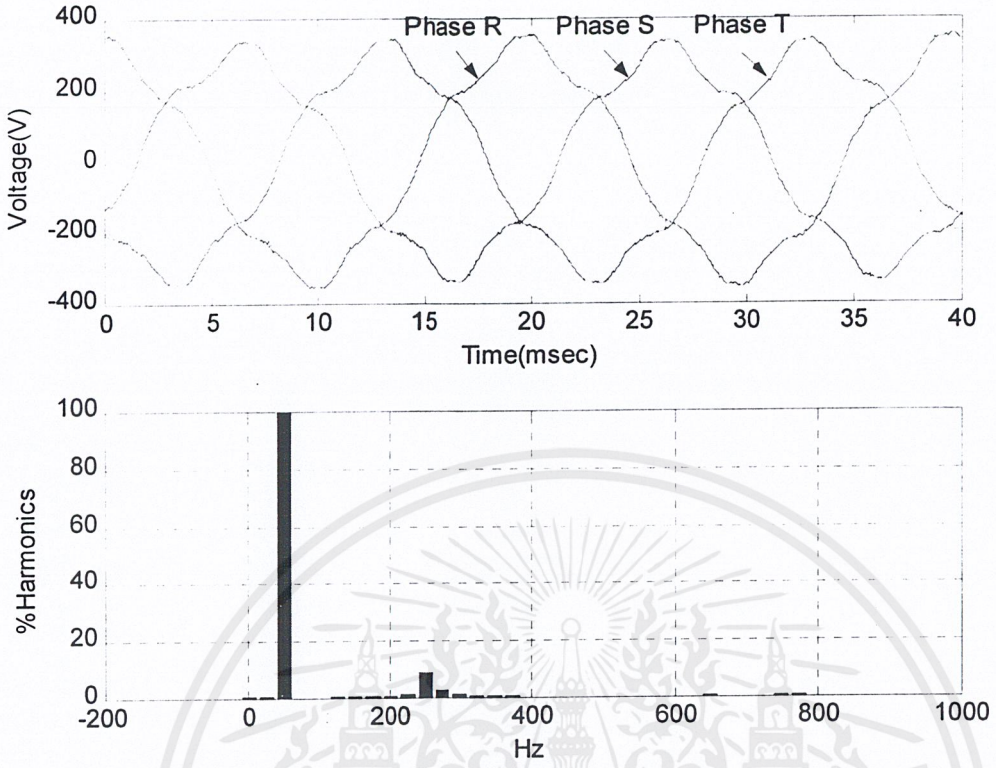


รูป 8.1.1 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 3,Vdf 10 % ลำดับเฟสลบ

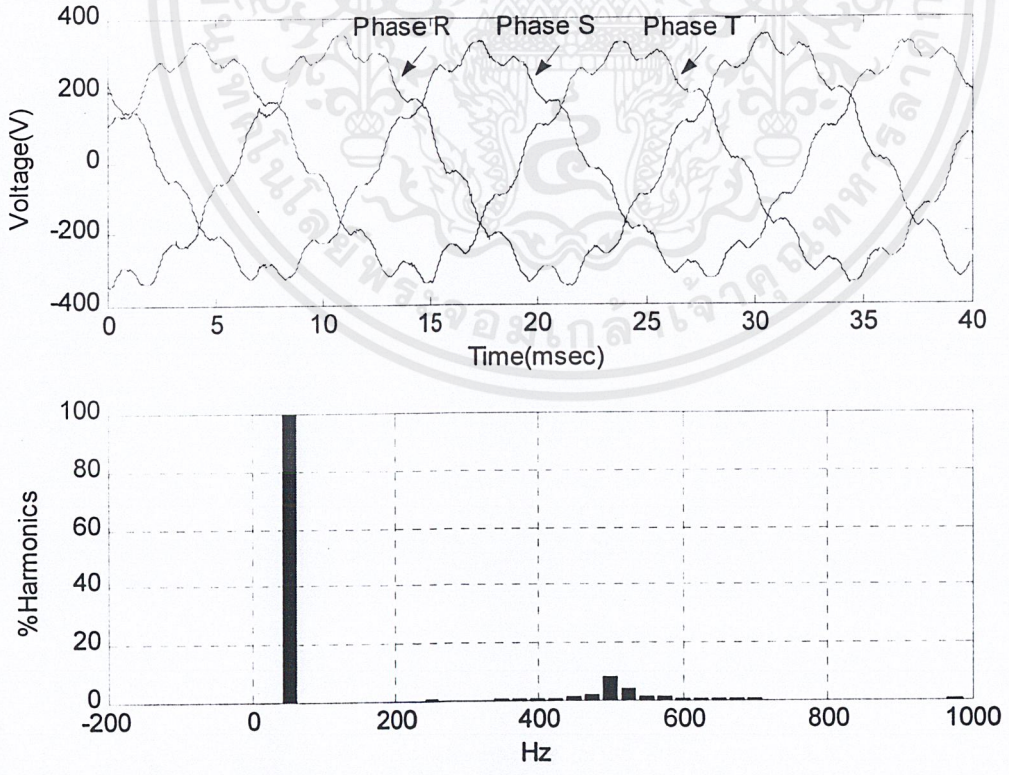


รูป 8.1.2 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,Vdf 10 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

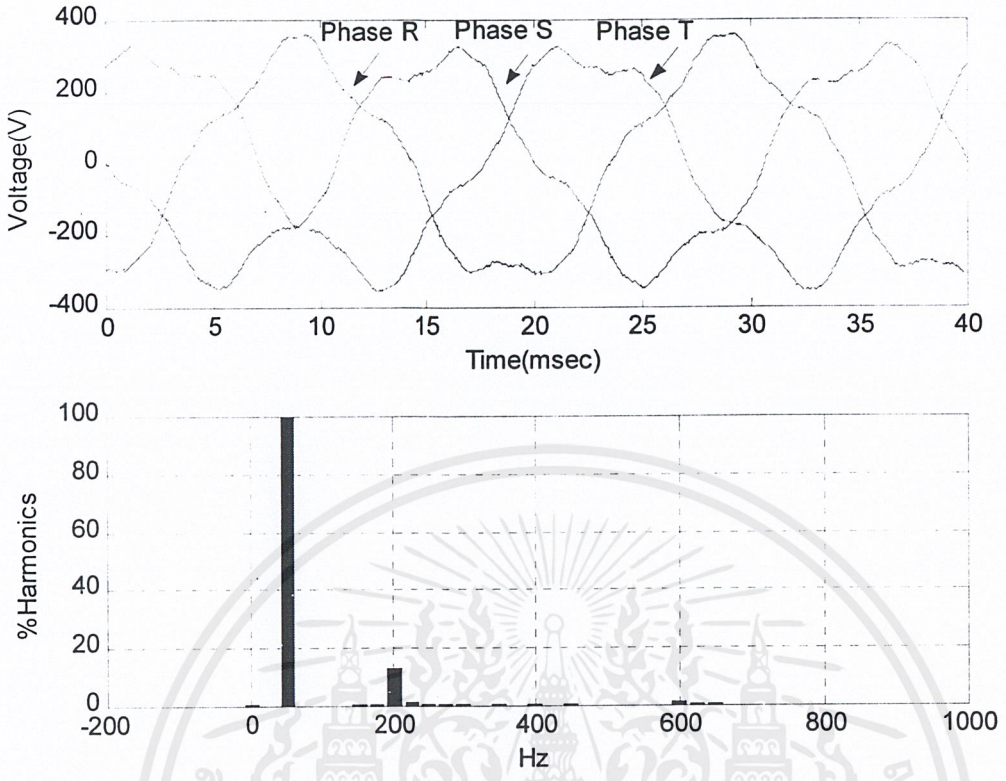


รูป 8.1.3 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 5,Vdf 10 % ลำดับเฟสลบ

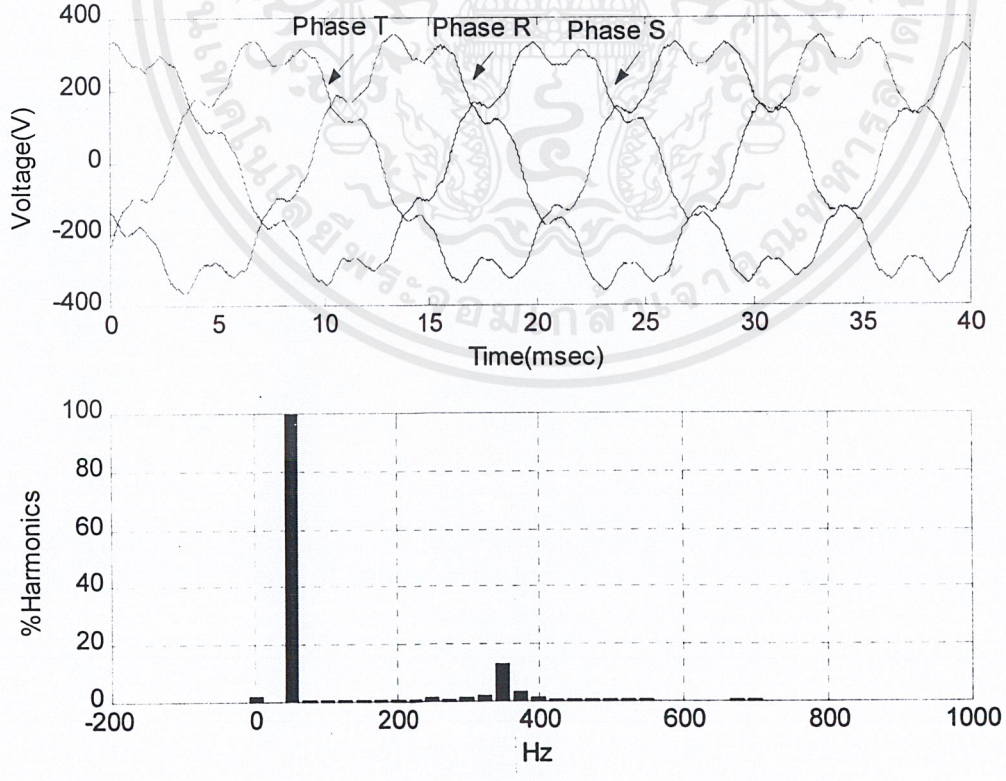


รูป 8.1.4 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 10,Vdf 10 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

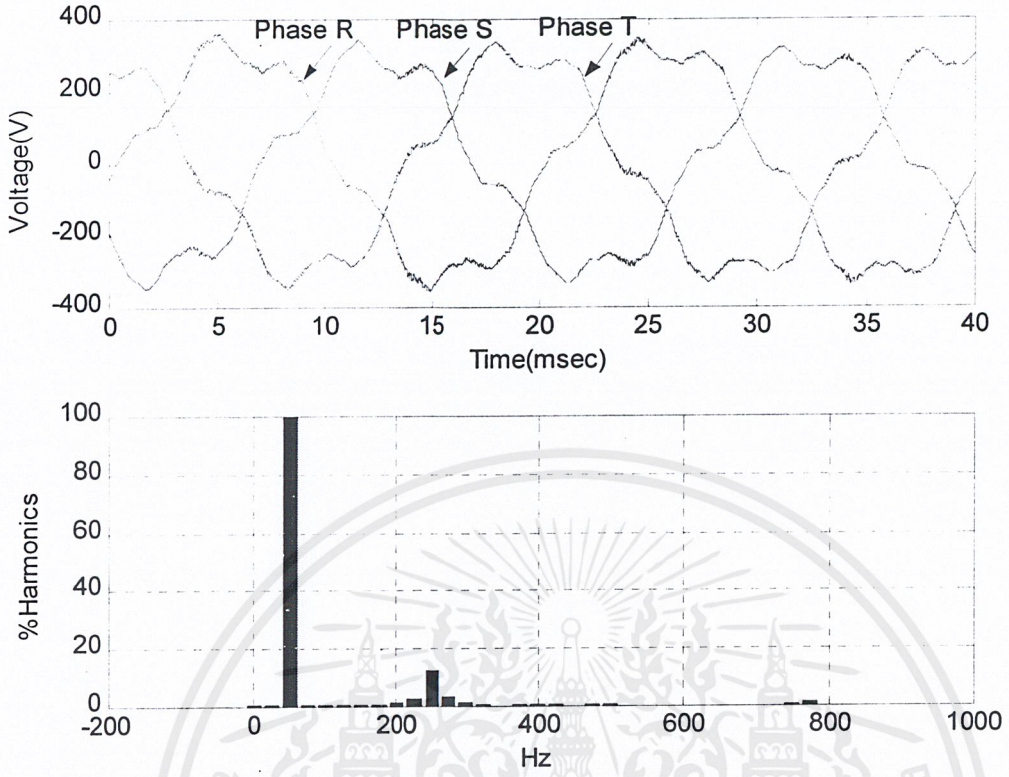


รูป 8.1.5 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,Vdf 15 % ลำดับเฟสลบ

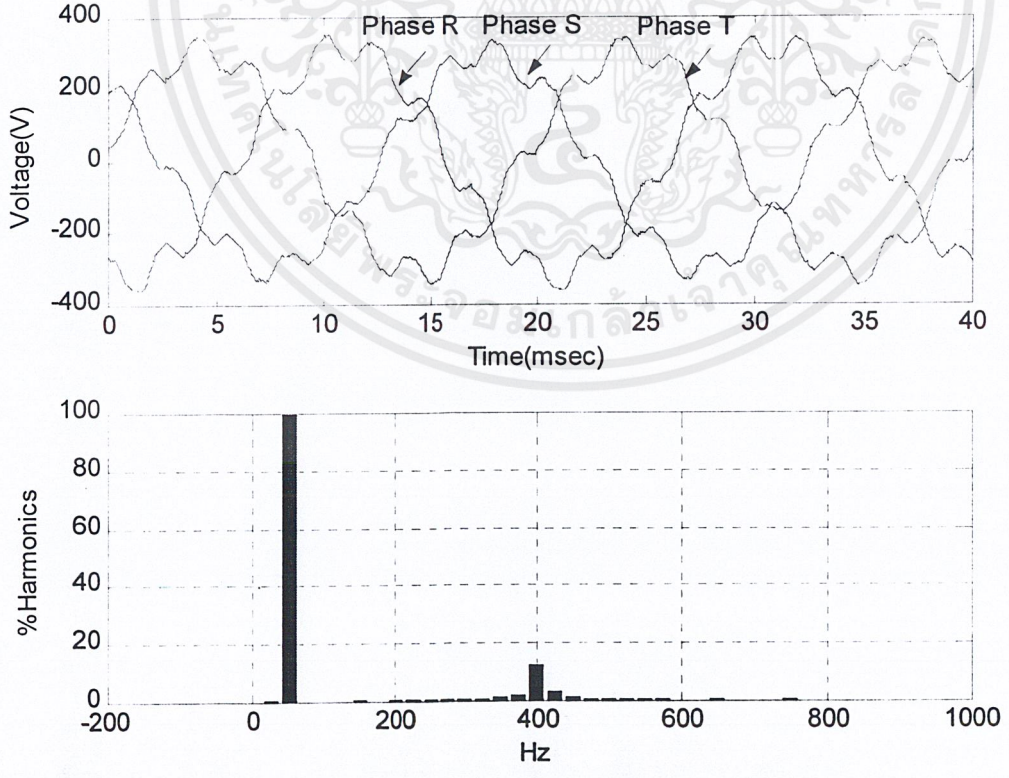


รูป 8.1.6 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 7,Vdf 15 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

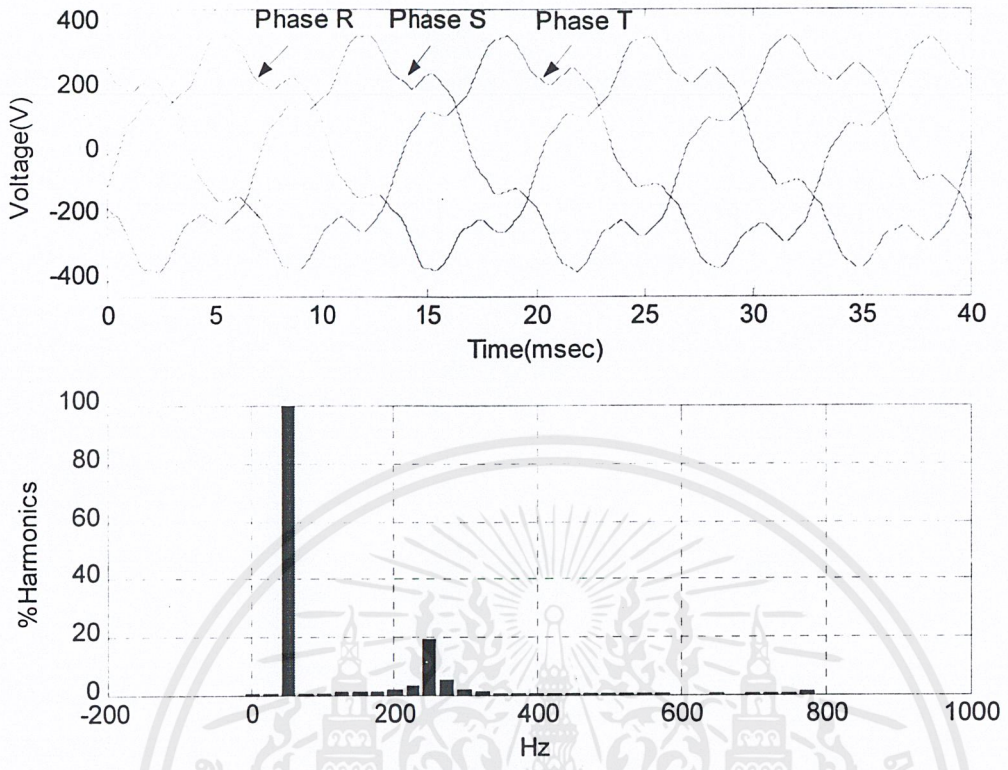


รูป 8.1.7 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 5,Vdf 15 % ลำดับเฟสลบ

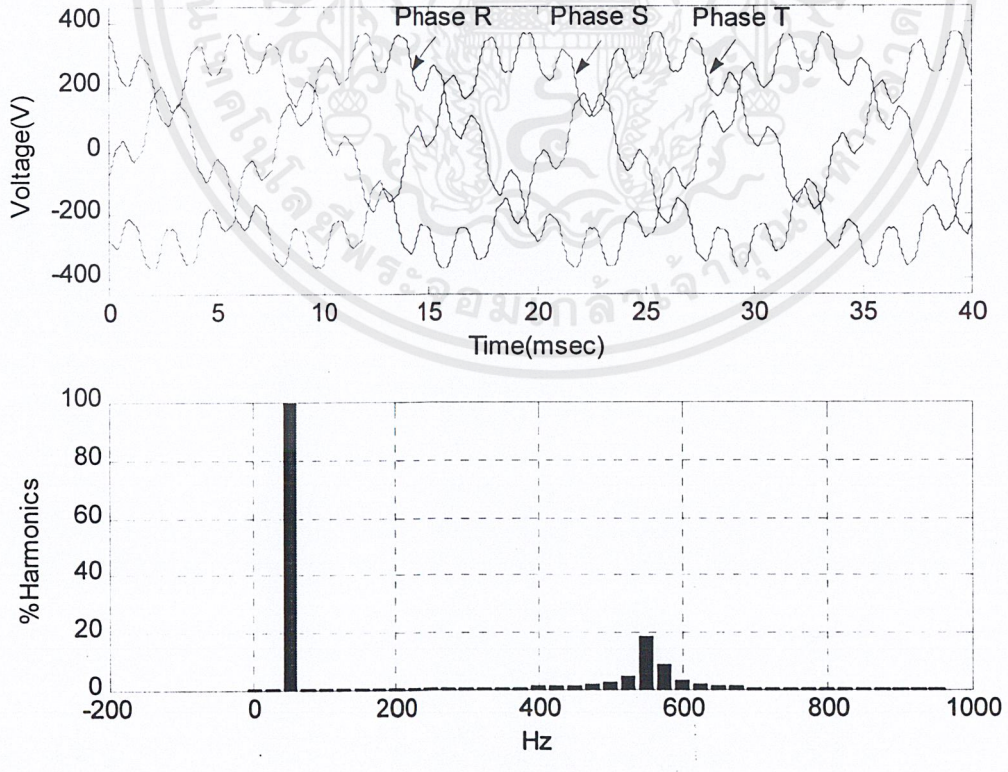


รูป 8.1.8 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 8,Vdf 15 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

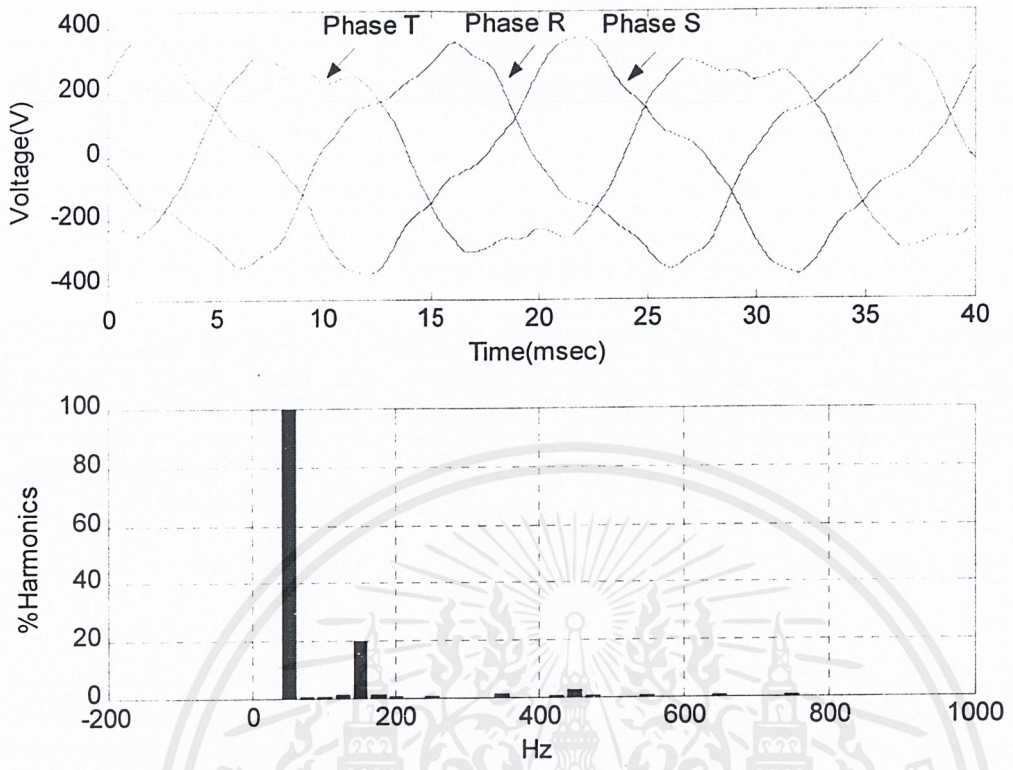


รูป 8.1.9 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 5,Vdf 20 % ลำดับเฟสลบ

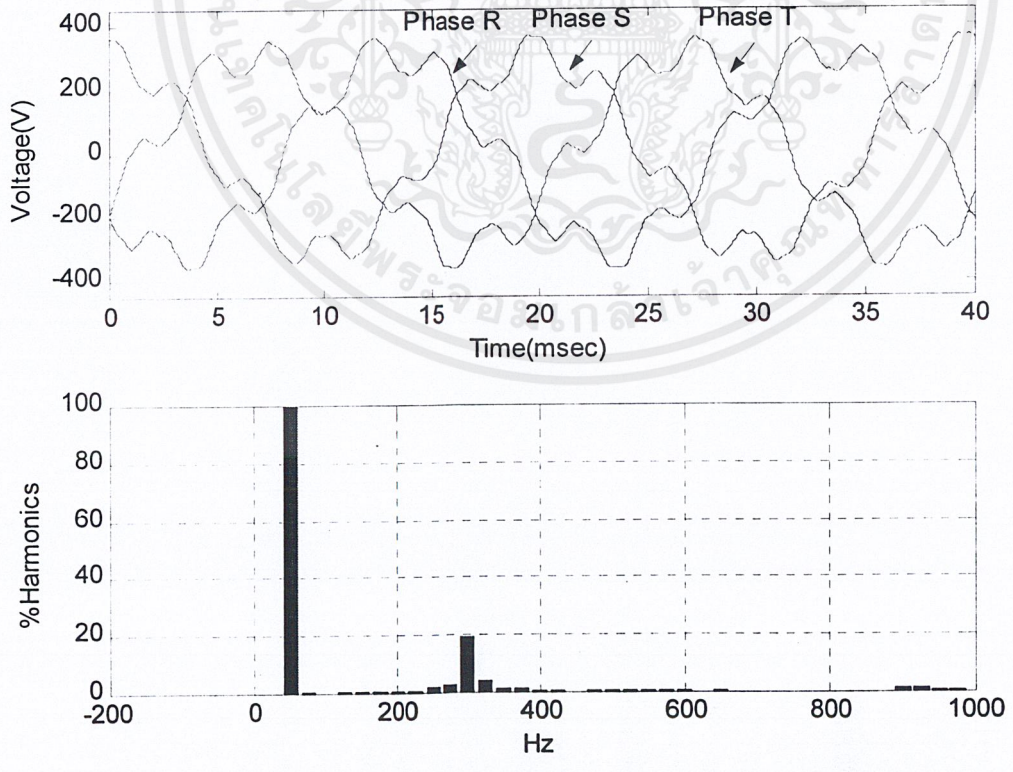


รูป 8.1.10 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 11,Vdf 20 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

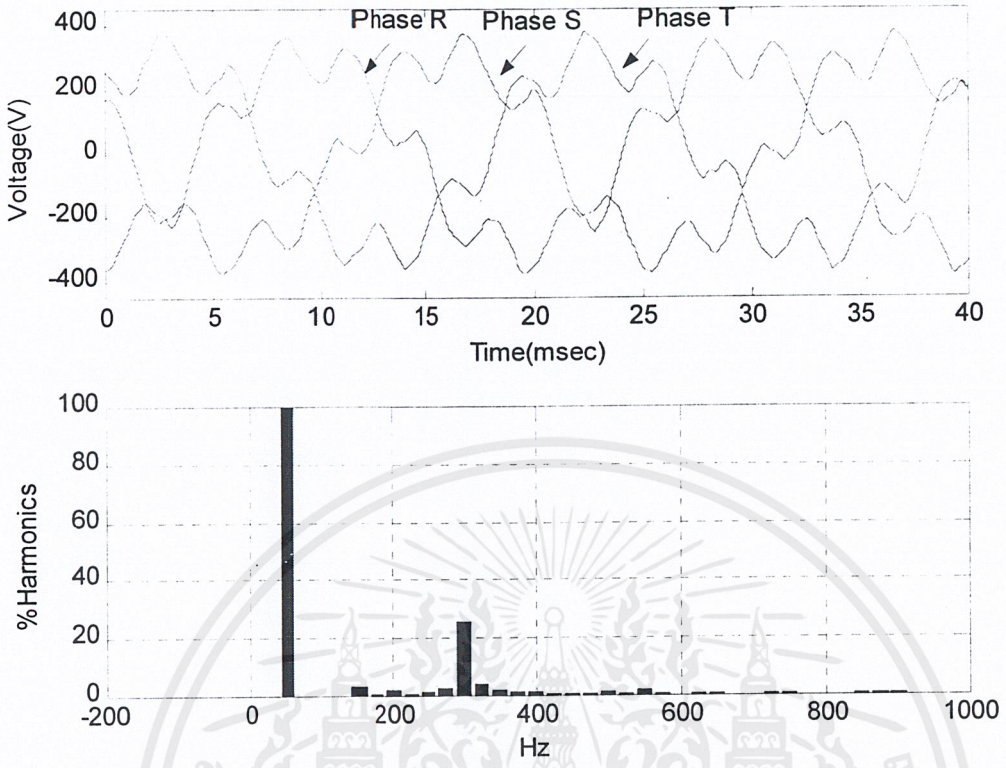


รูป 8.1.11 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 3,Vdf 20 % ลำดับเฟสลบ

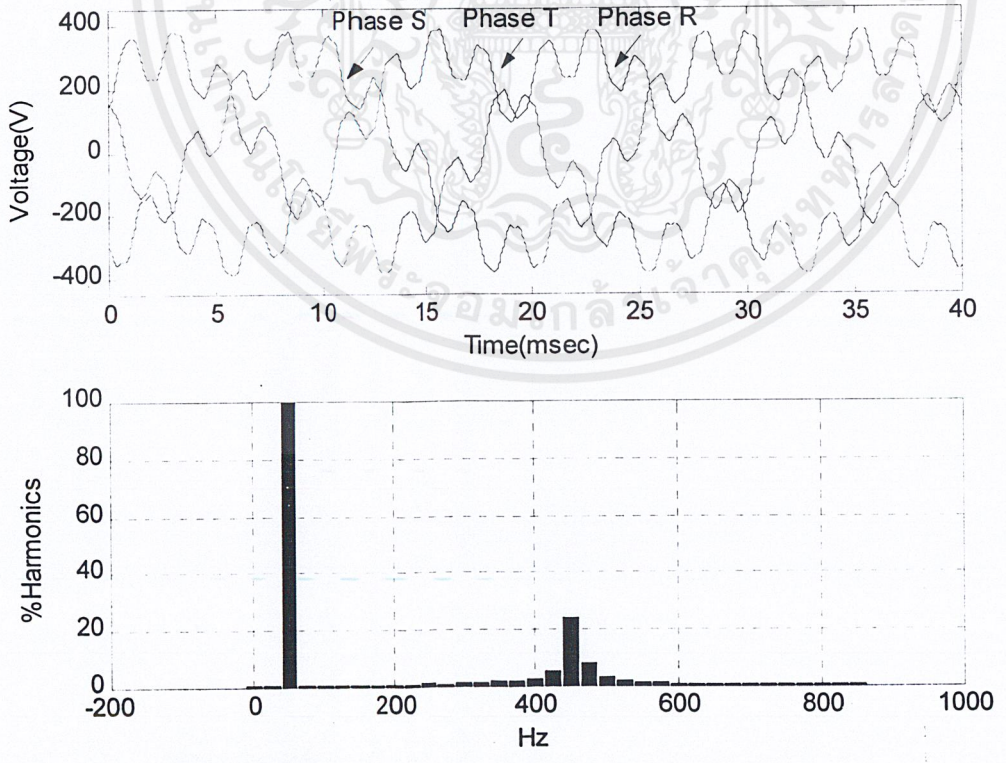


รูป 8.1.12 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,Vdf 20 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

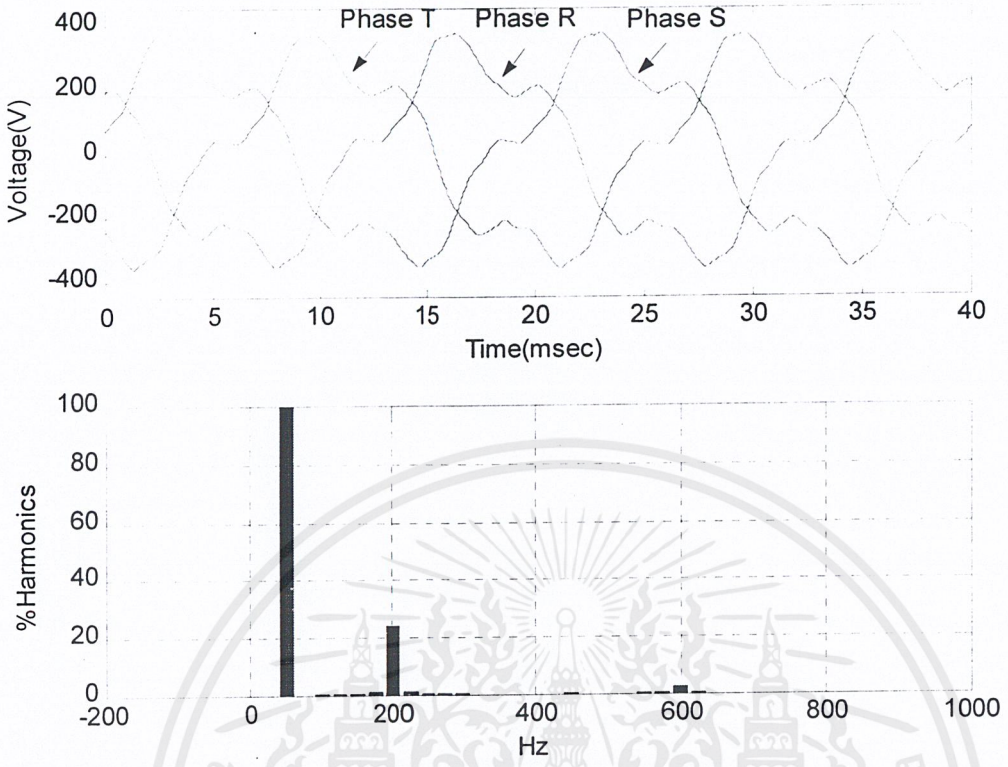


รูป 8.1.13 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,Vdf 25 % ลำดับเฟสลบ

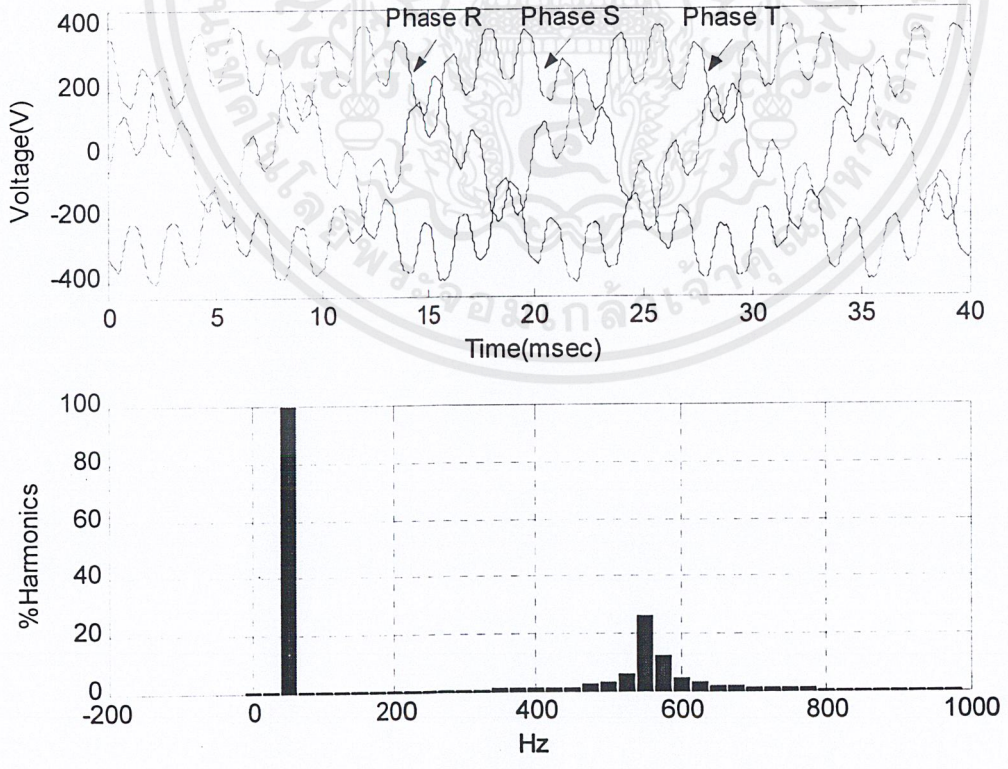


รูป 8.1.14 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 9,Vdf 25 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

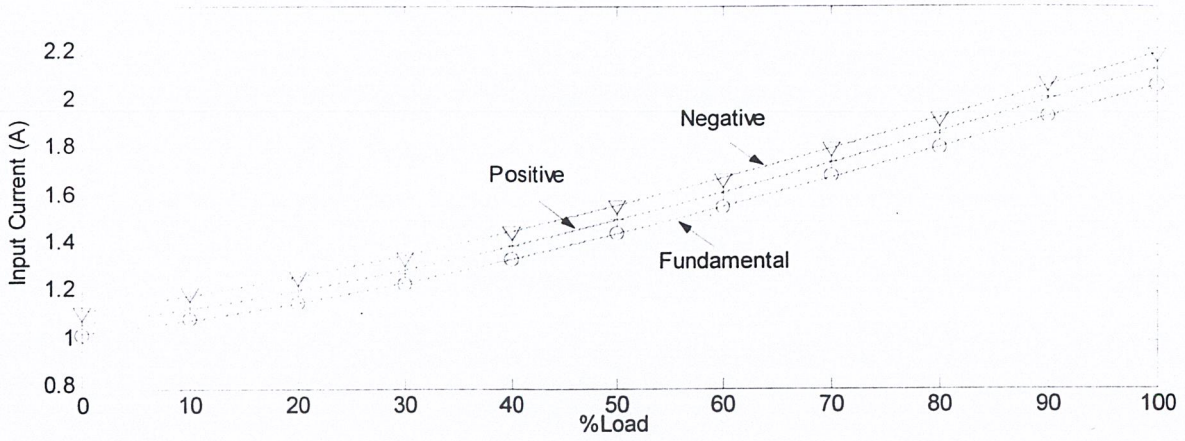


รูป 8.1.15 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,Vdf 25 % ลำดับเฟสลบ

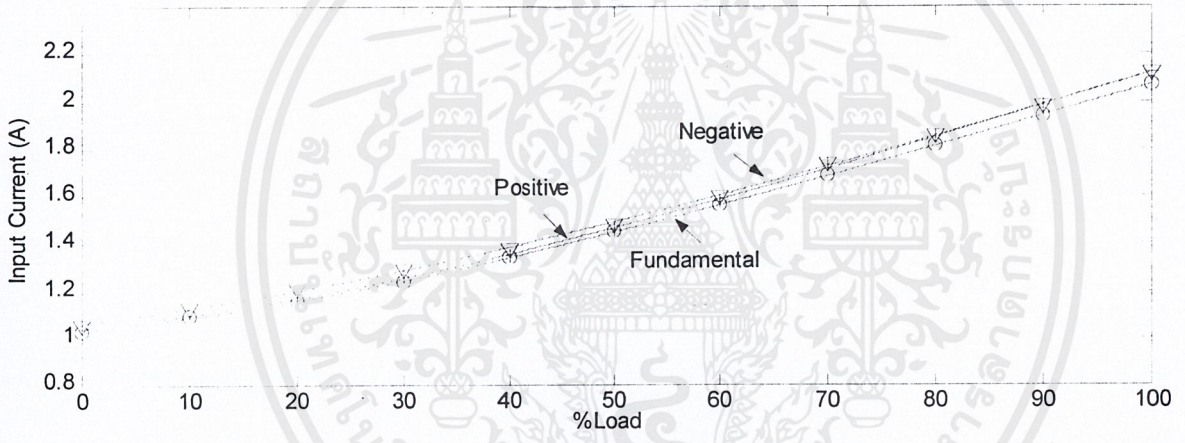


รูป 8.1.16 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 11,Vdf 25 % ลำดับเฟสบวก

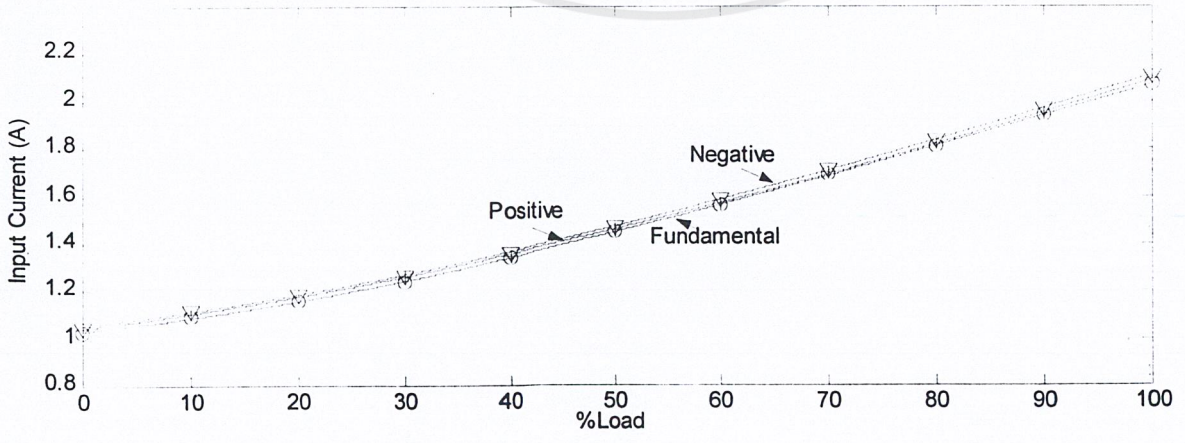
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.1.17 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 2,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

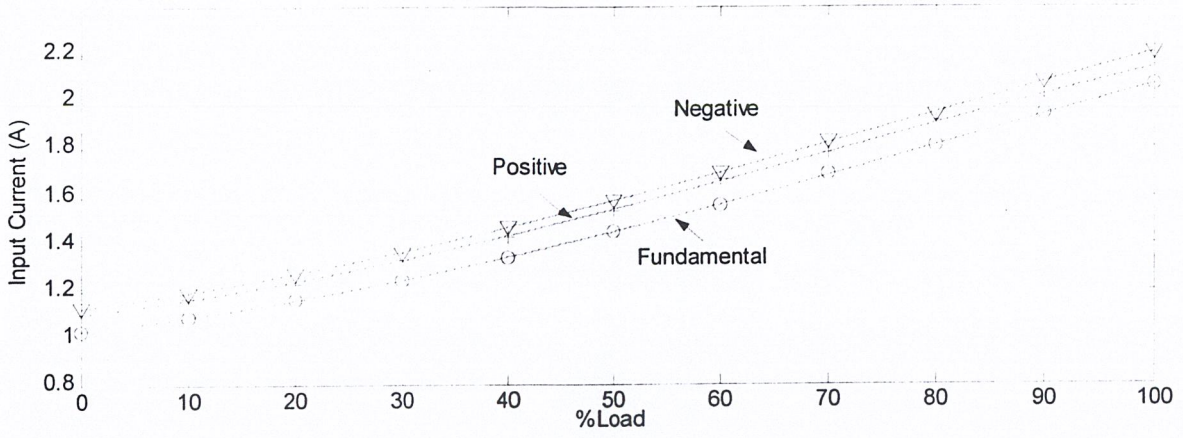


รูป 8.1.18 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 5,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

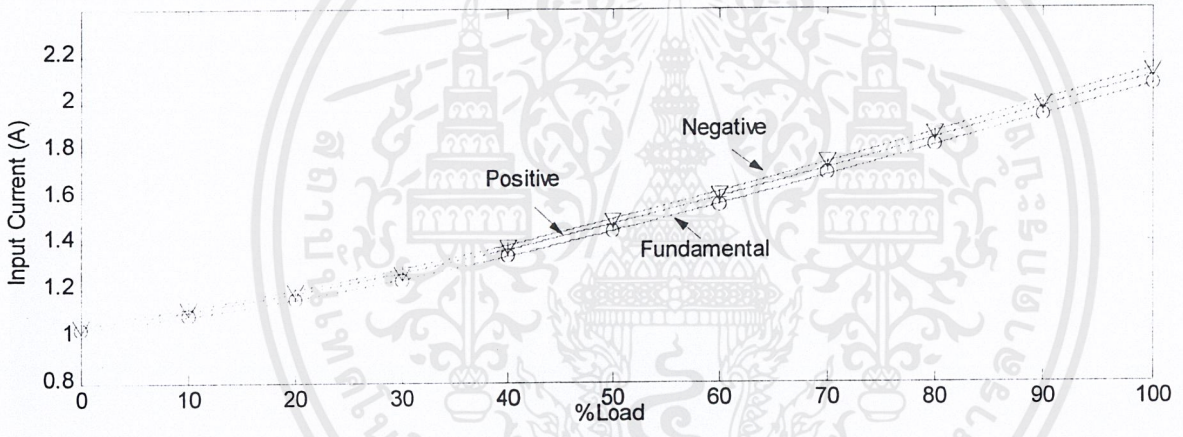


รูป 8.1.19 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 10,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

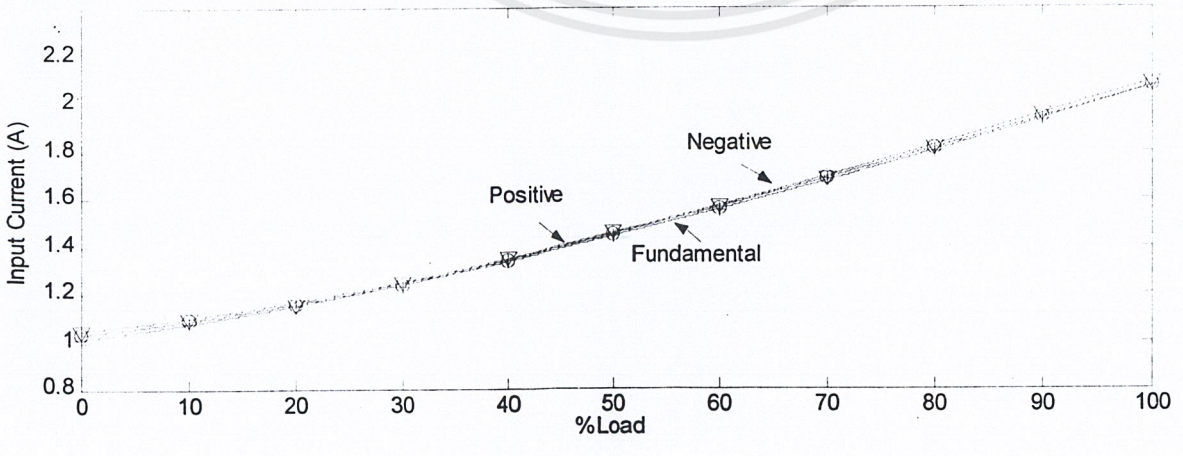
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.1.20 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

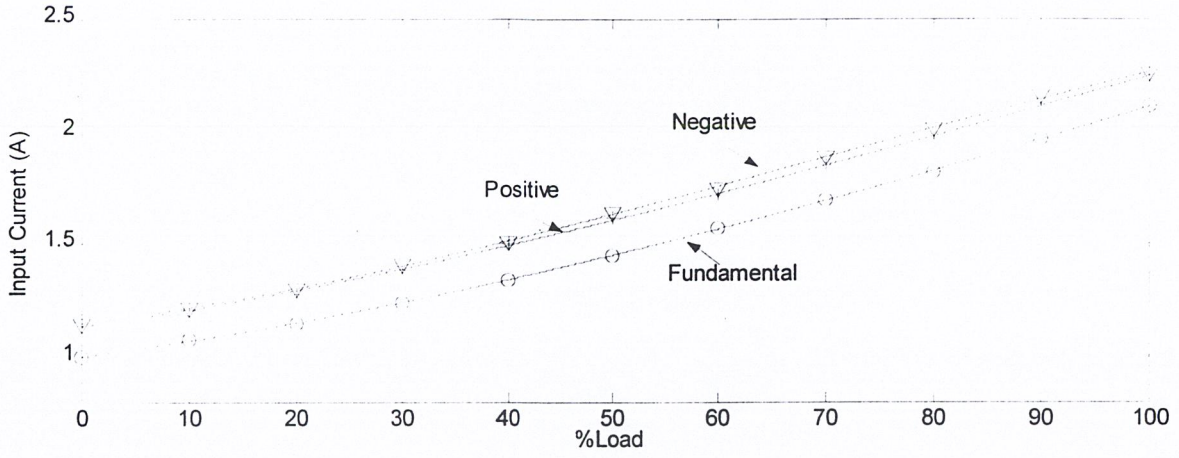


รูป 8.1.21 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 6,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

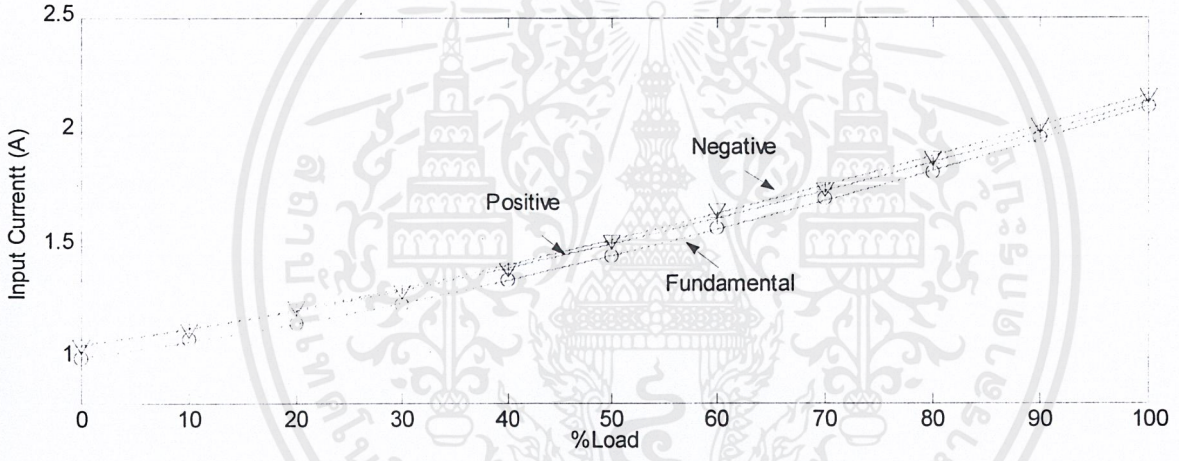


รูป 8.1.22 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 11,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

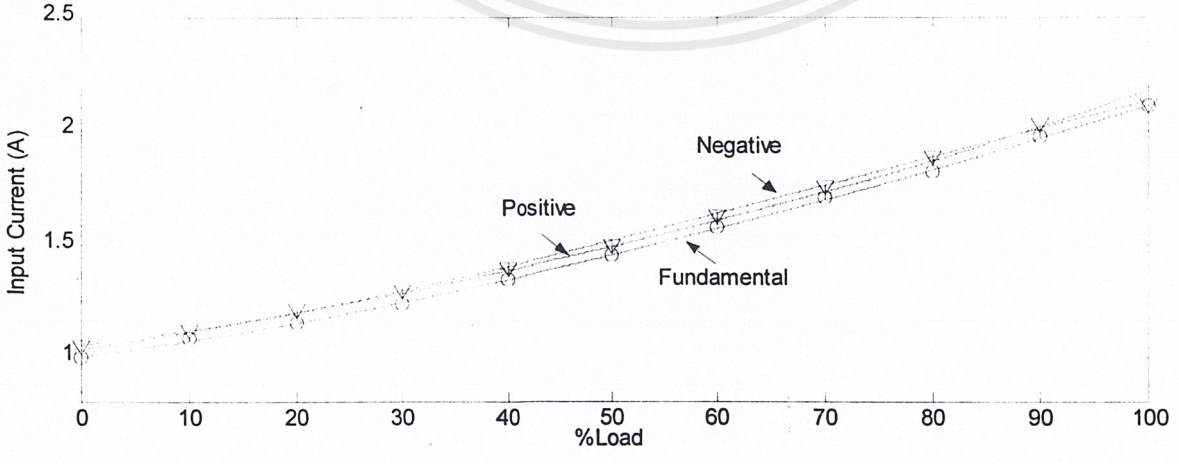
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.1.23 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 4,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

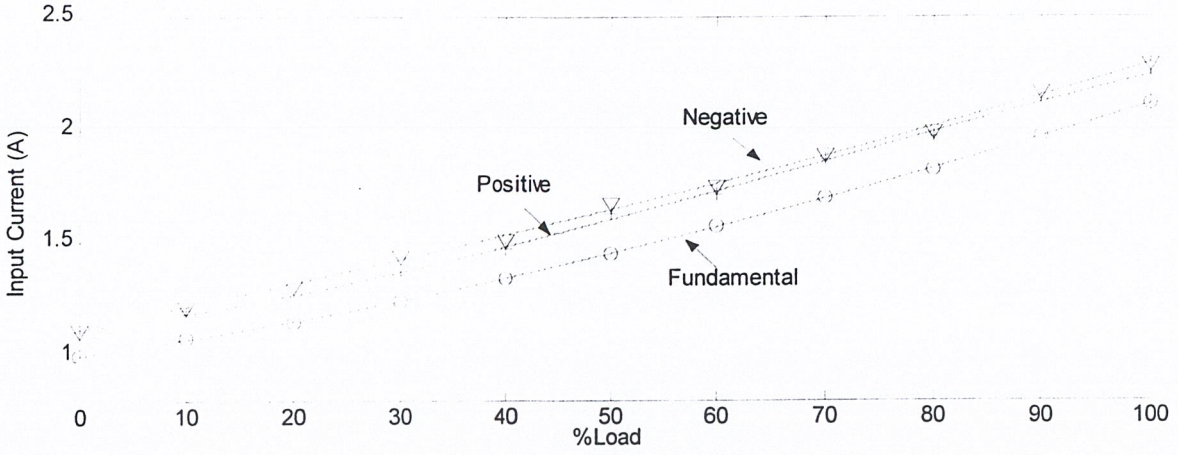


รูป 8.1.24 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 7,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

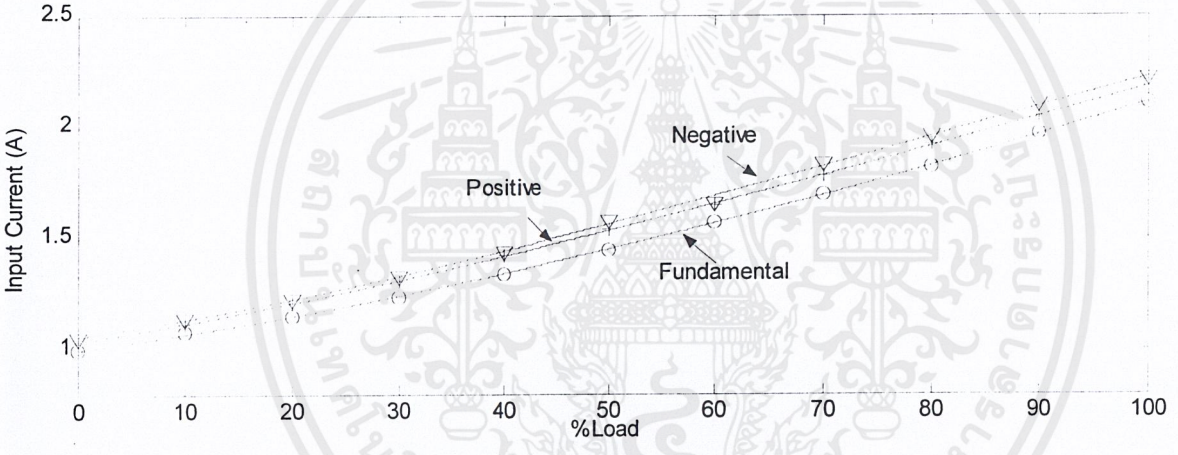


รูป 8.1.25 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 10,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

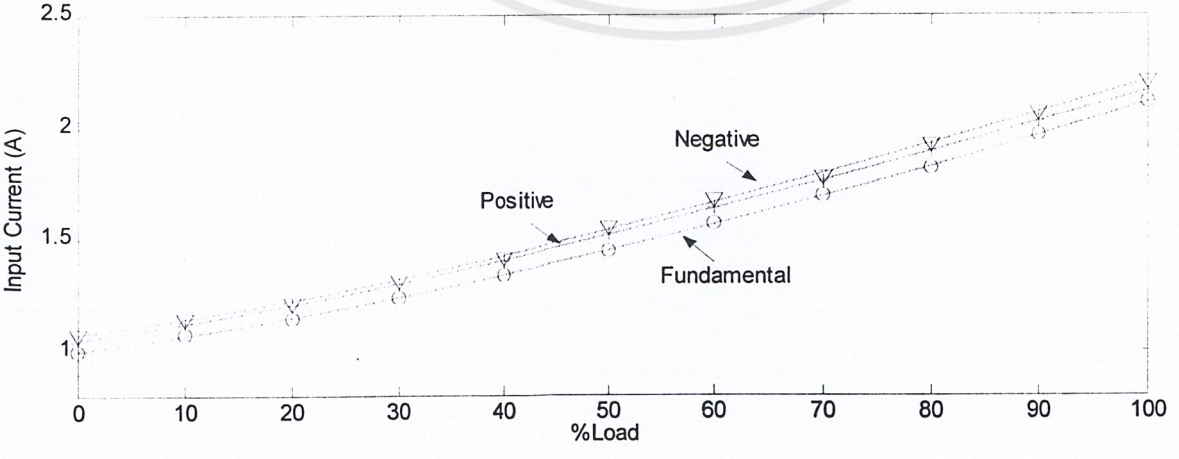
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.1.26 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 5,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

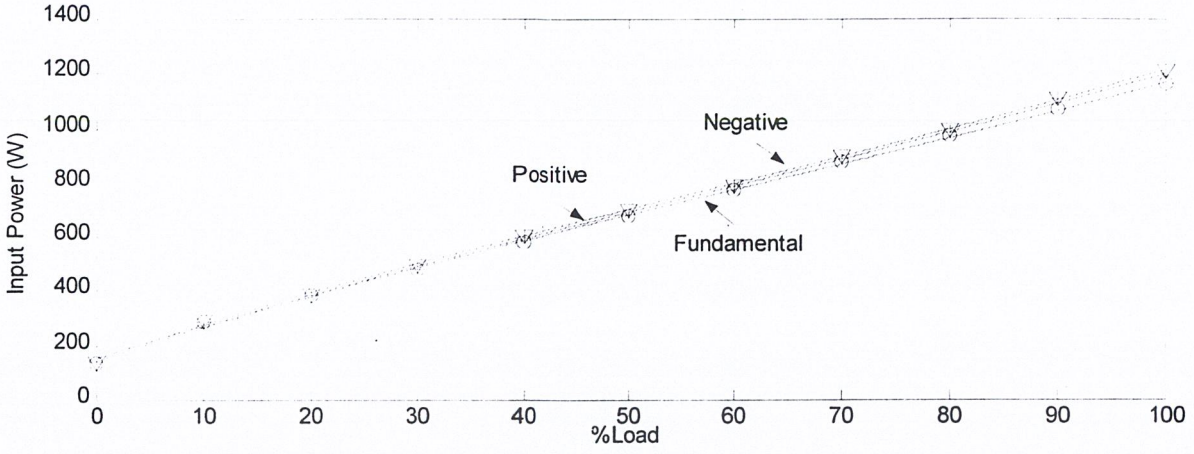


รูป 8.1.27 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 8,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

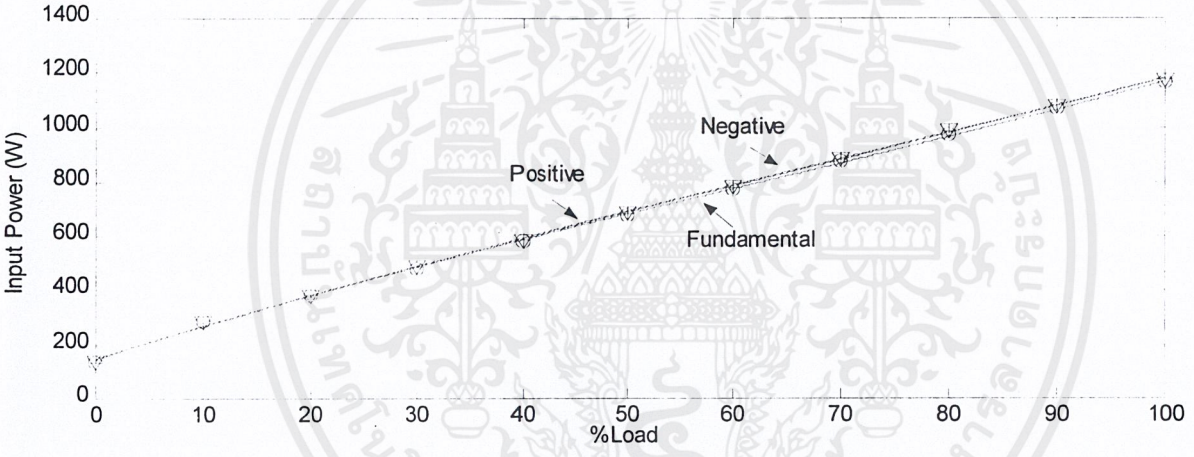


รูป 8.1.28 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 11,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

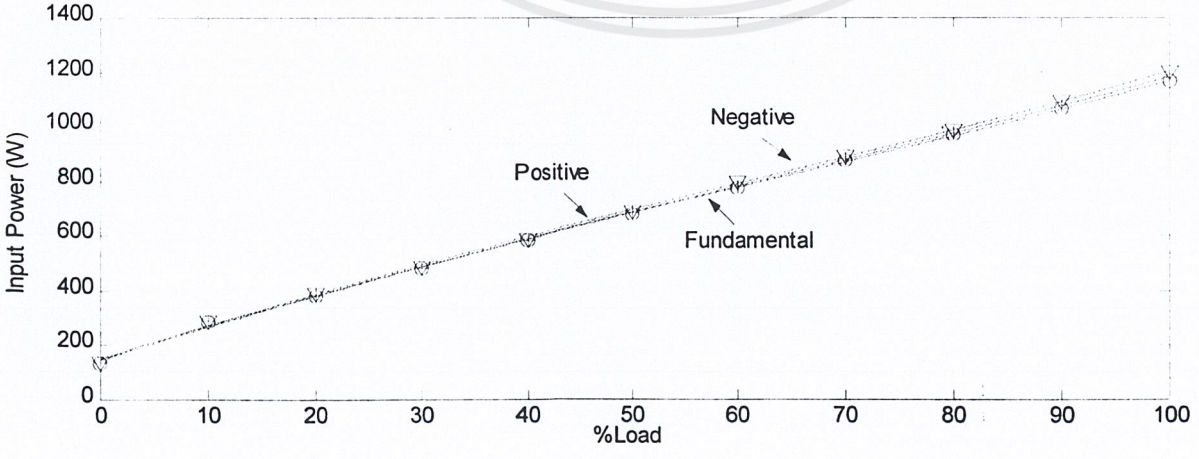
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.1.29 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 2,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

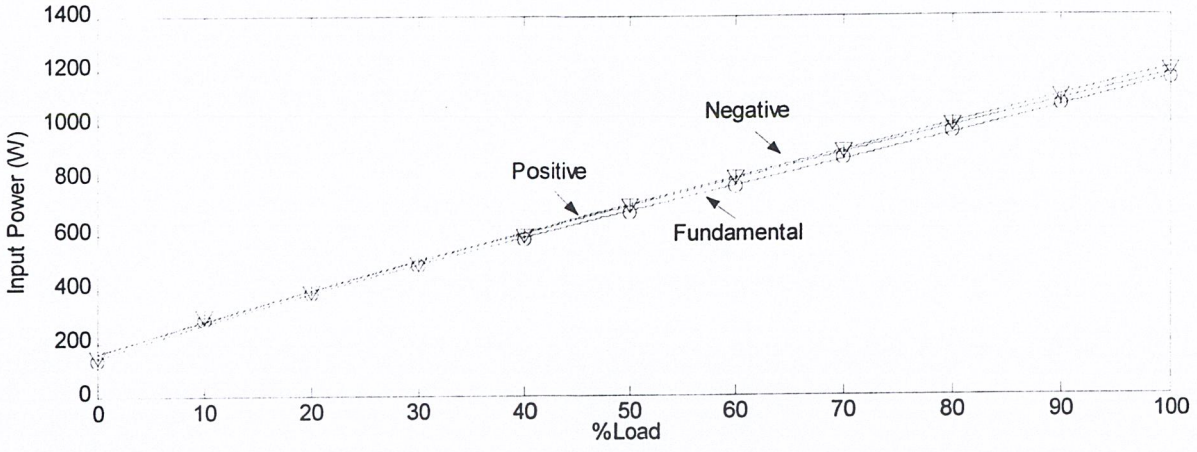


รูป 8.1.30 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 7,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

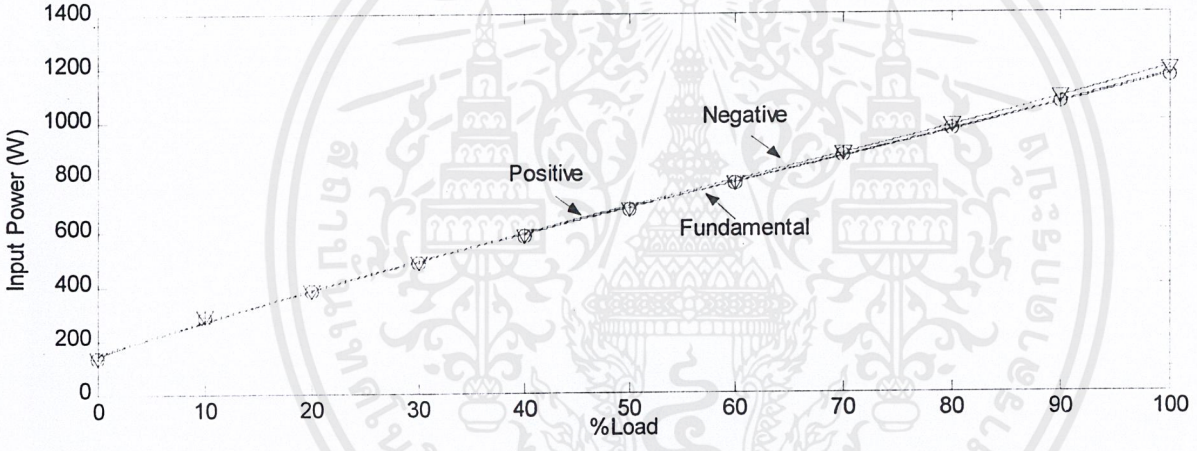


รูป 8.1.31 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 11,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

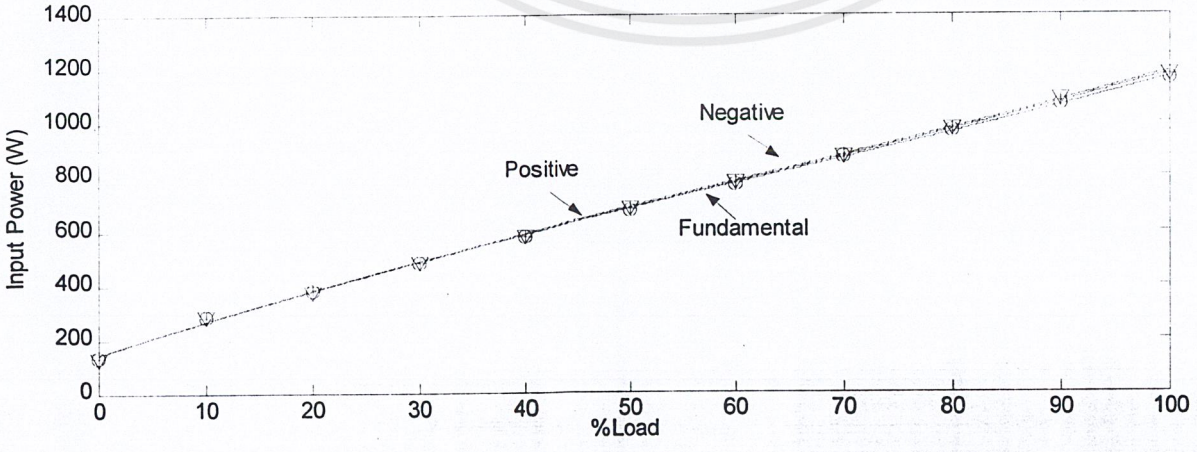
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.1.32 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 3,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

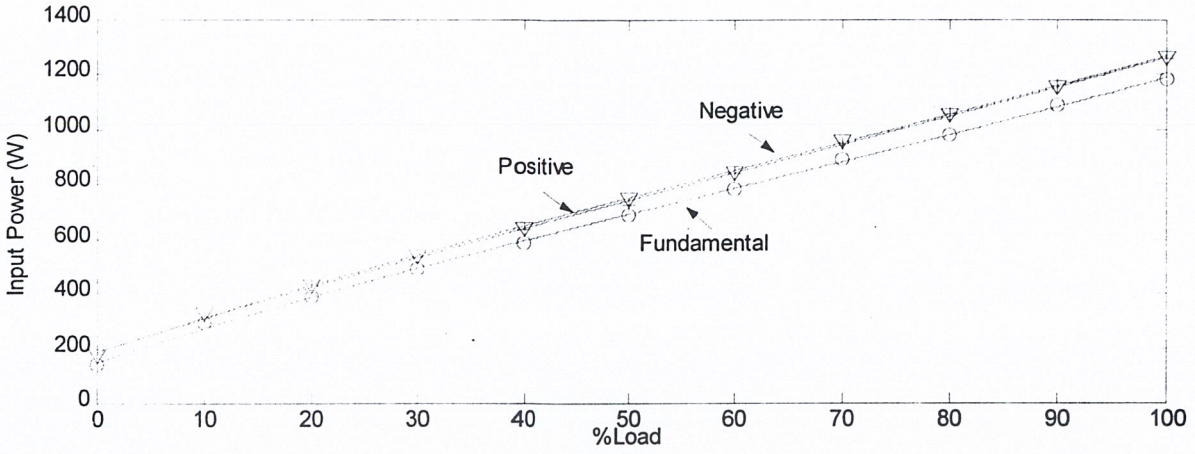


รูป 8.1.33 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 6,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

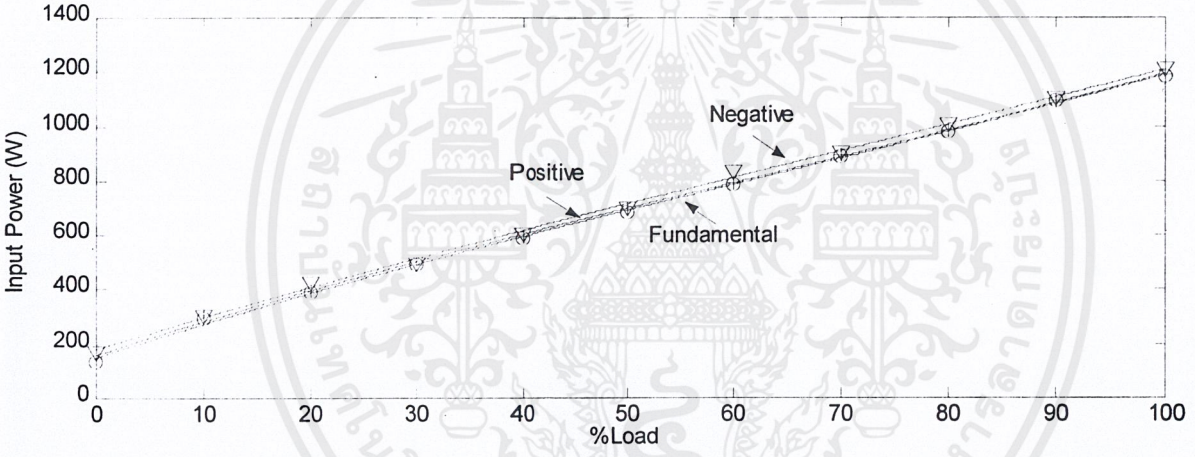


รูป 8.1.34 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 10,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

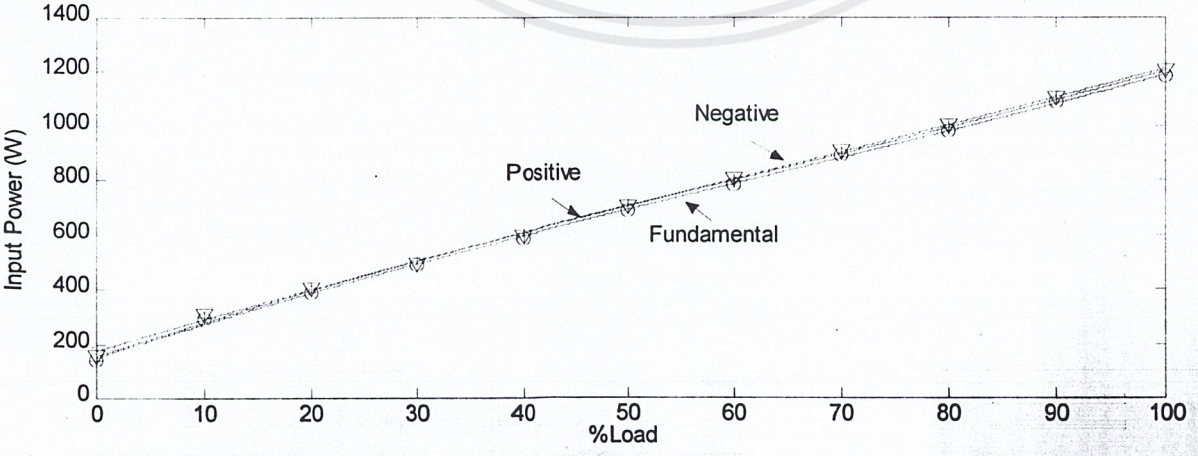
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.1.35 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

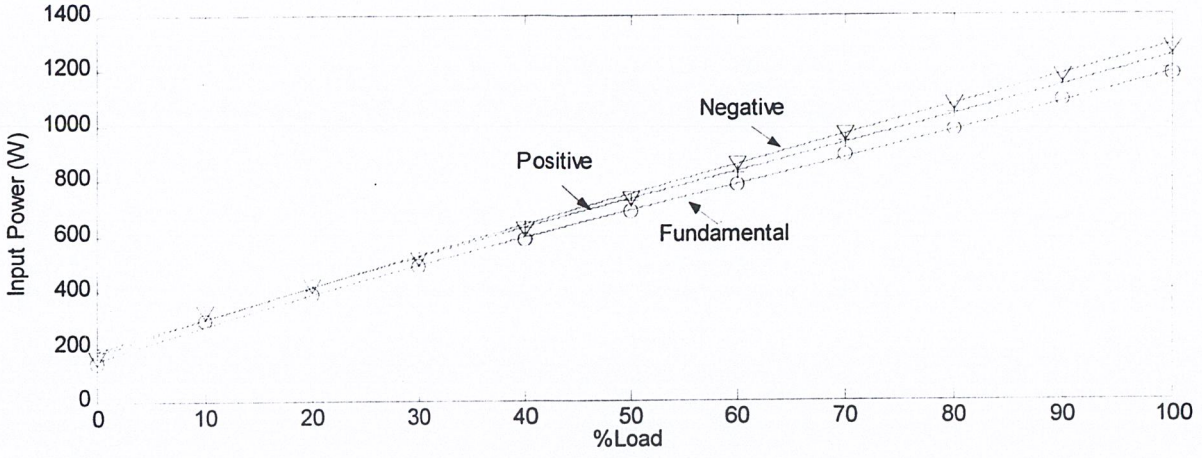


รูป 8.1.36 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 7,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

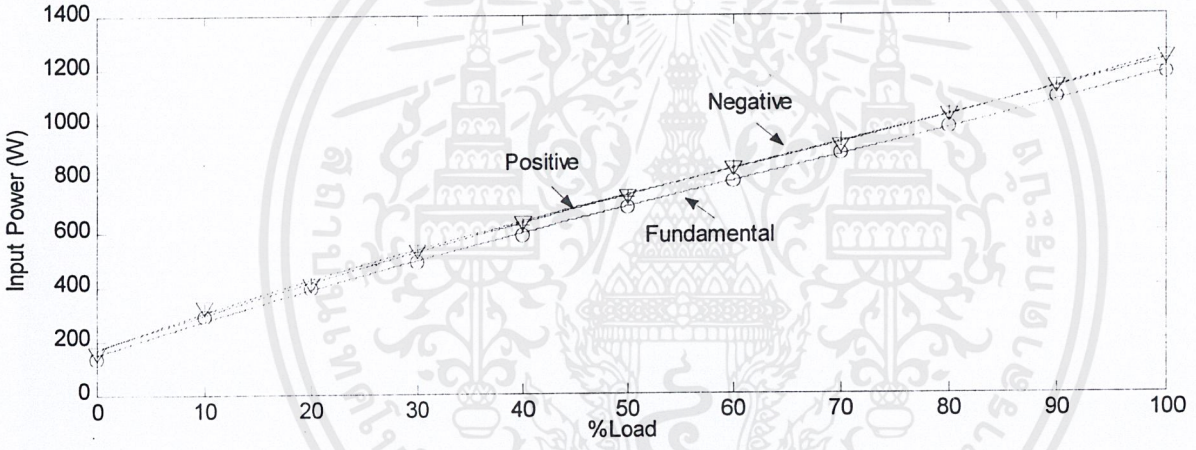


รูป 8.1.37 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 11,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

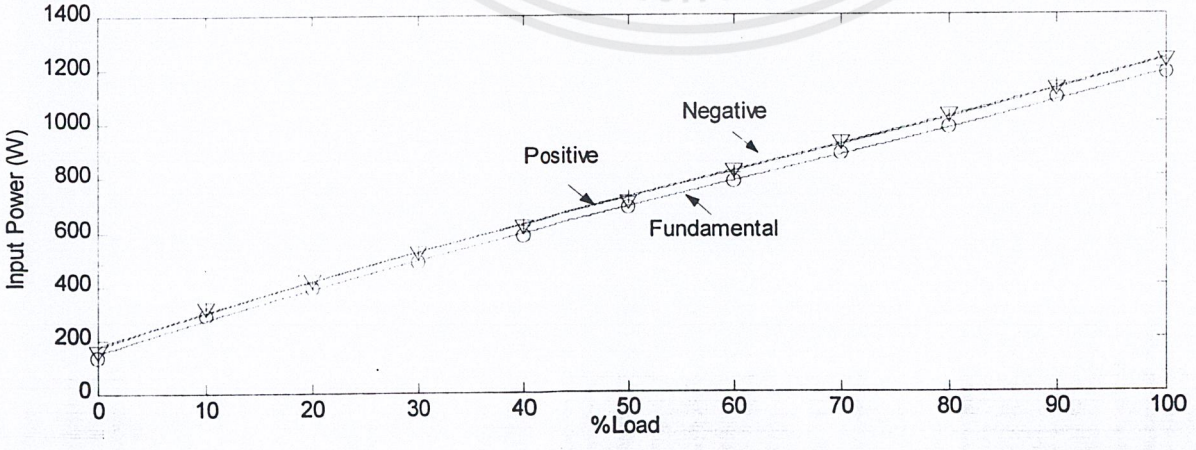
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.1.38 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน



รูป 8.1.39 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 7,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน



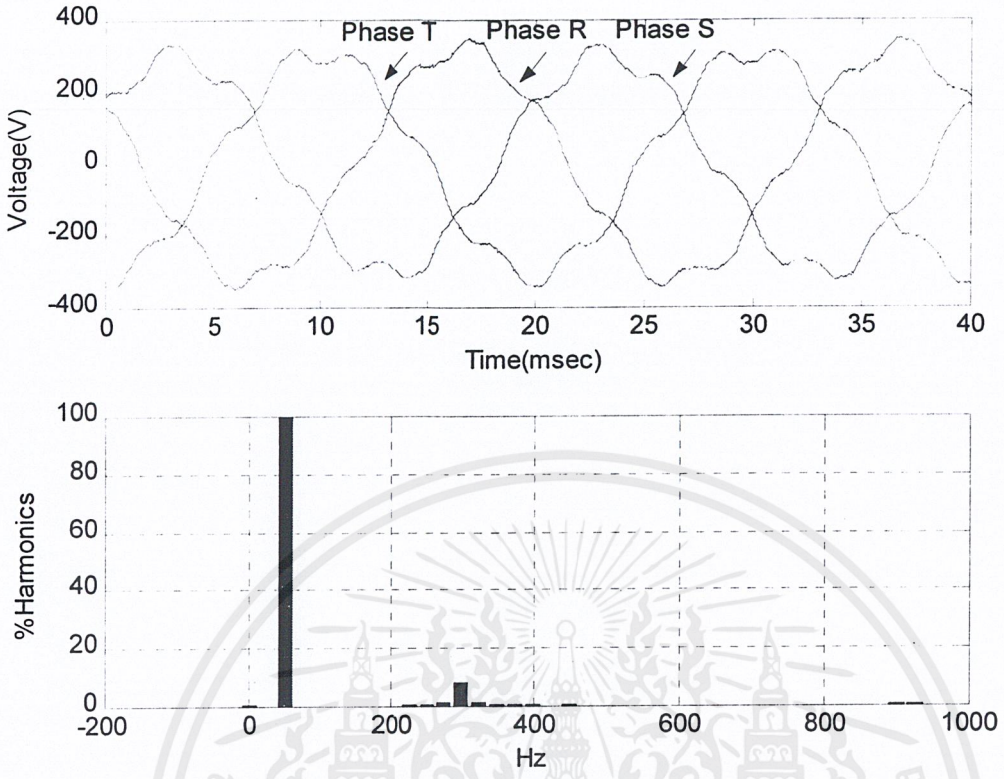
รูป 8.1.40 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 10,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

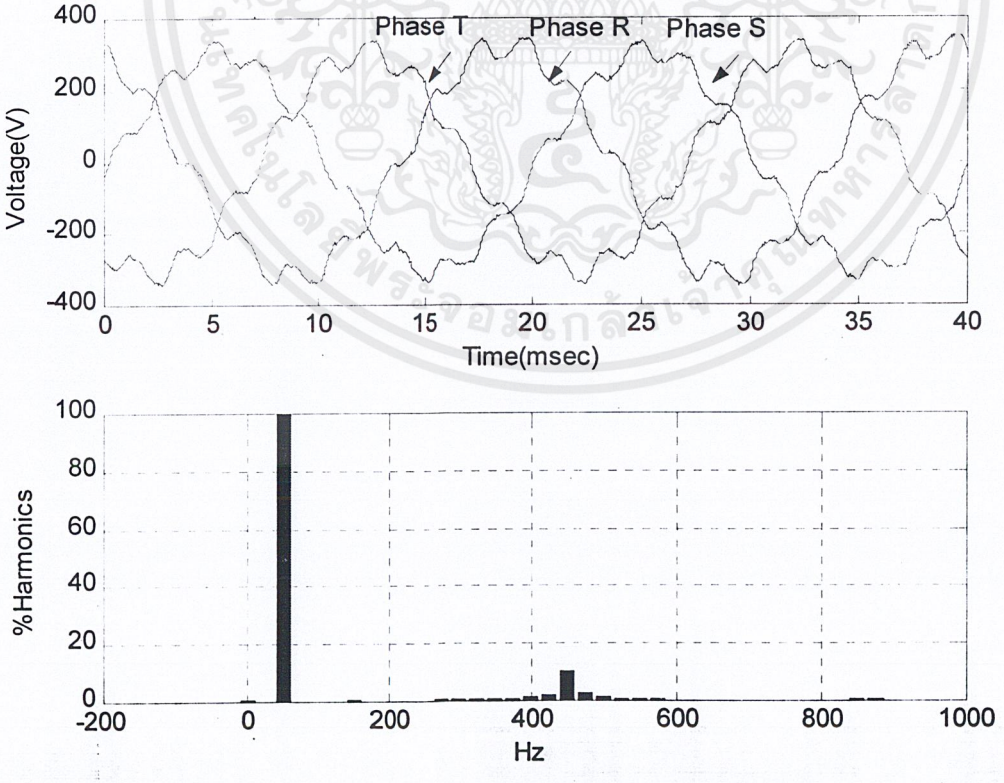
8.2 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า

การทดลองนี้เป็นการทดลองที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า ซึ่งมีความเร็วรอบที่พิกัดเป็น 1420 รอบต่อนาทีและมีค่ากระแสที่พิกัดขนาด 5 แอมแปร์ และทำการต่อแบบสตาร์ ซึ่งทำโดยการป้อนศักดาไฟฟ้าที่ไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำและทำการเพิ่มภาระของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจนกระทั่งถึงค่าที่พิกัด และทำการบันทึกค่าศักดาไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าไว้ ซึ่งสามารถแสดงผลของการป้อนศักดาไฟฟ้าที่ไม่เป็นรูปไซน์ได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

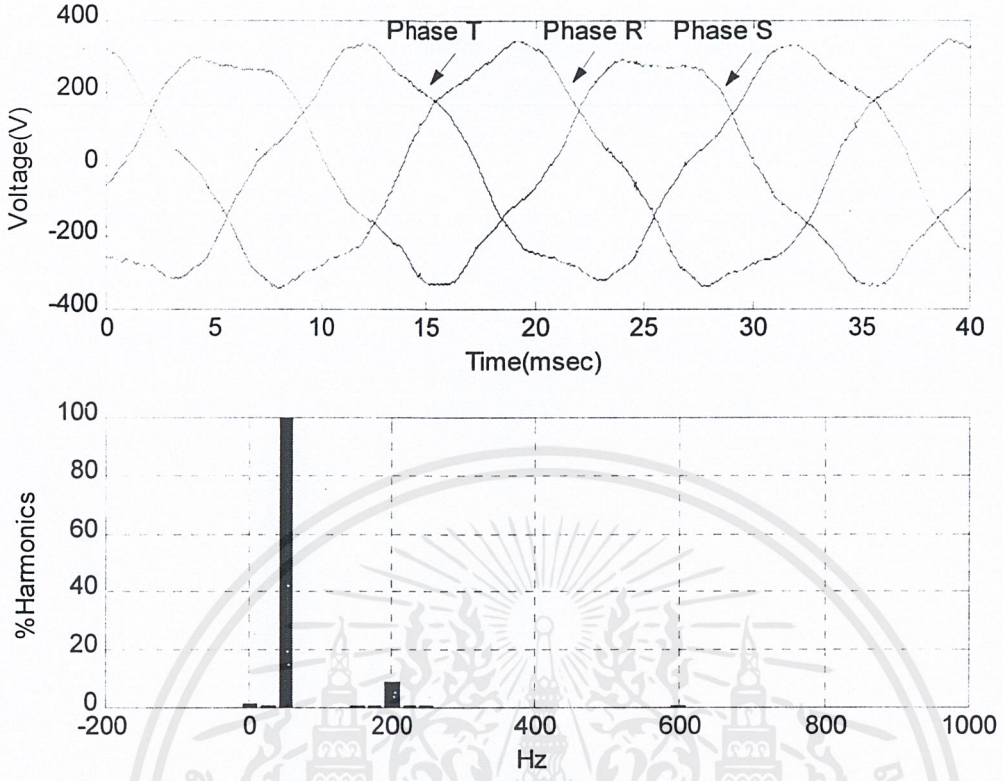


รูป 8.2.1 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,Vdf 10 % ลำดับเฟสลบ

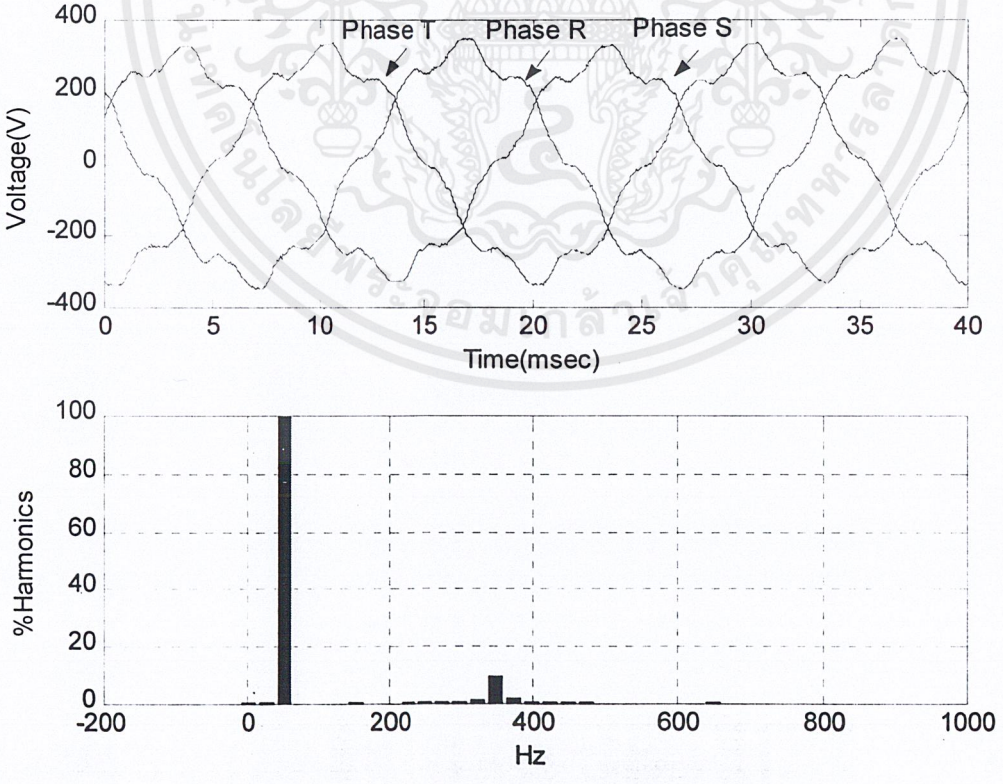


รูป 8.2.2 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 9,Vdf 10 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

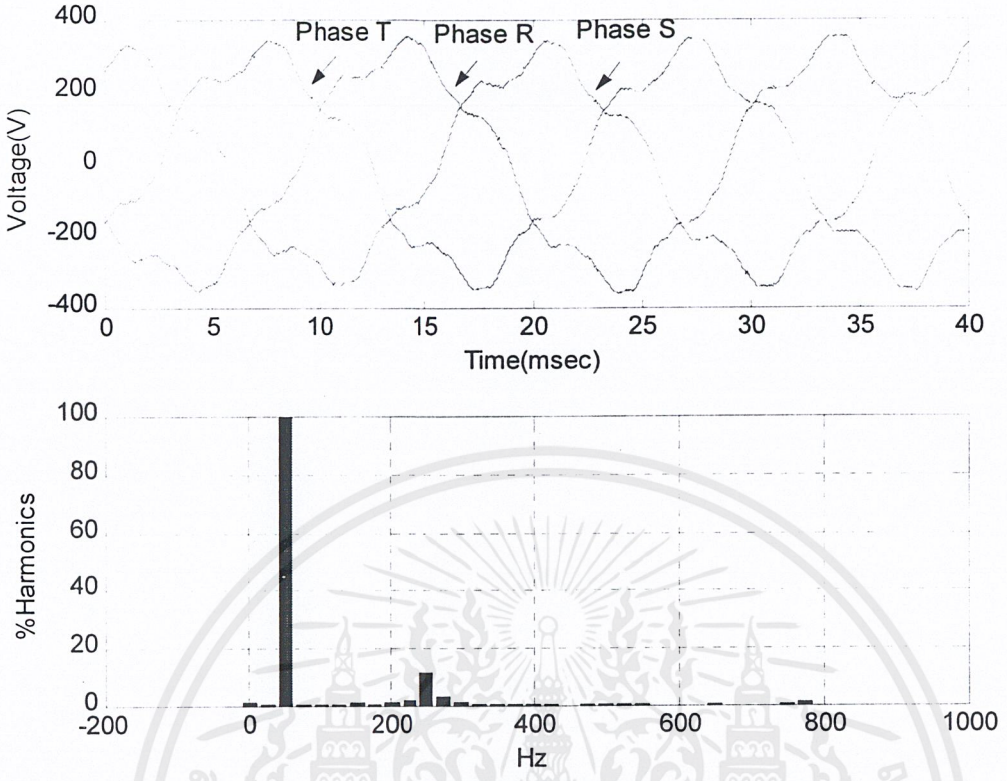


รูป 8.2.3 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,Vdf 10 % ลำดับเฟสลบ

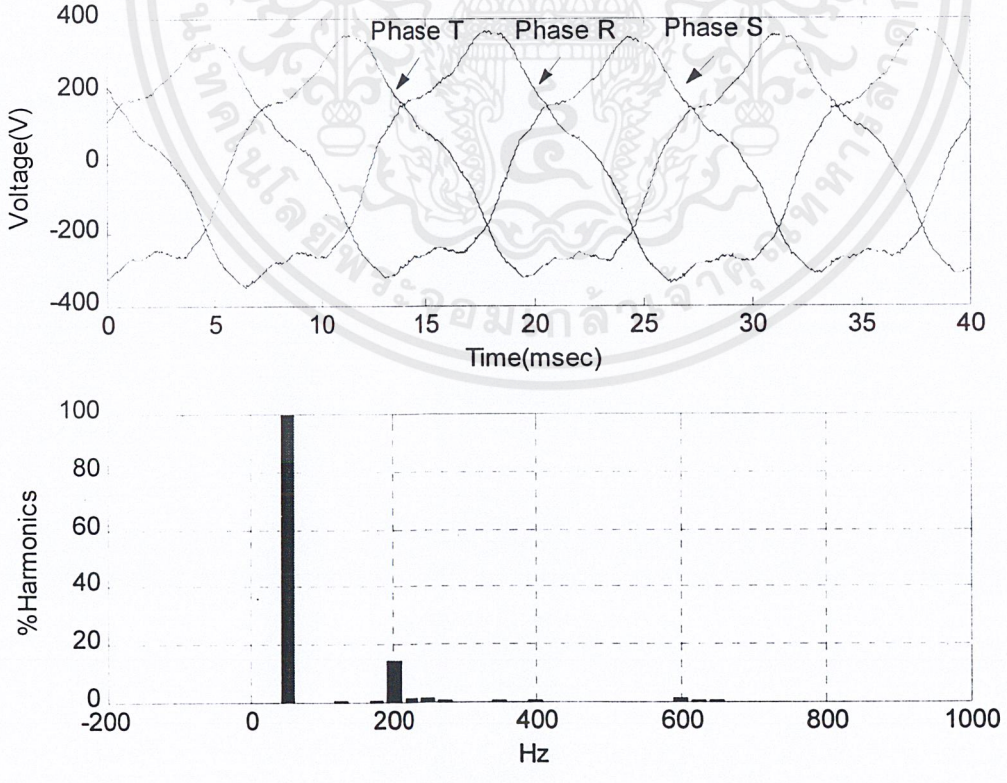


รูป 8.2.4 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 7,Vdf 10 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

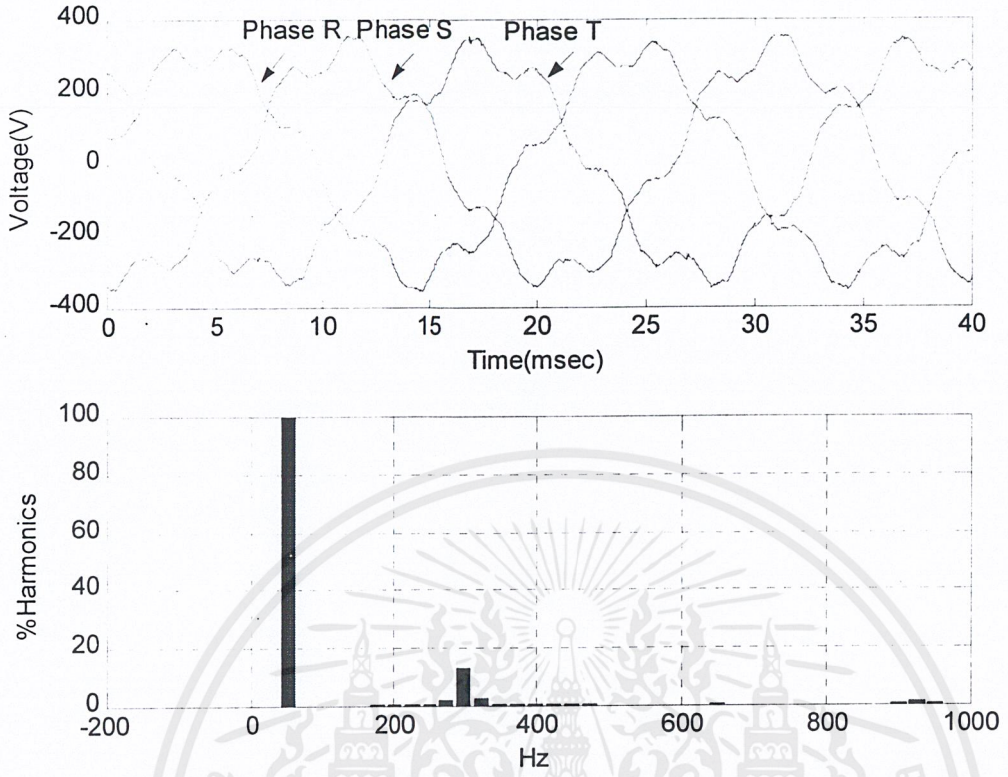


รูป 8.2.5 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 5,Vdf 15 % ลำดับเฟสลบ

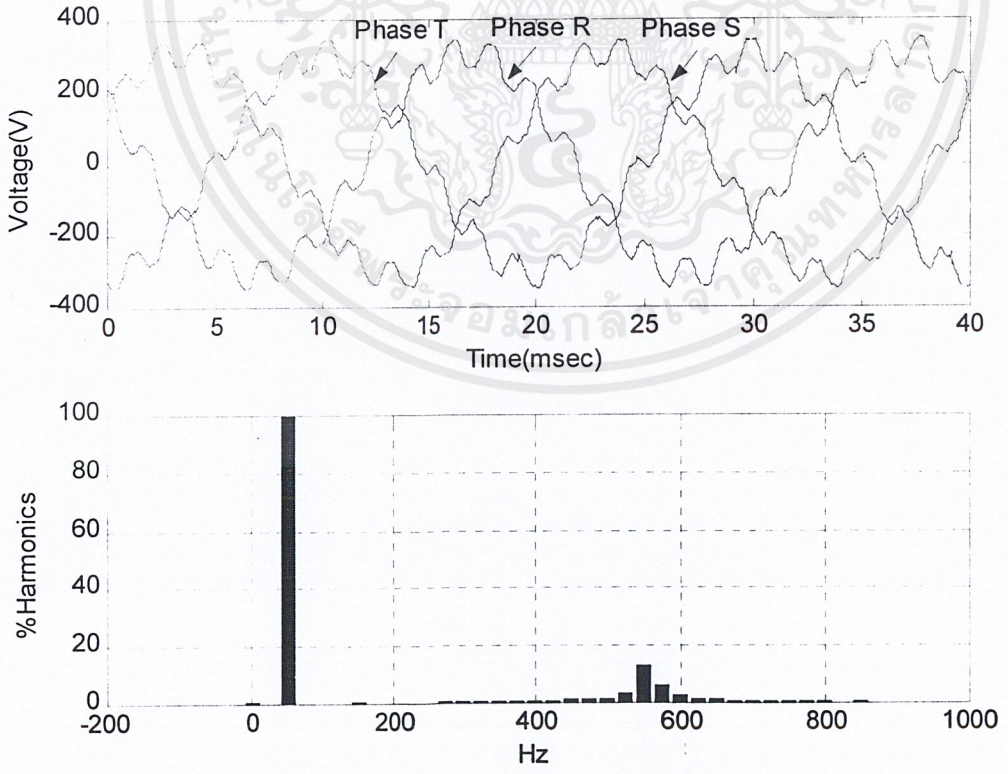


รูป 8.2.6 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,Vdf 15 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

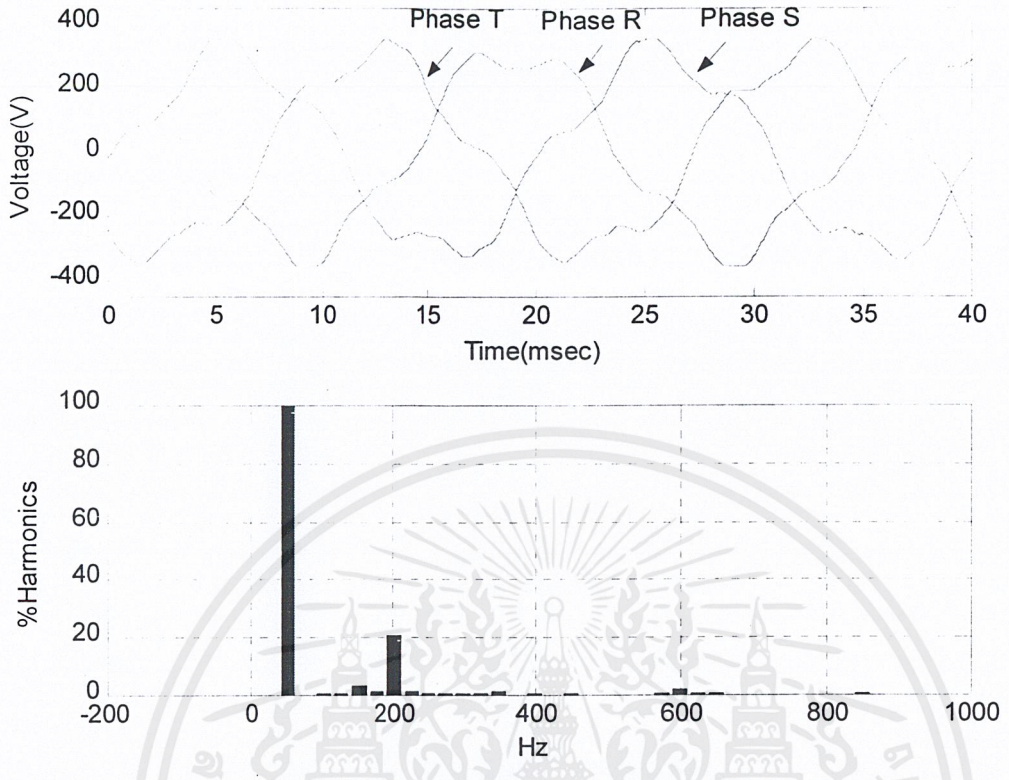


รูป 8.2.7 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,Vdf 15 % ลำดับเฟสลบ

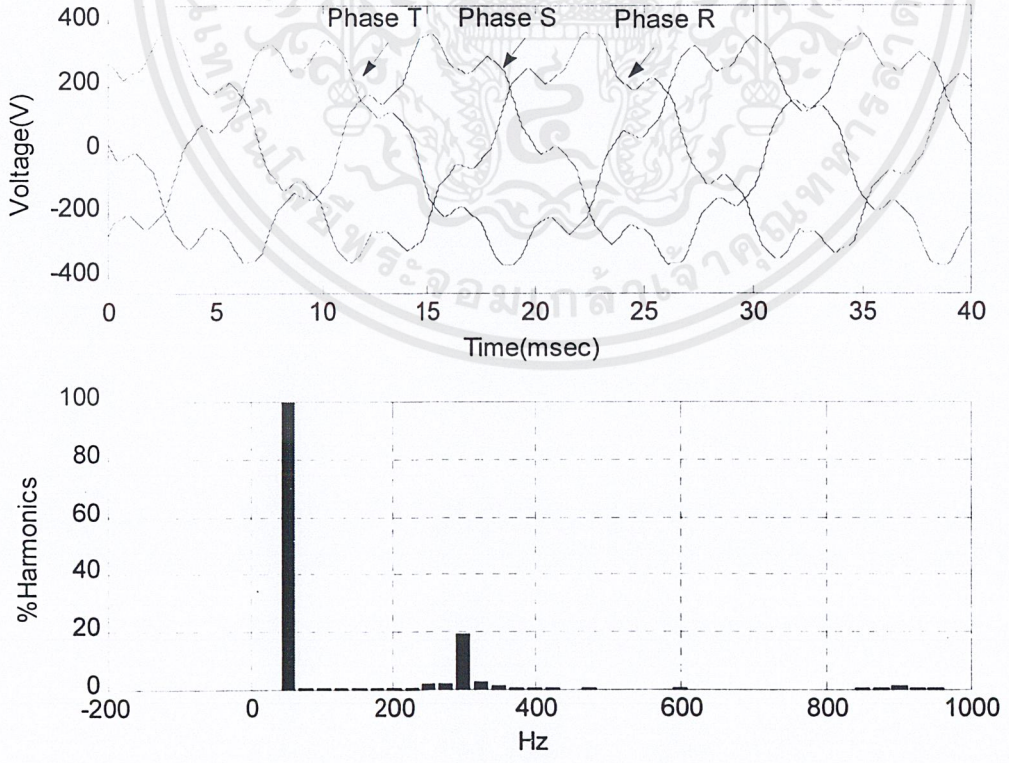


รูป 8.2.8 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 11,Vdf 15 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

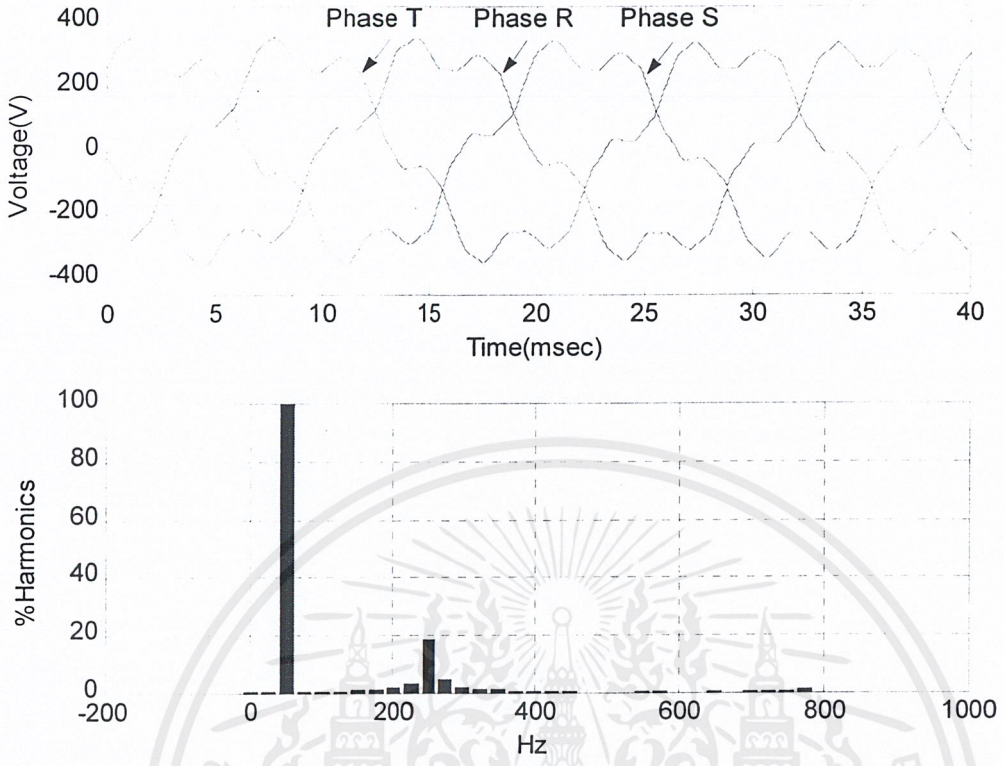


รูป 8.2.9 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,Vdf 20 % ลำดับเฟสลบ

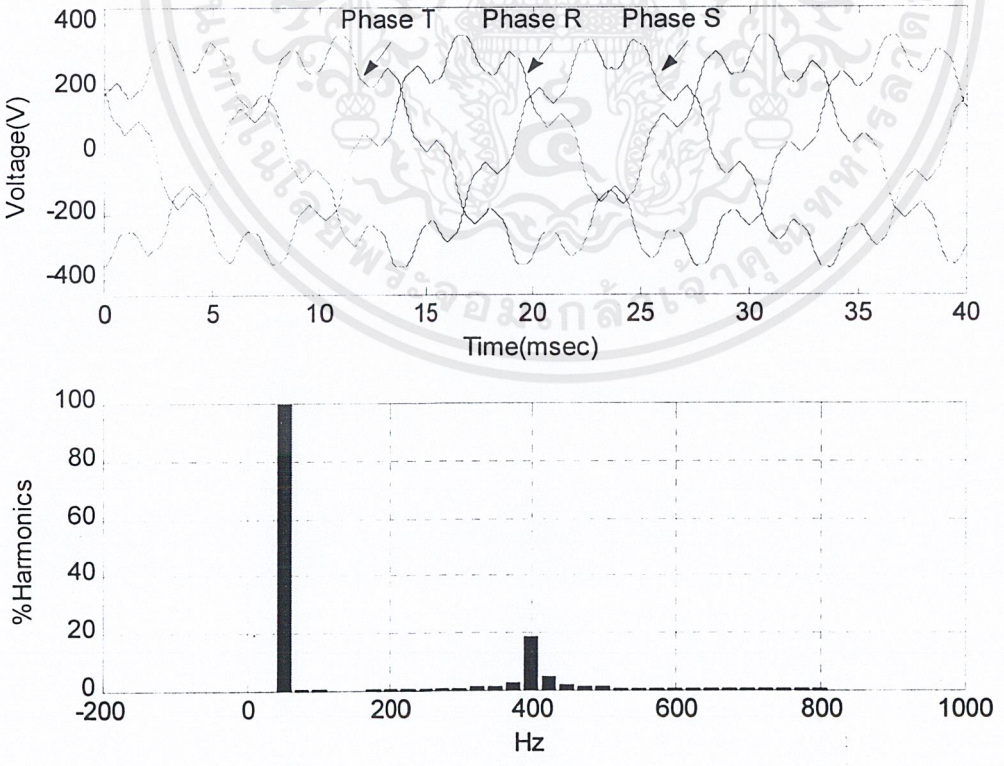


รูป 8.2.10 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,Vdf 20 % ลำดับเฟสลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

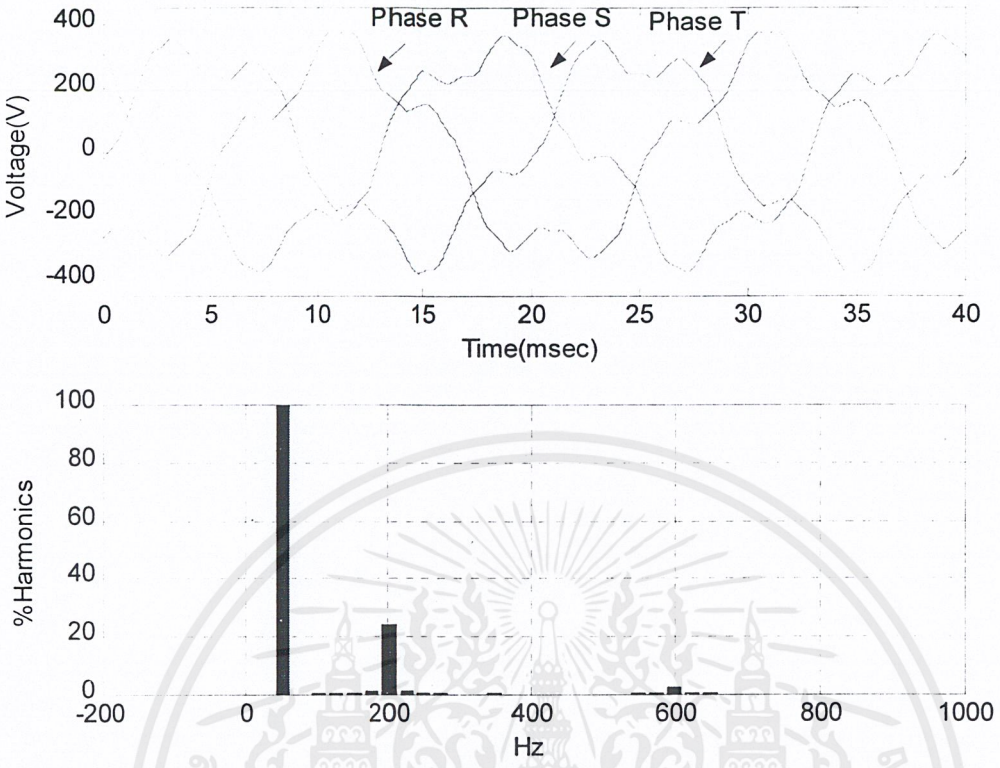


รูป 8.2.11 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 5,Vdf 20 % ลำดับเฟสลบ

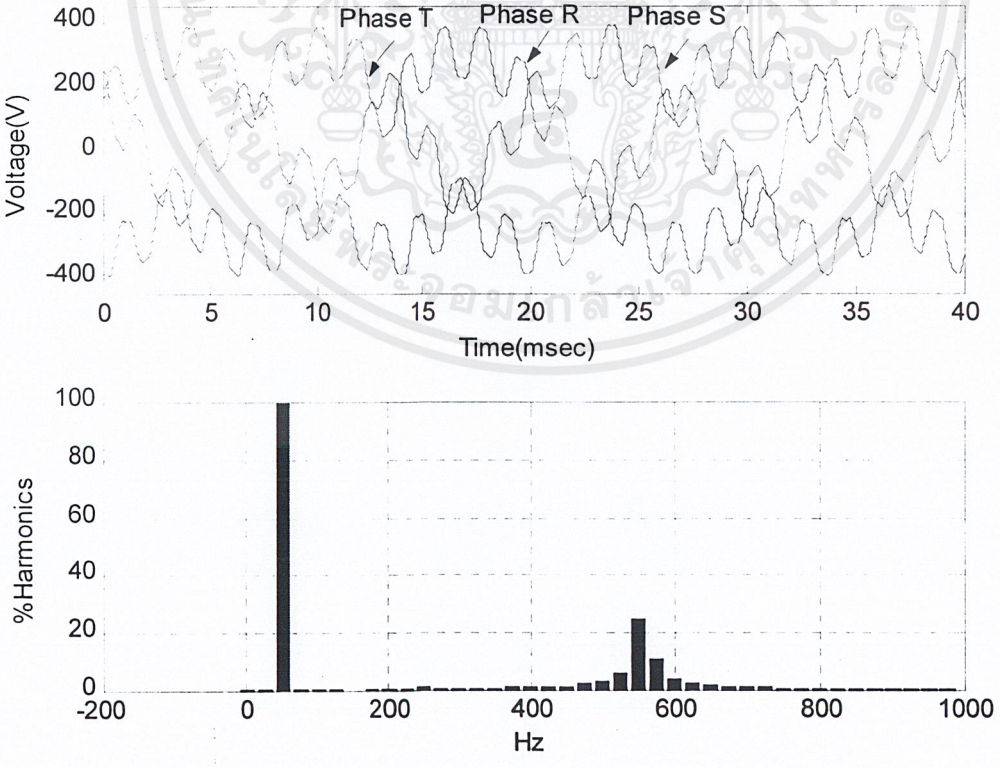


รูป 8.2.12 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 8,Vdf 20 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

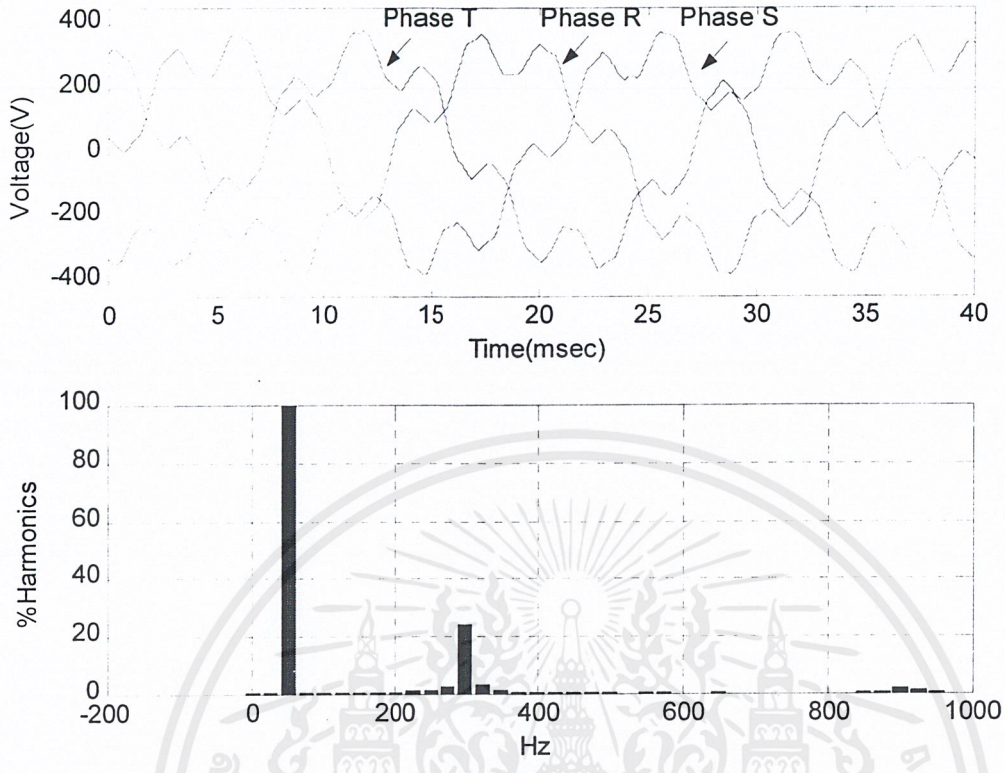


รูป 8.2.13 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,Vdf 25 % ลำดับเฟสลบ

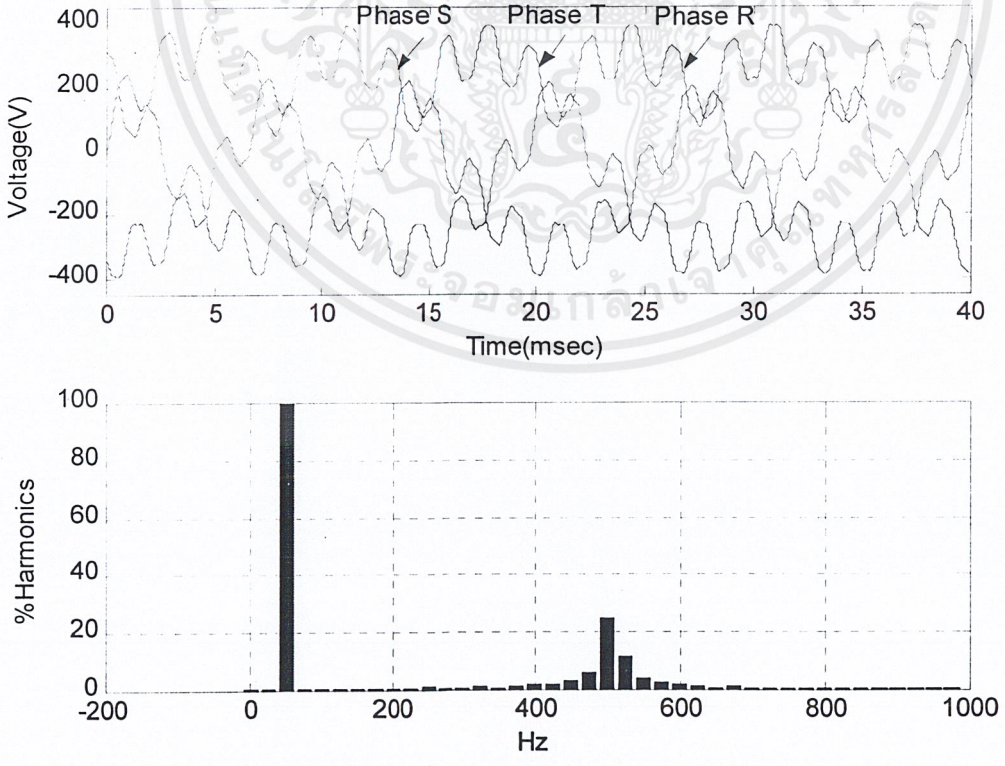


รูป 8.2.13 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 11,Vdf 25 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

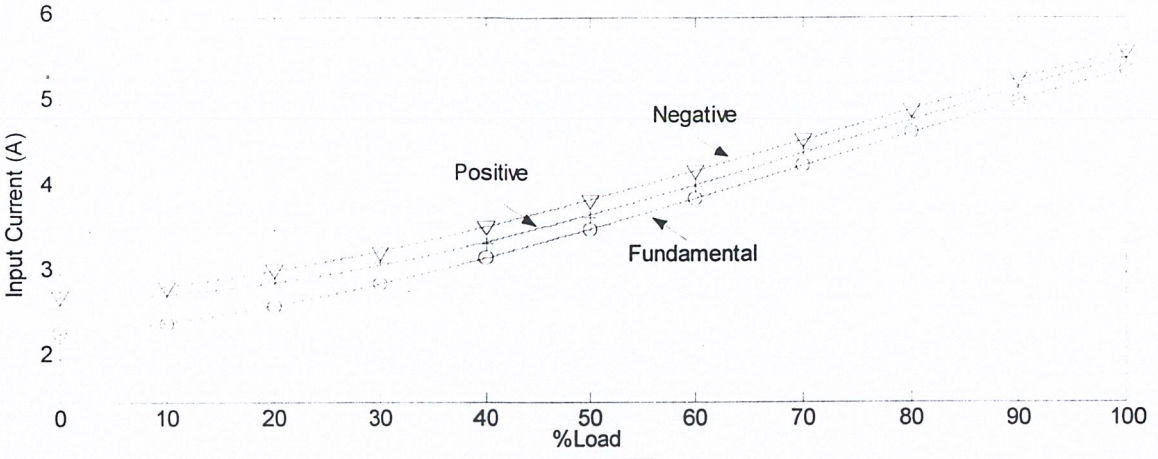


รูป 8.2.15 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,Vdf 25 % ลำดับเฟสลบ

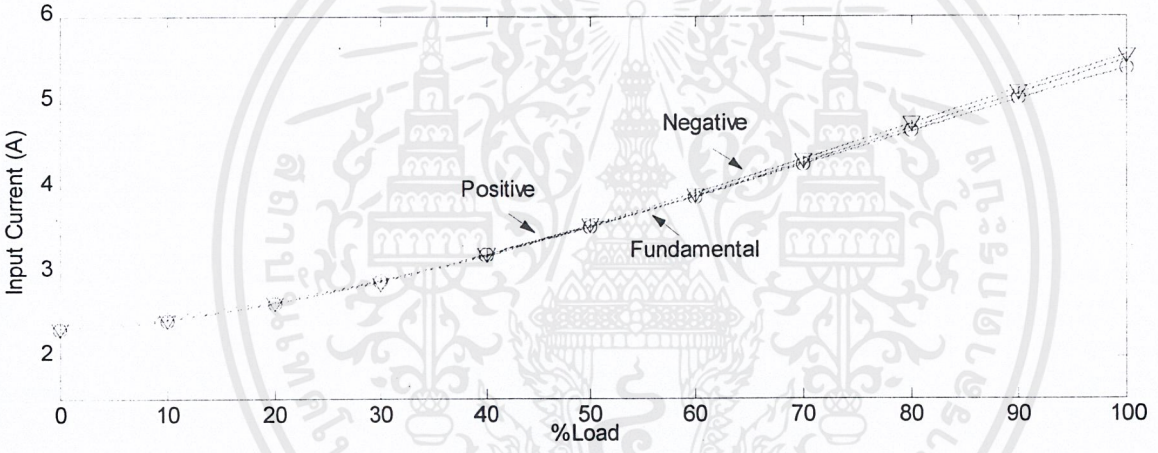


รูป 8.2.14 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 10,Vdf 25 % ลำดับเฟสบวก

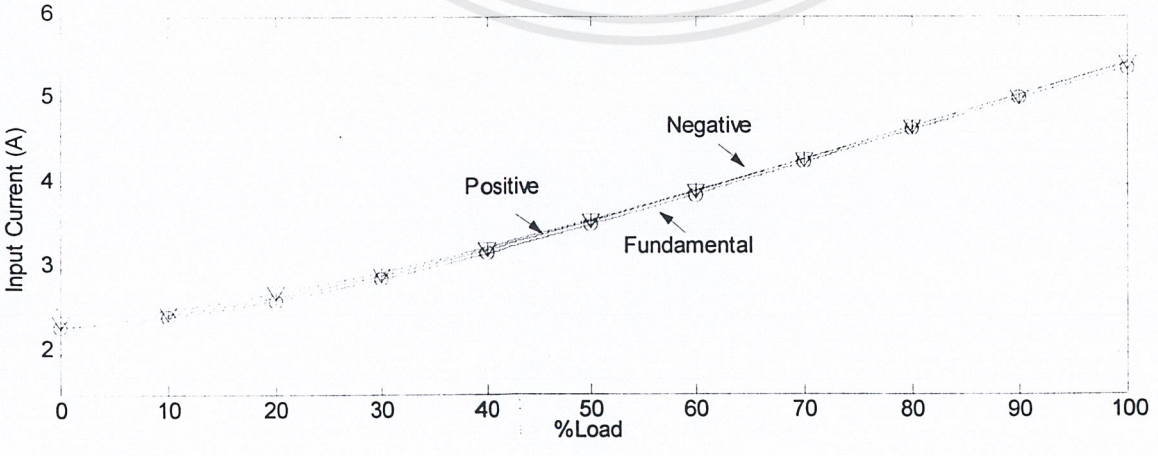
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.2.17 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 2,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

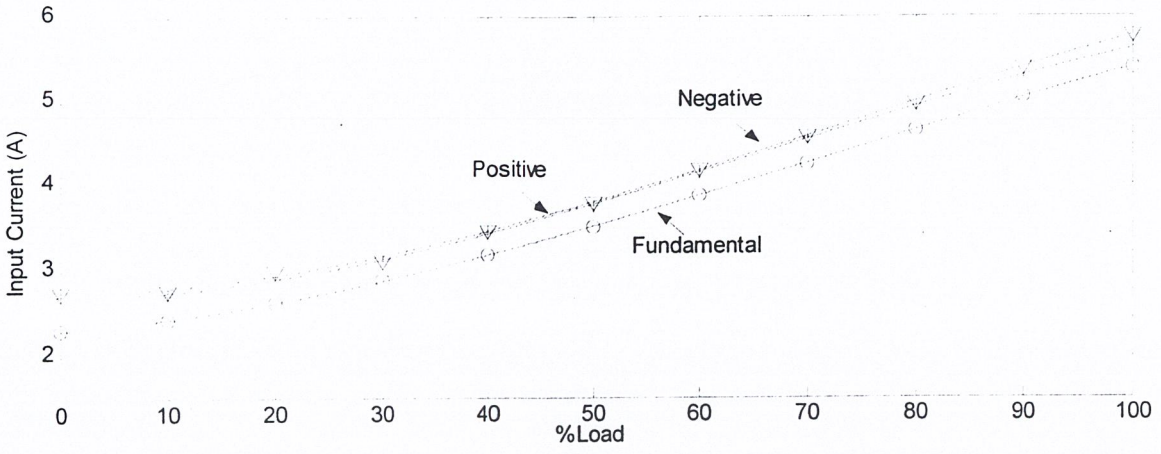


รูป 8.2.18 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 5,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

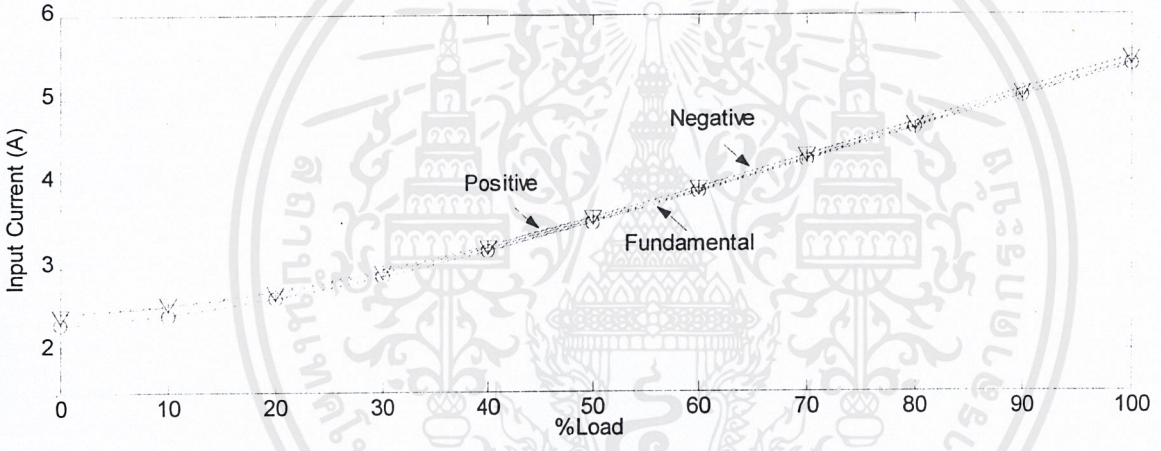


รูป 8.2.19 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 9,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

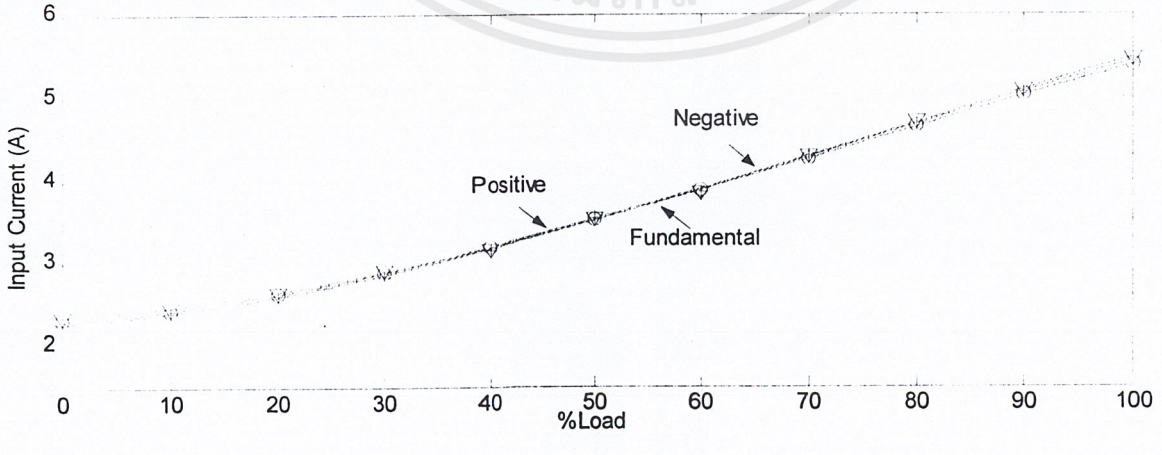
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.2.20 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 2,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

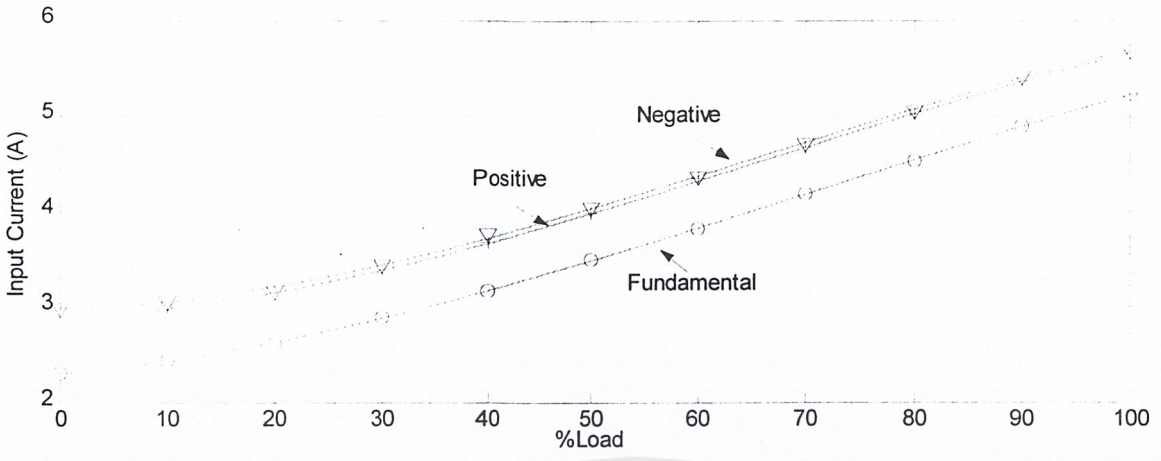


รูป 8.2.21 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 6,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

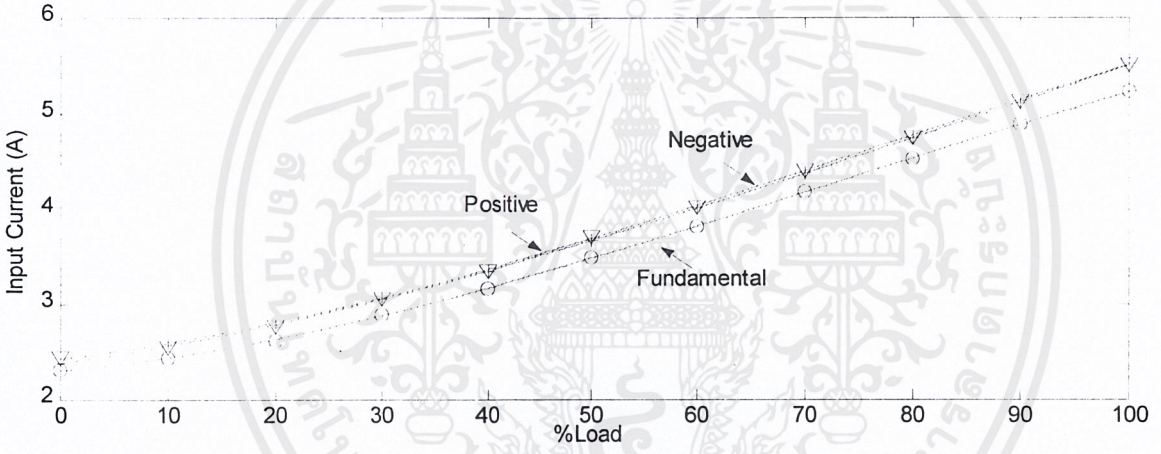


รูป 8.2.22 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 11,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

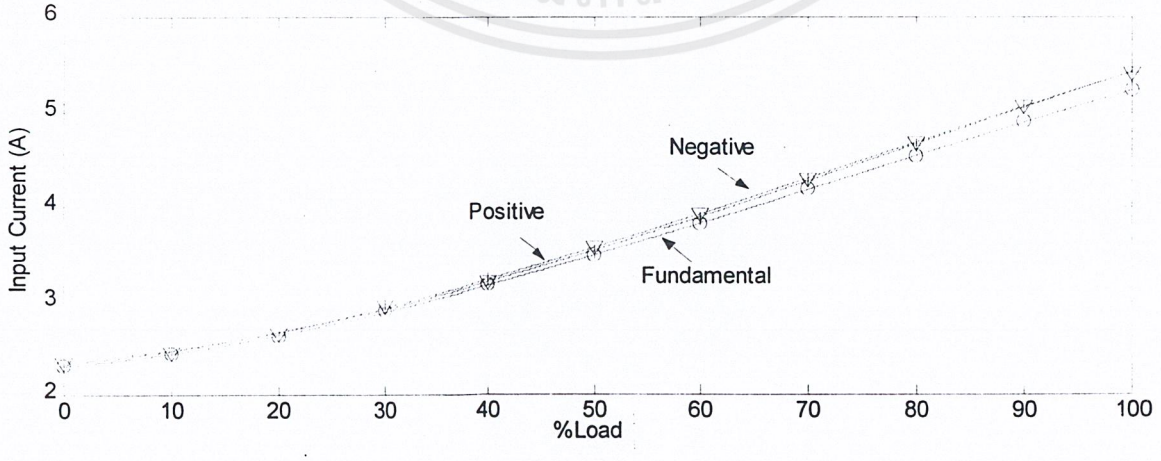
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.2.23 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

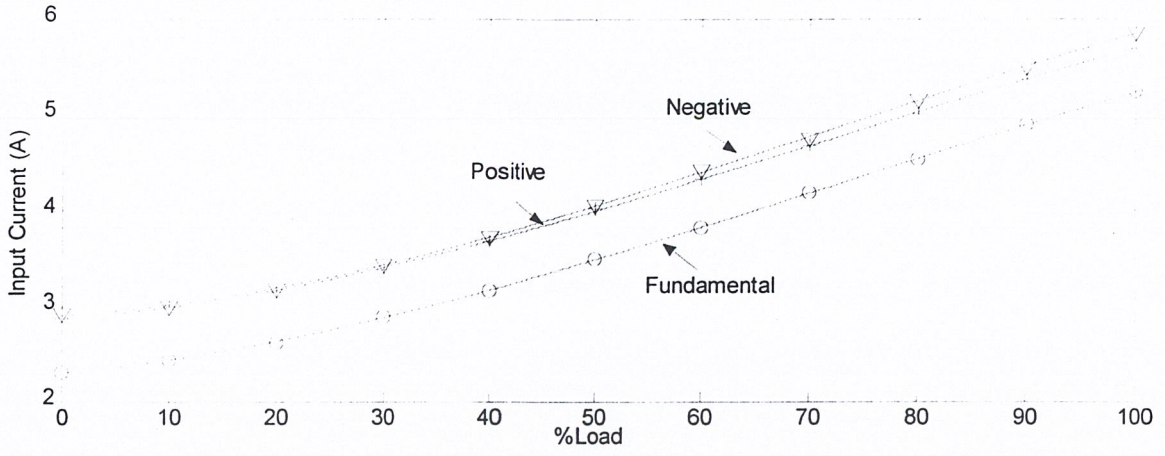


รูป 8.2.24 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 6,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

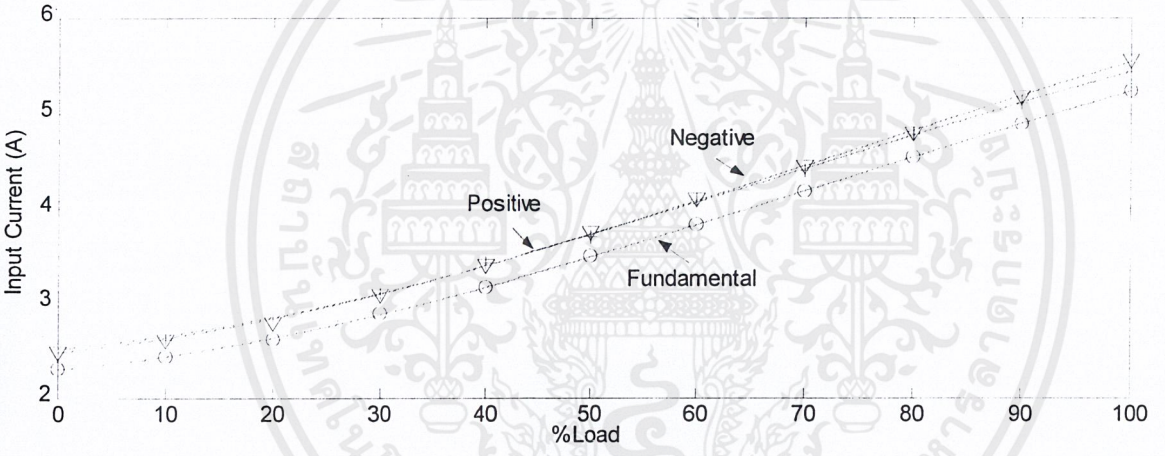


รูป 8.2.25 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 10,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

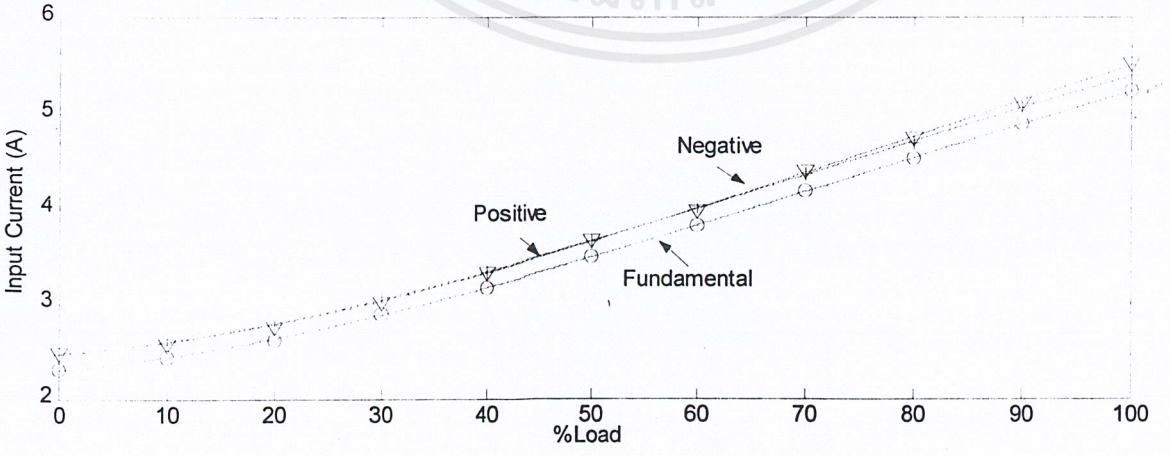
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.2.26 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

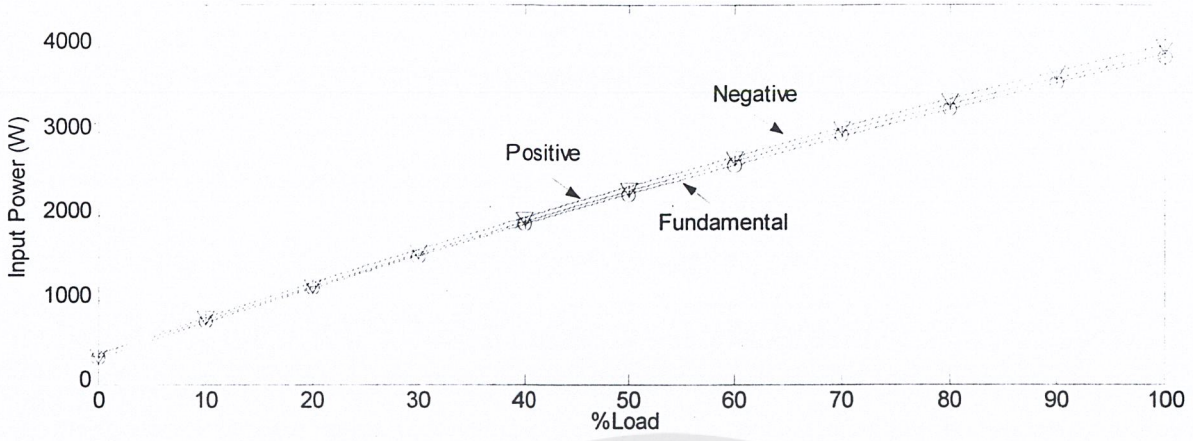


รูป 8.2.27 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 6,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

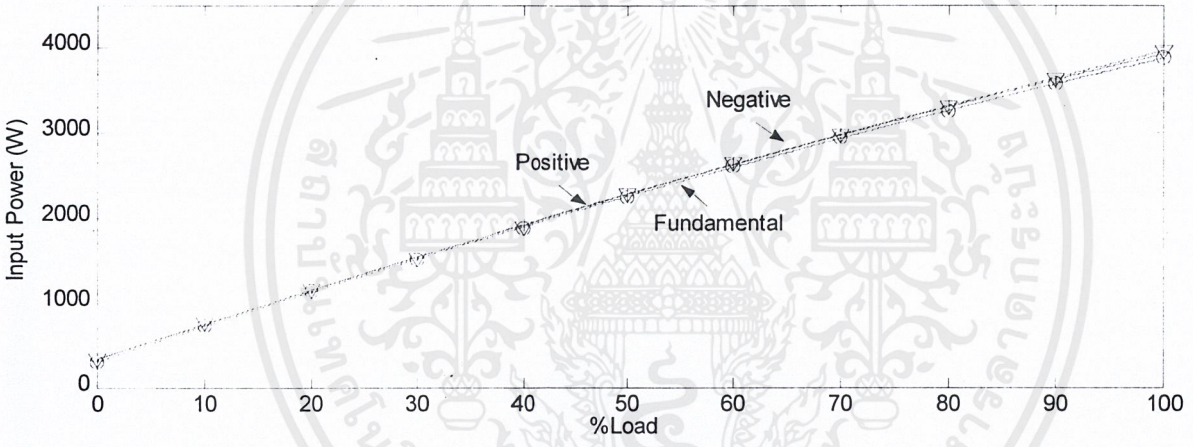


รูป 8.2.28 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 9,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

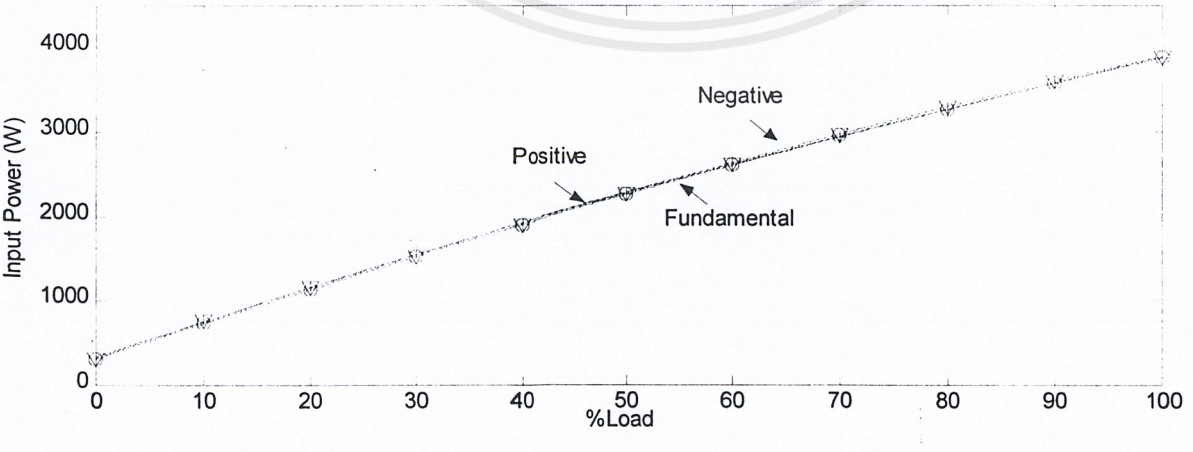
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.2.29 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 3,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

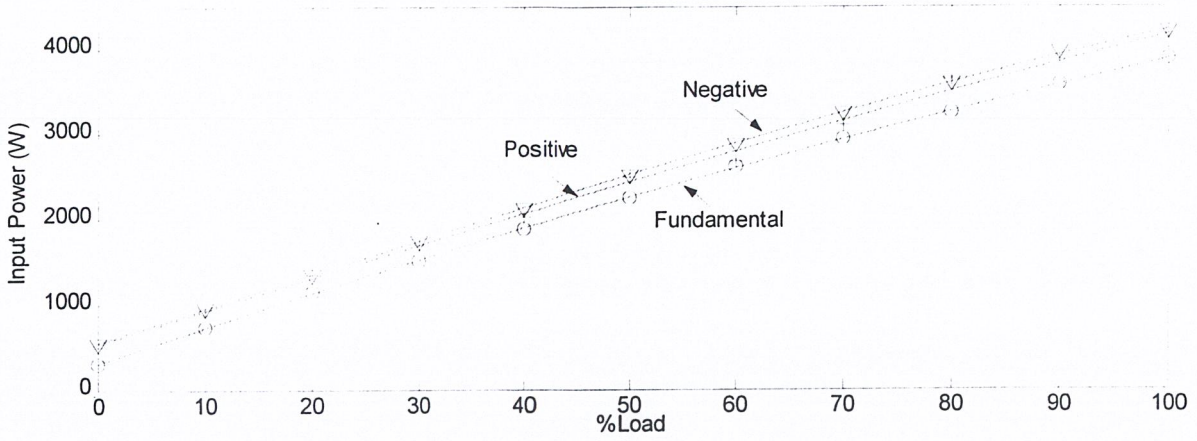


รูป 8.2.30 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 7,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

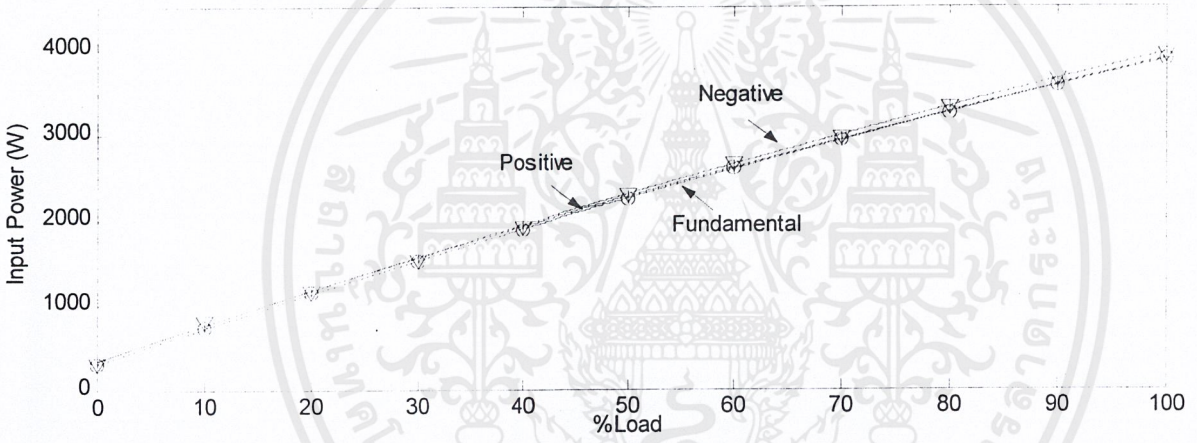


รูป 8.2.31 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 9,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

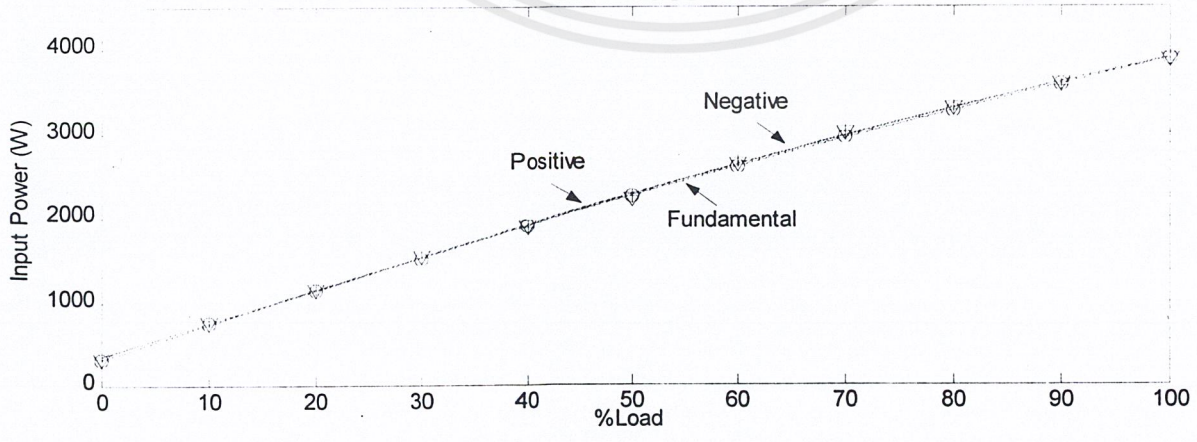
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.2.32 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 2,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

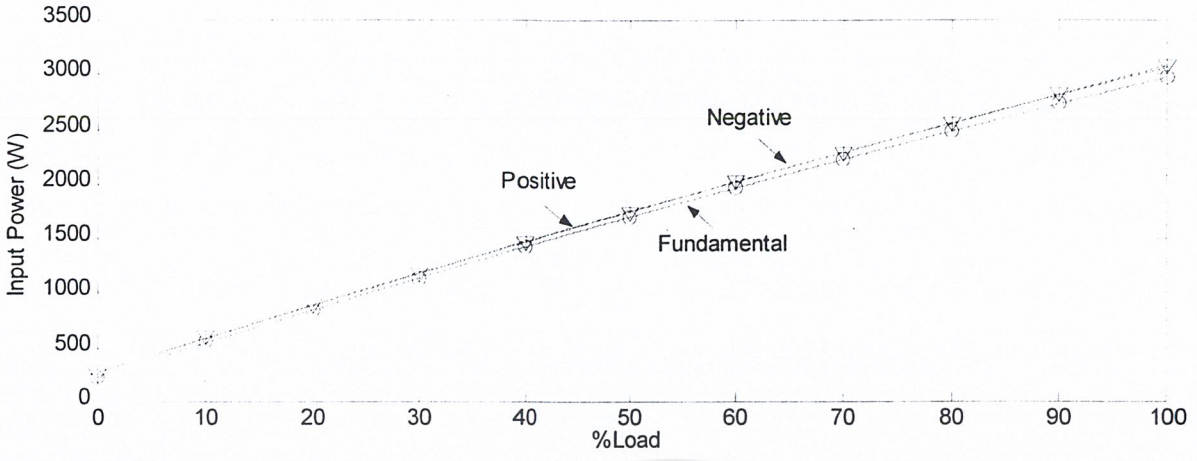


รูป 8.2.33 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 5,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

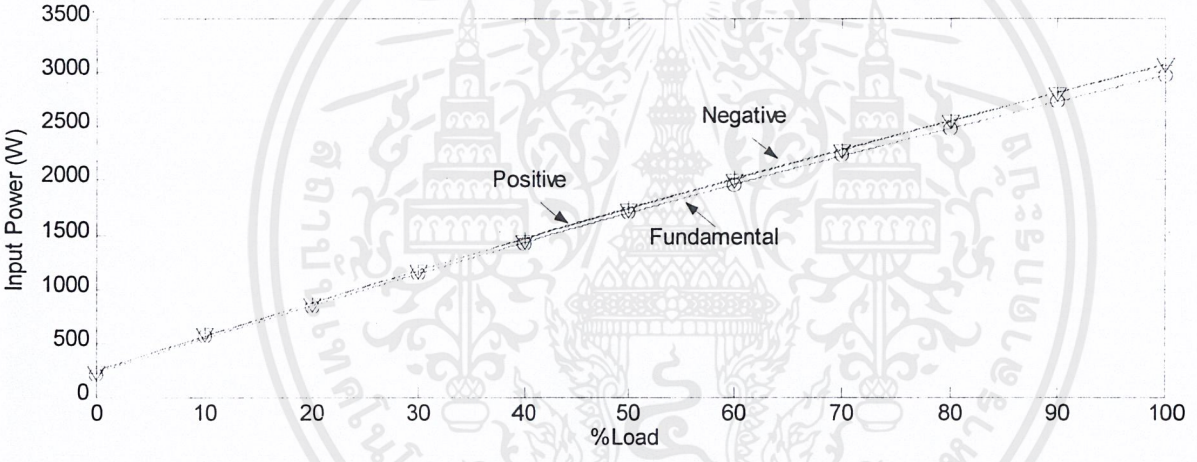


รูป 8.2.34 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 10,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

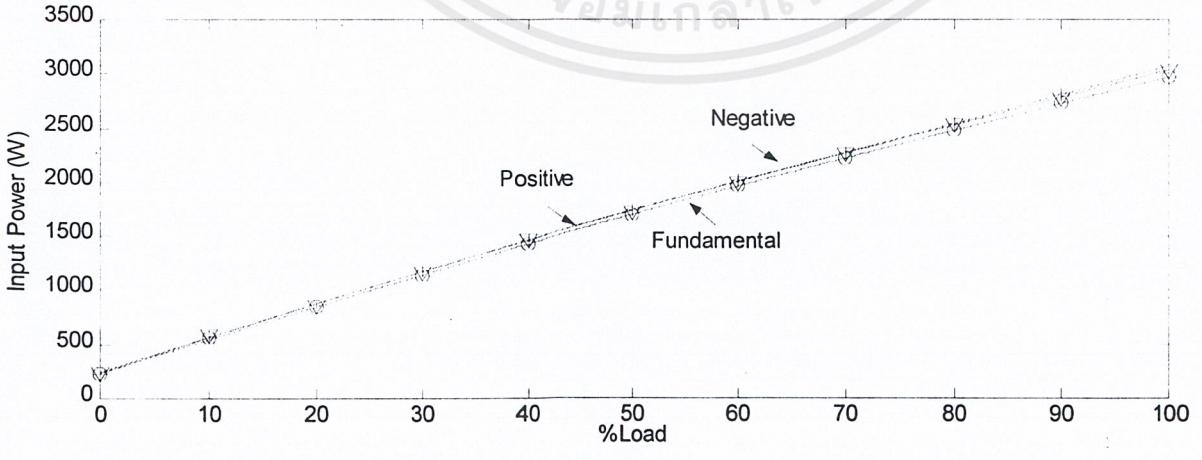
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.2.35 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

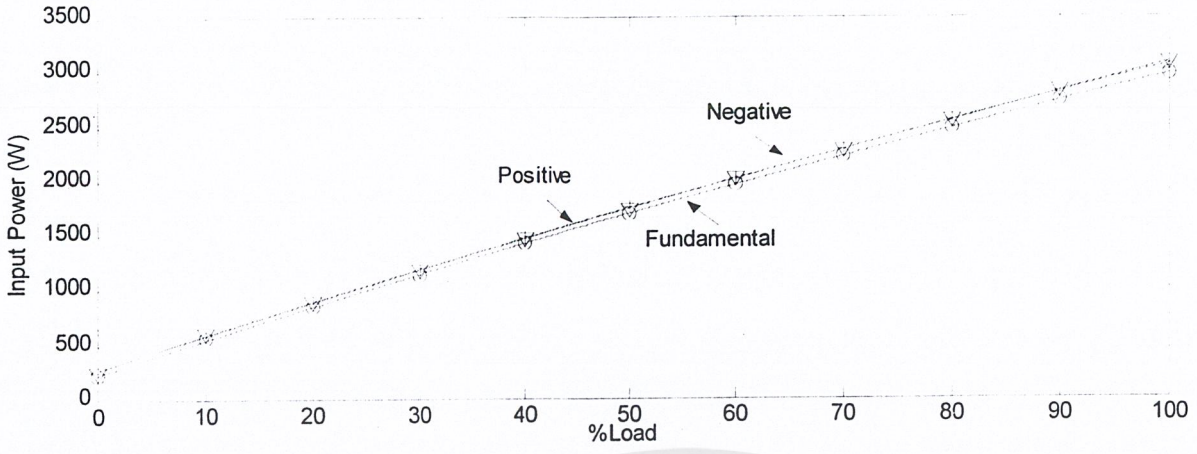


รูป 8.2.36 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 8,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

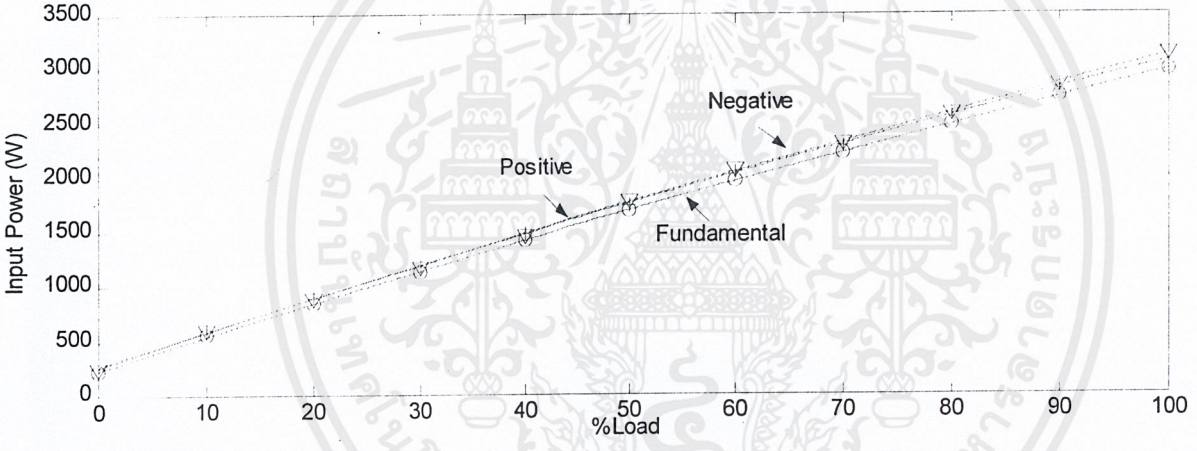


รูป 8.2.37 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 11,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

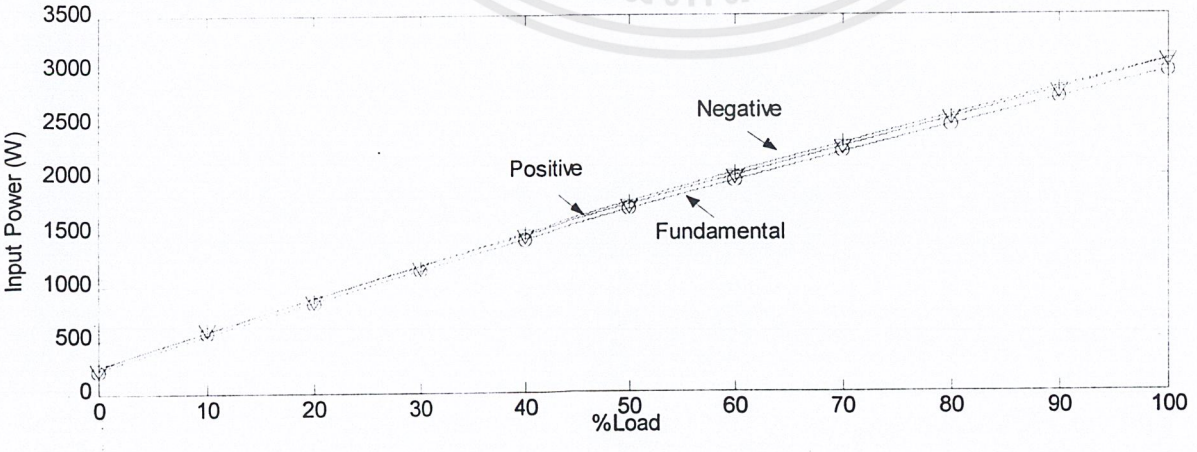
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.2.38 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน



รูป 8.2.39 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 7,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน



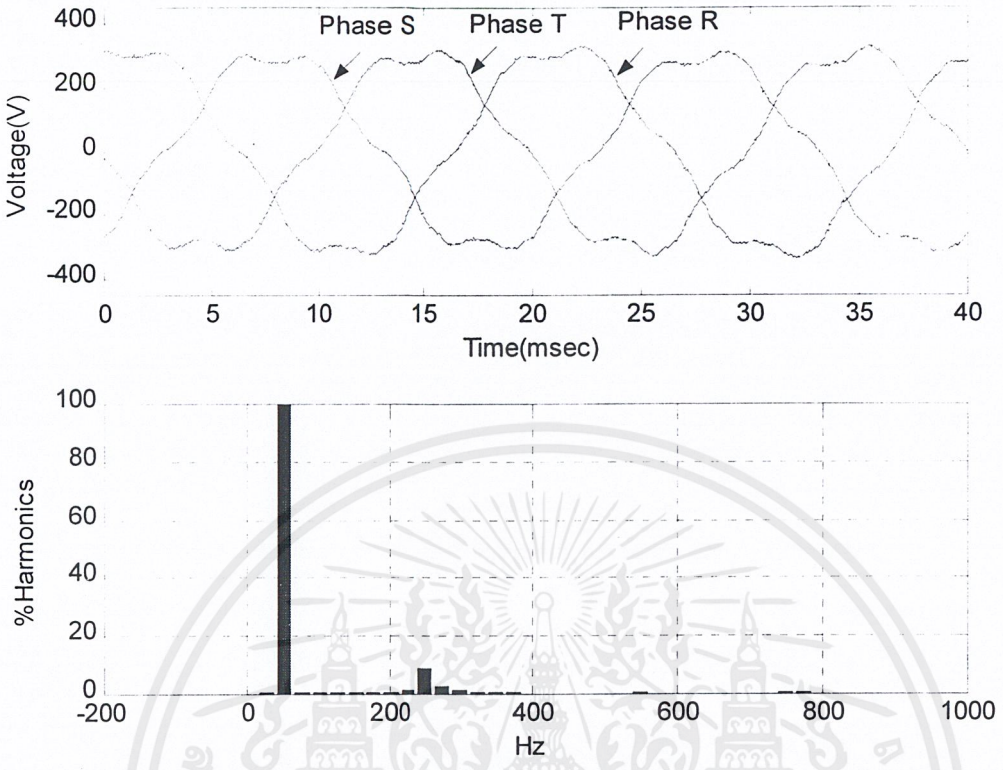
รูป 8.2.40 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 10,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

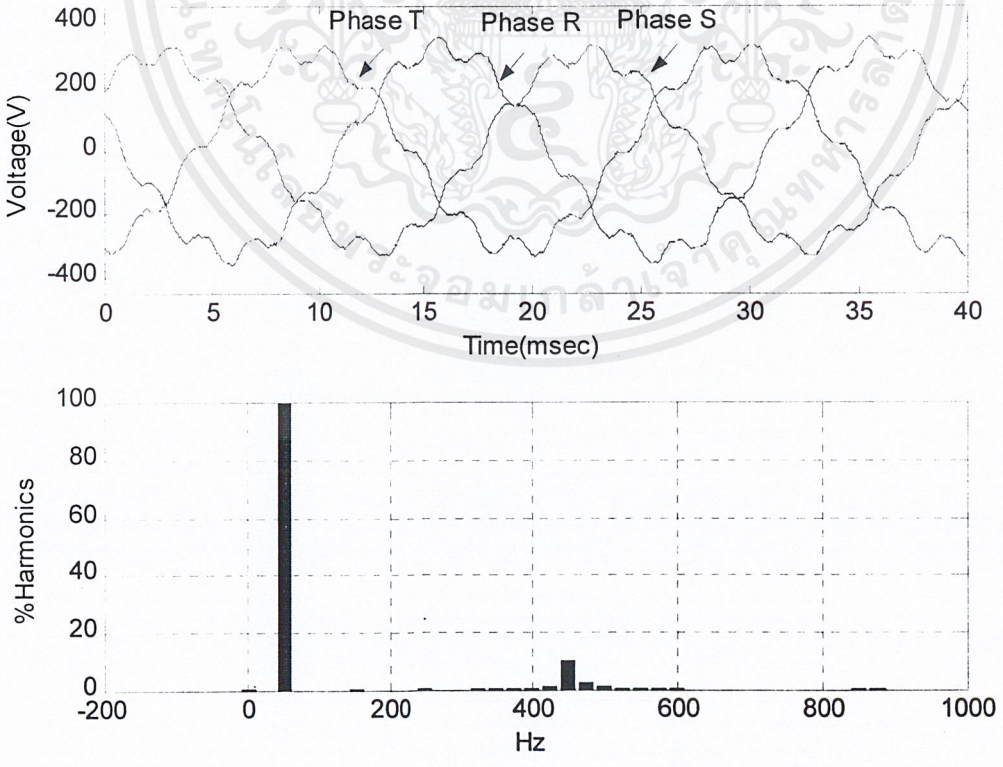
8.3 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 5 แรงม้า

การทดลองนี้เป็นการทดลองที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 5 แรงม้า ซึ่งมีความเร็วรอบที่พิกัดเป็น 1420 รอบต่อนาทีและมีค่ากระแสที่พิกัดขนาด 7.9 แอมแปร์ และทำการต่อแบบสตาร์ ซึ่งทำโดยการป้อนศักดาไฟฟ้าที่ไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำและทำการเพิ่มภาระของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจนกระทั่งถึงค่าที่พิกัด และทำการบันทึกค่าศักดาไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าไว้ ซึ่งสามารถแสดงผลของการป้อนศักดาไฟฟ้าที่ไม่เป็นรูปไซน์ได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

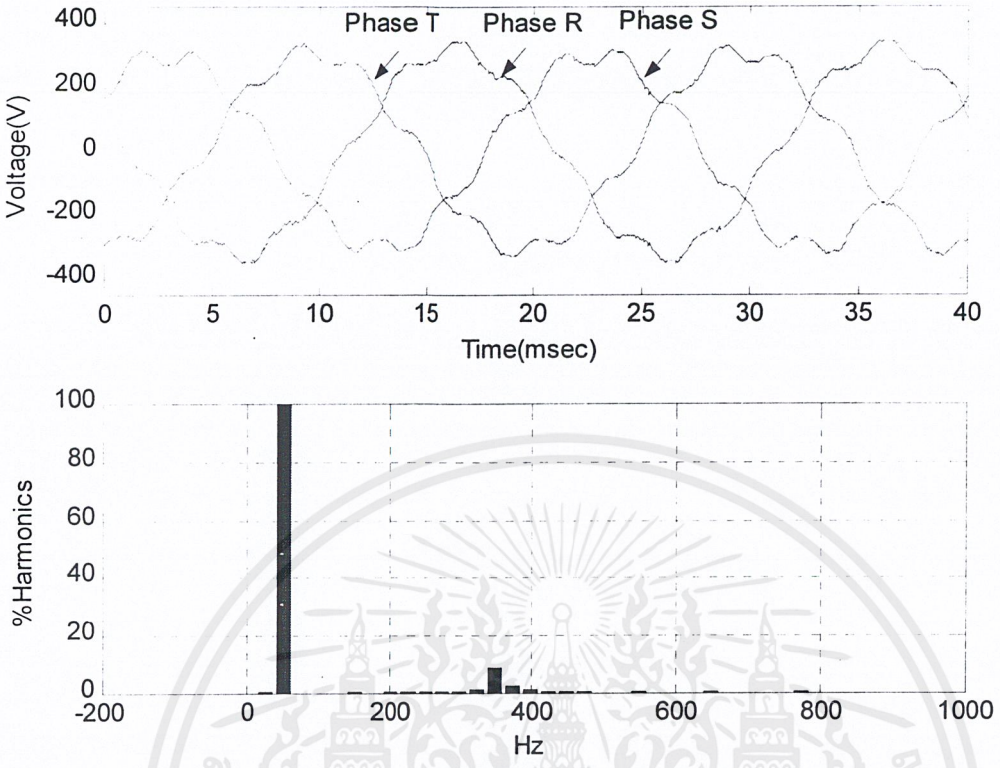


รูป 8.3.1 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 5,Vdf 10 % ลำดับเฟสลบ

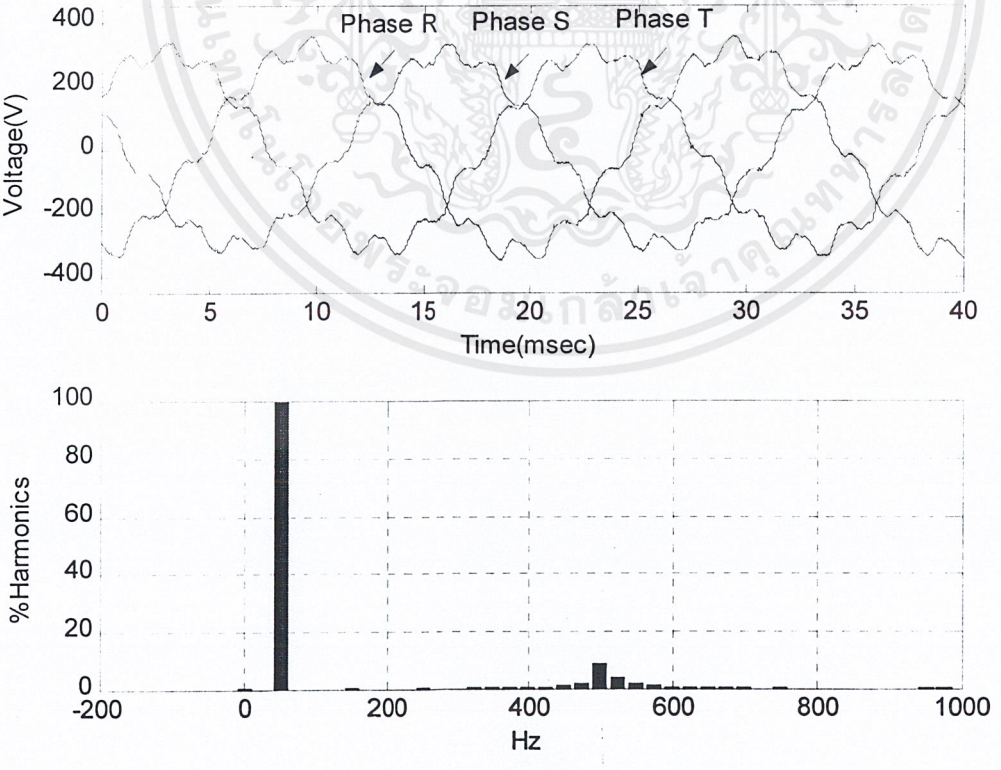


รูป 8.3.2 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 9,Vdf 10 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

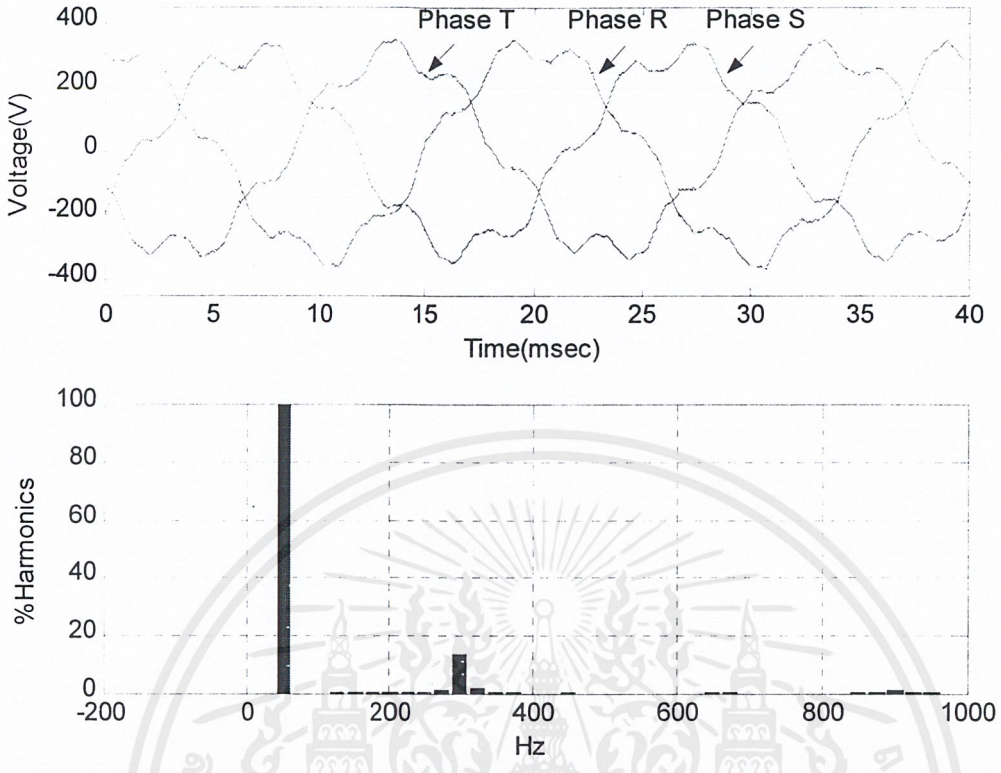


รูป 8.3.3 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 7,Vdf 10 % ลำดับเฟสลบ

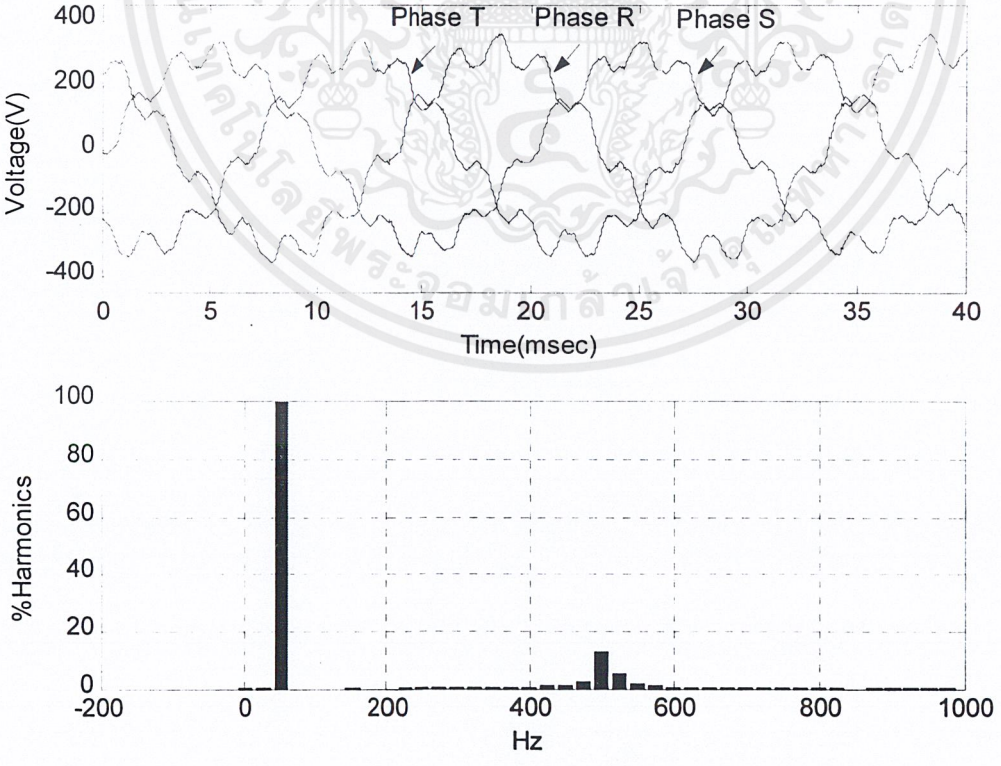


รูป 8.3.4 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 10,Vdf 10 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

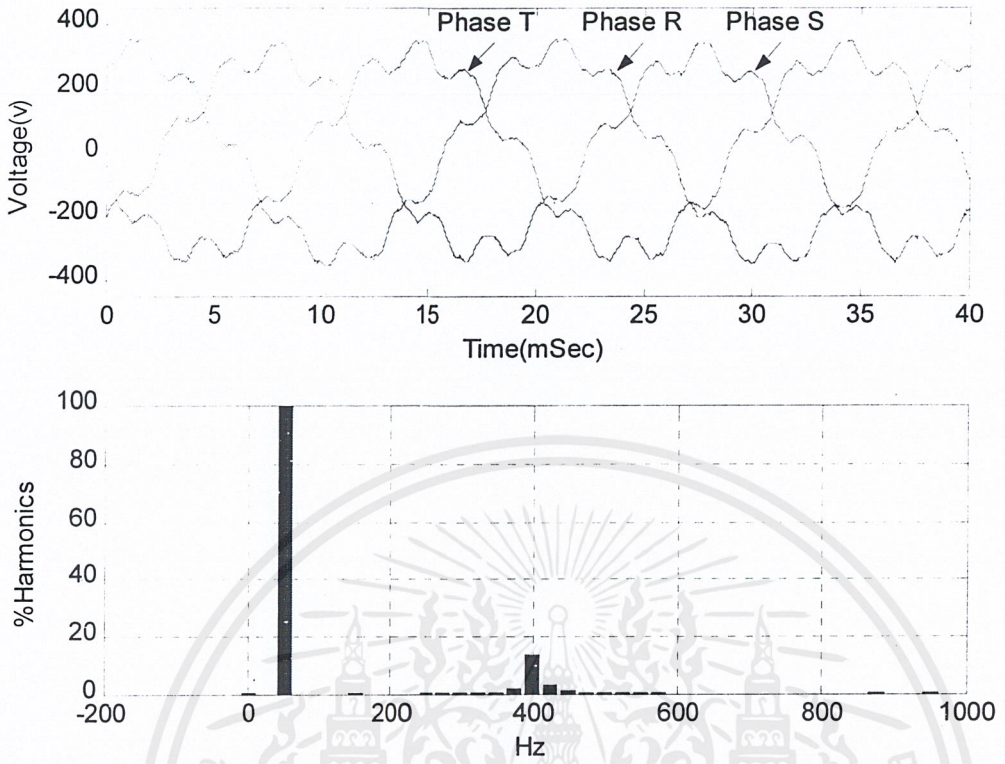


รูป 8.3.5 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,Vdf 15 % ลำดับเฟสลบ

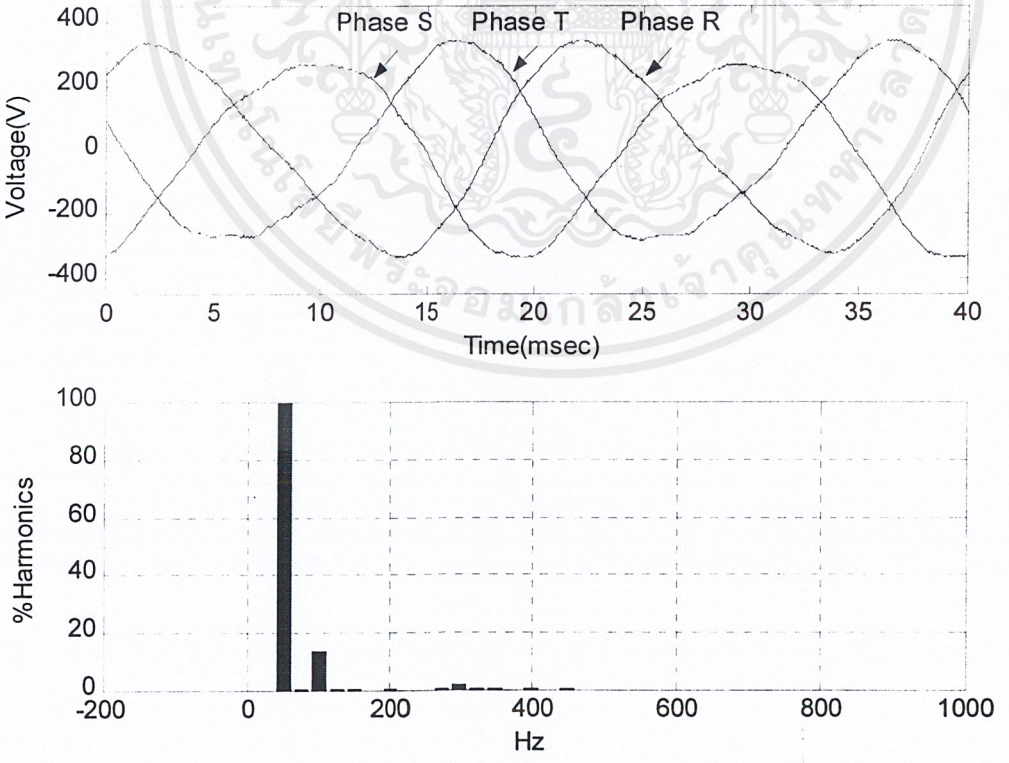


รูป 8.3.6 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 9,Vdf 15 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

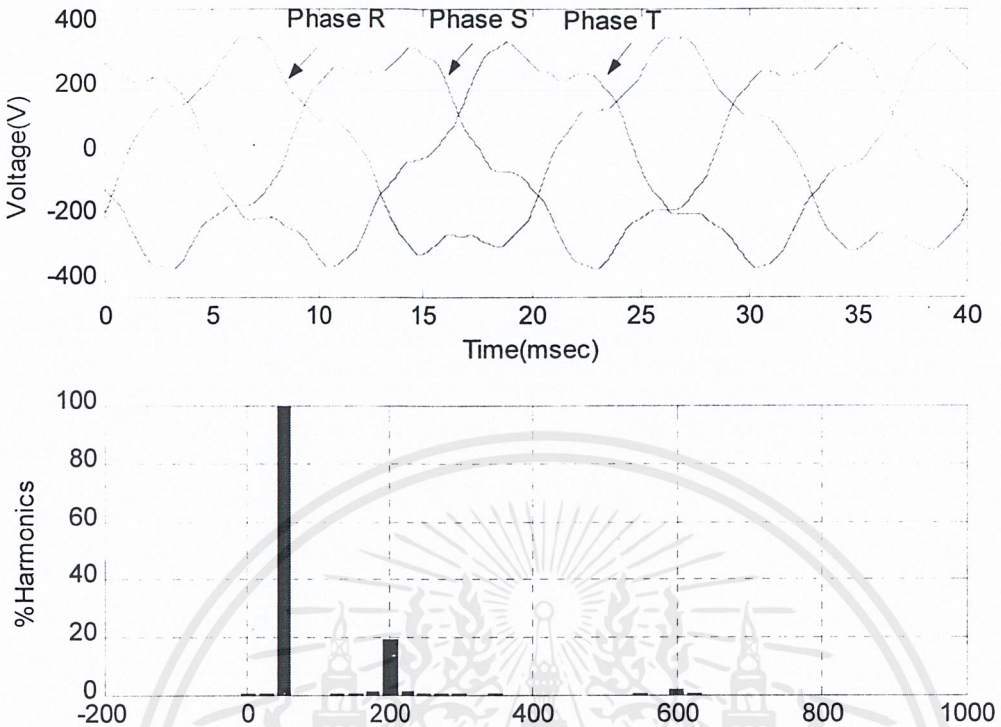


รูป 8.3.7 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 8,Vdf 15 % ลำดับเฟสลบ

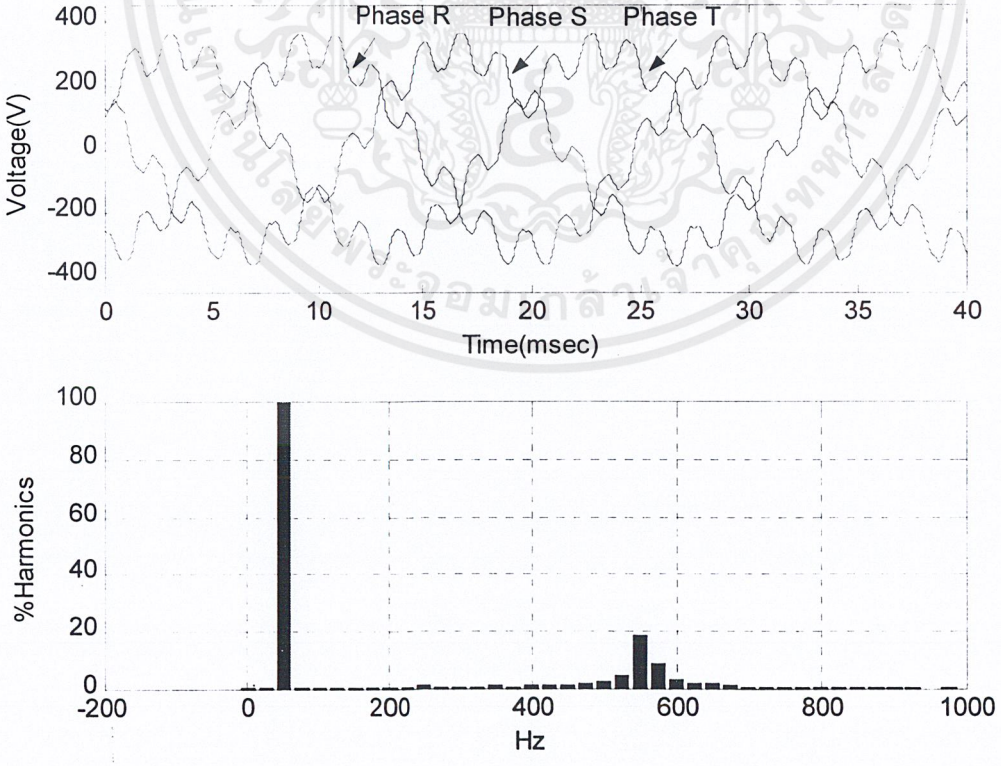


รูป 8.3.8 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 2,Vdf 15 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

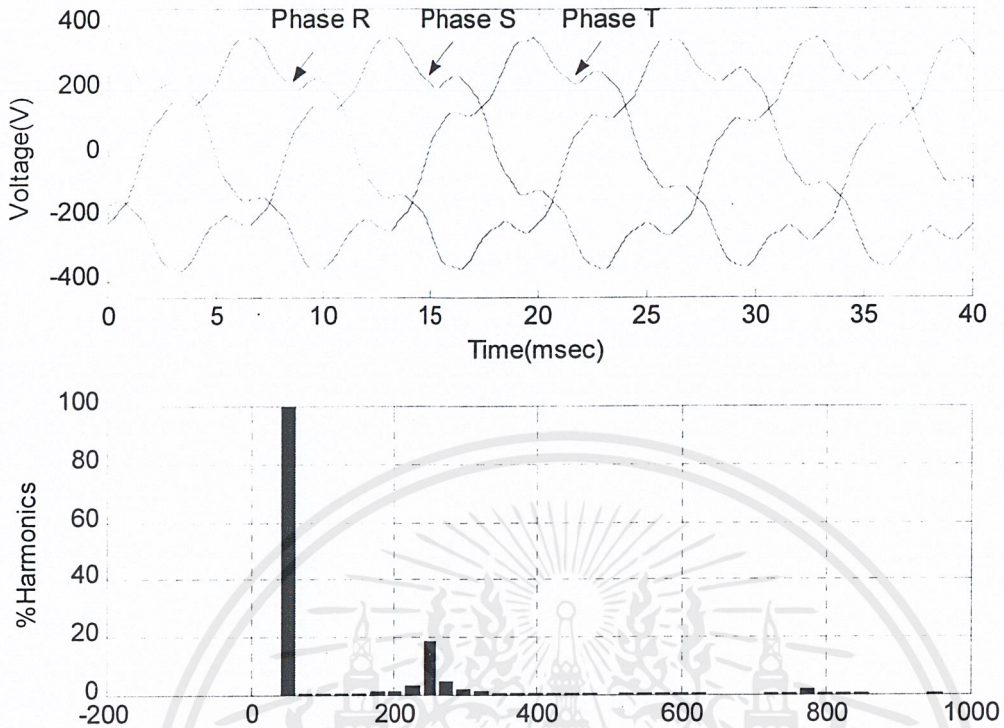


รูป 8.3.9 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,Vdf 20 % ลำดับเฟสลบ

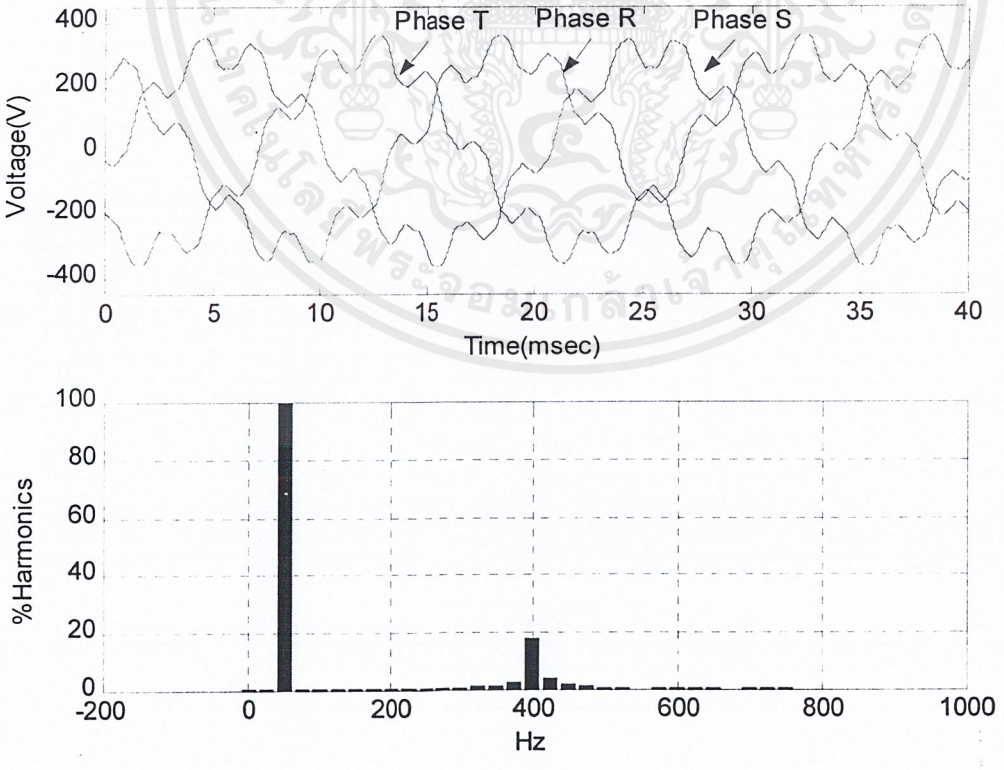


รูป 8.3.10 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 11,Vdf 20 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

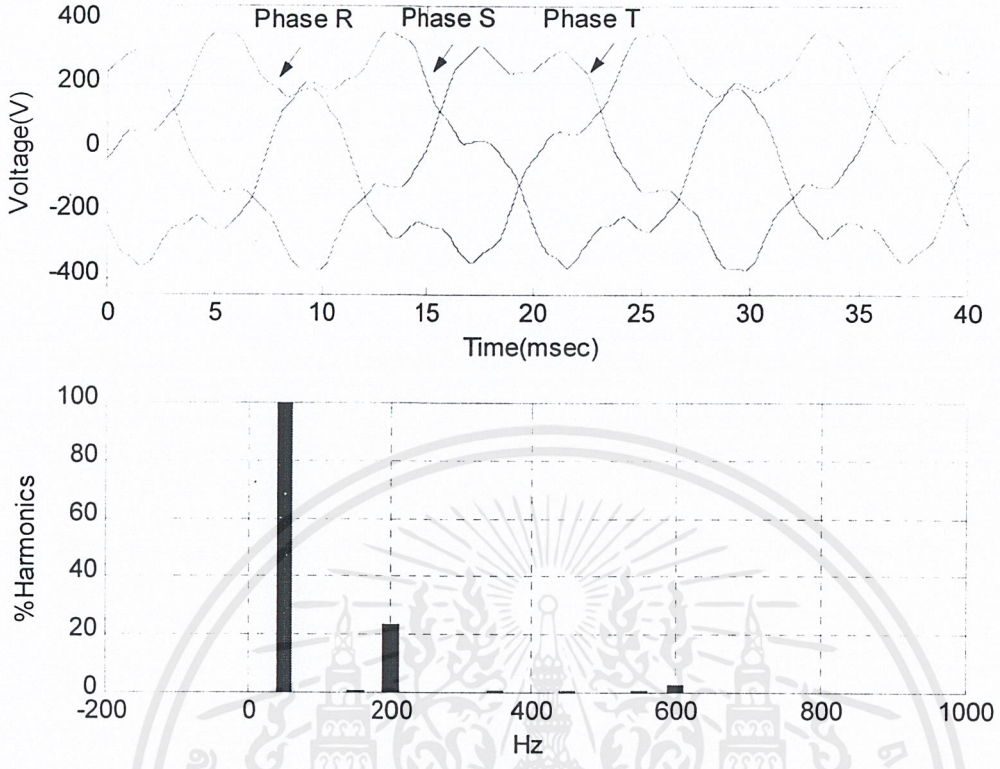


รูป 8.3.11 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 5,Vdf 20 % ลำดับเฟสลบ

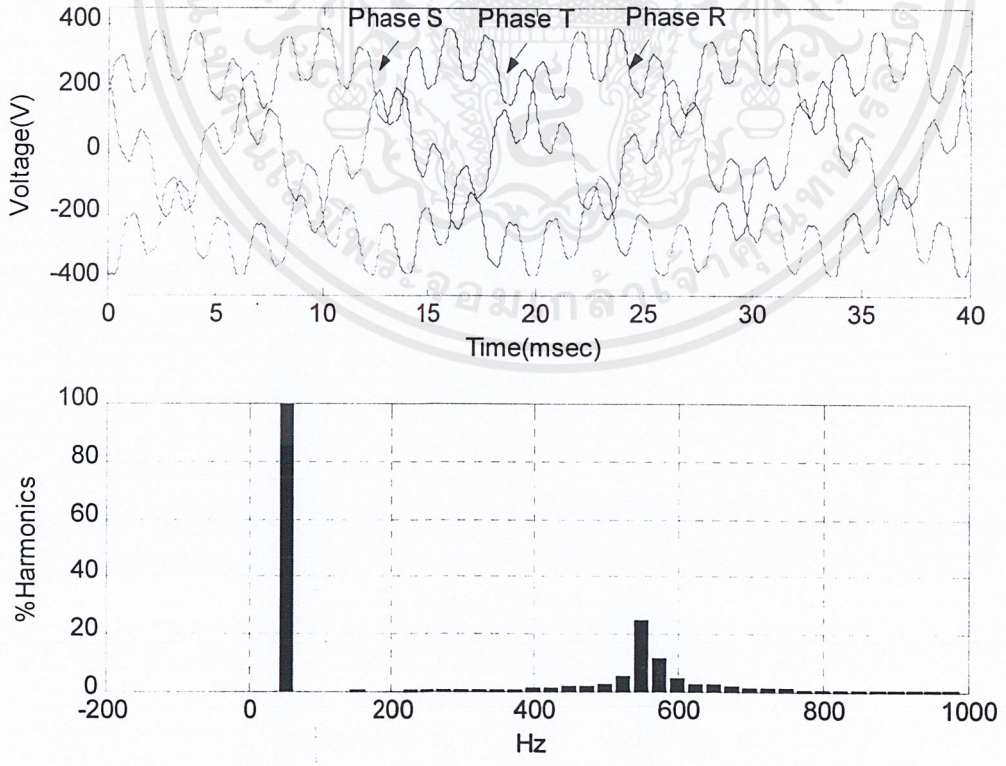


รูป 8.3.12 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 8,Vdf 20 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

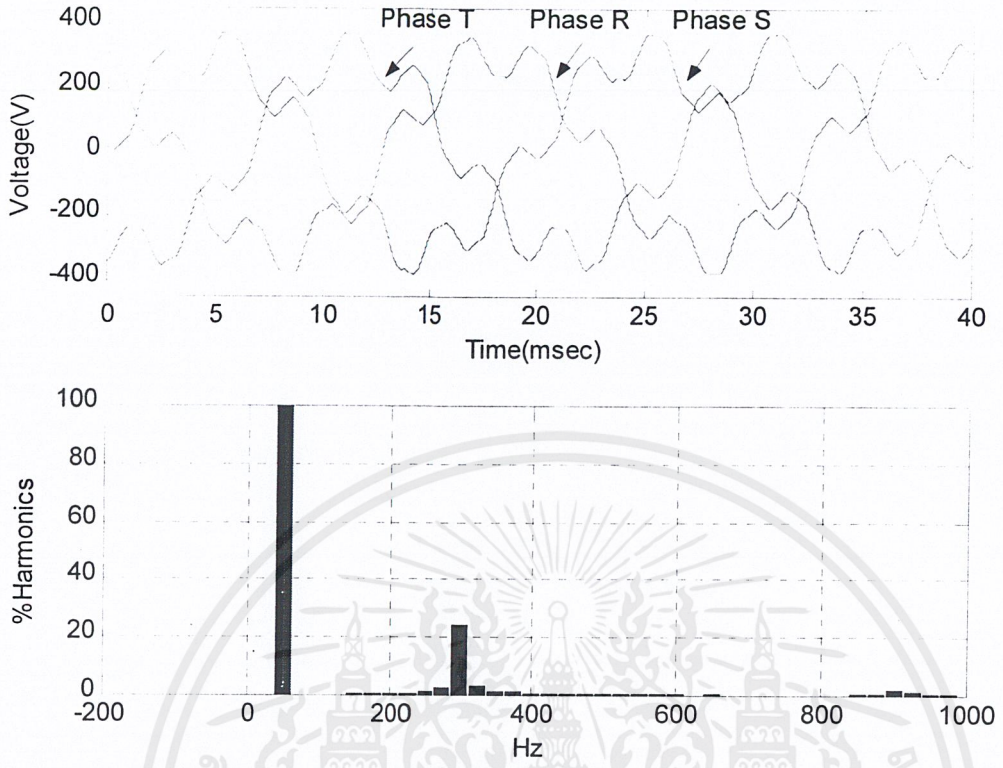


รูป 8.3.13 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 4,Vdf 25 % ลำดับเฟสลบ

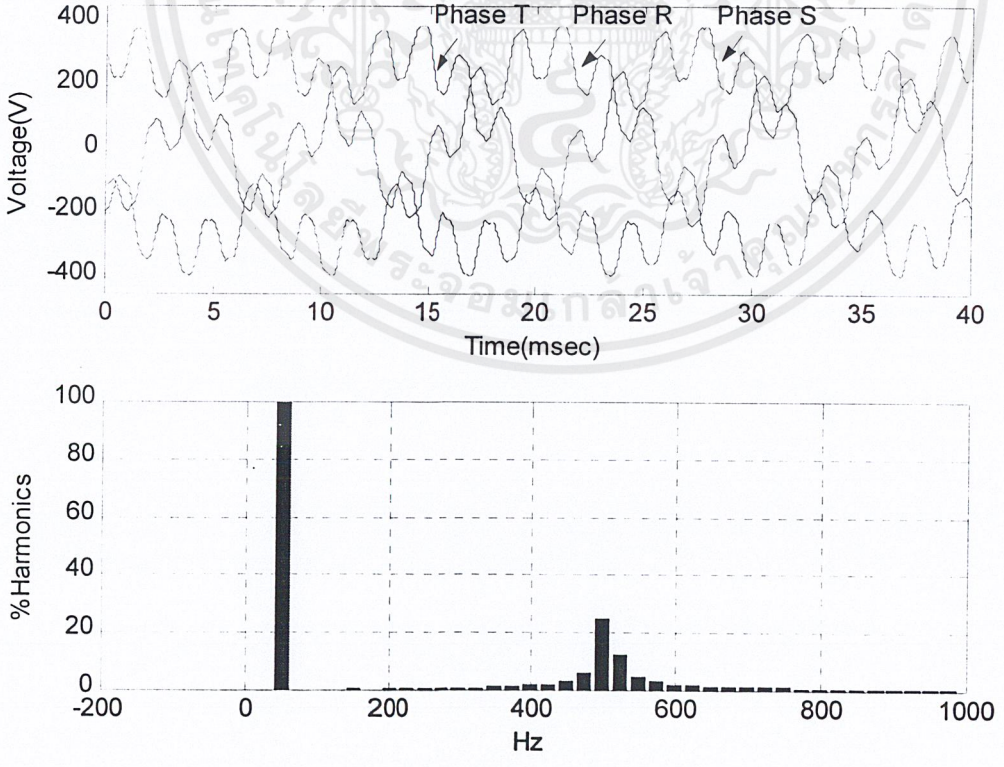


รูป 8.3.14 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 11,Vdf 25 % ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

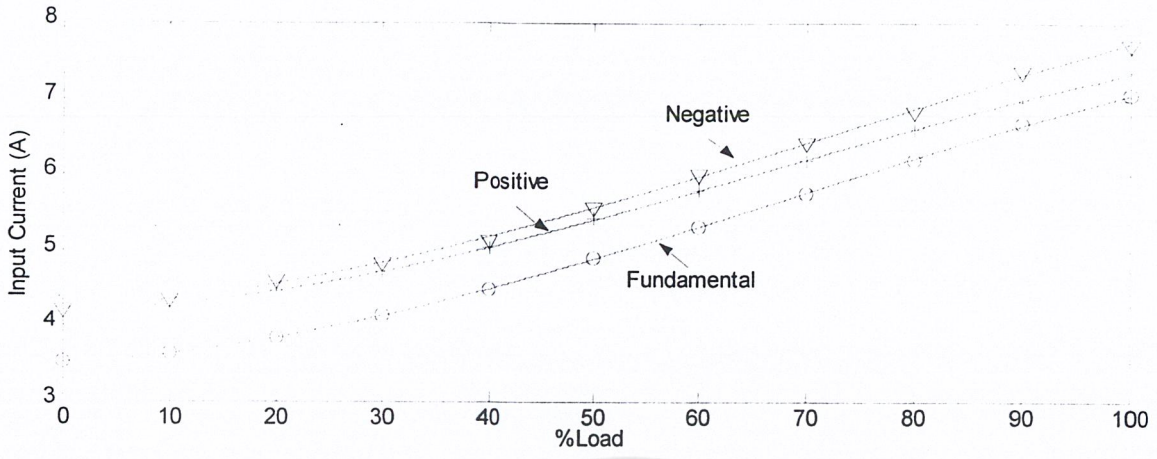


รูป 8.3.15 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 6,Vdf 25 % ลำดับเฟสลบ

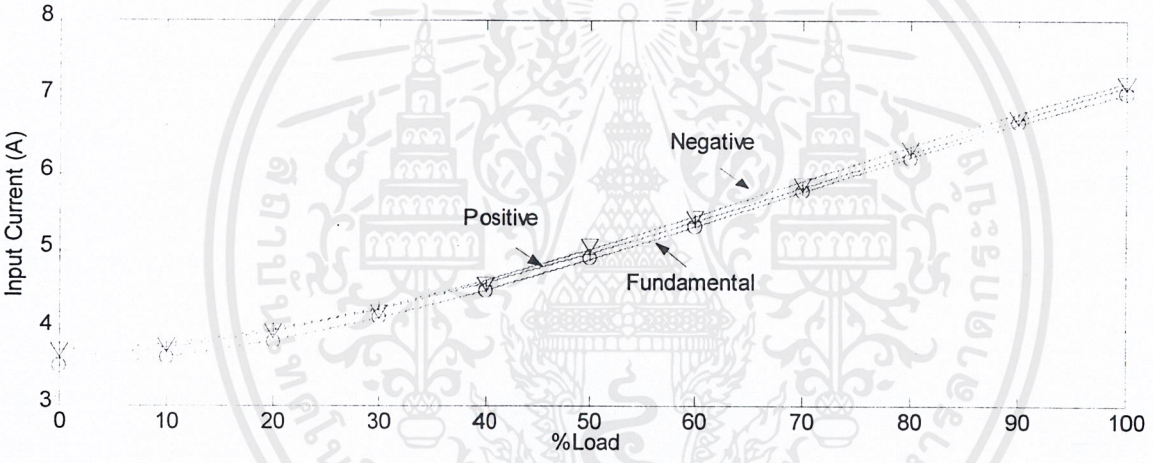


รูป 8.3.16 การป้อนฮาร์โมนิกส์ลำดับ 10,Vdf 25 % ลำดับเฟสบวก

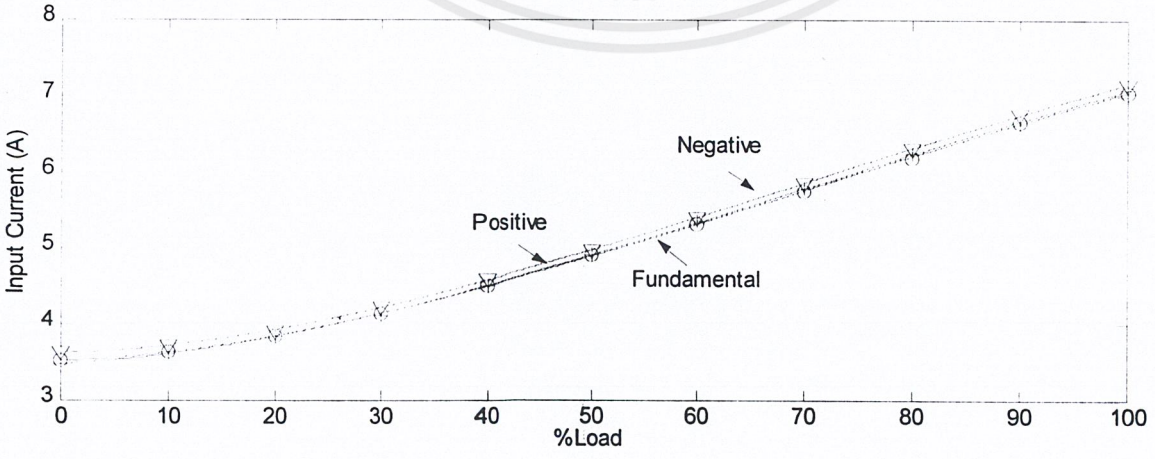
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.3.17 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 2,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

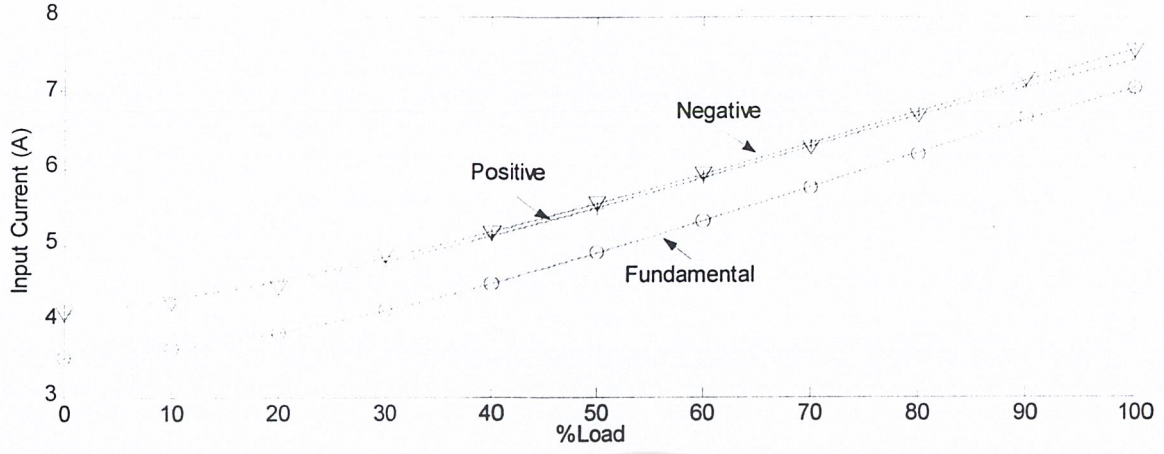


รูป 8.3.18 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 5,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

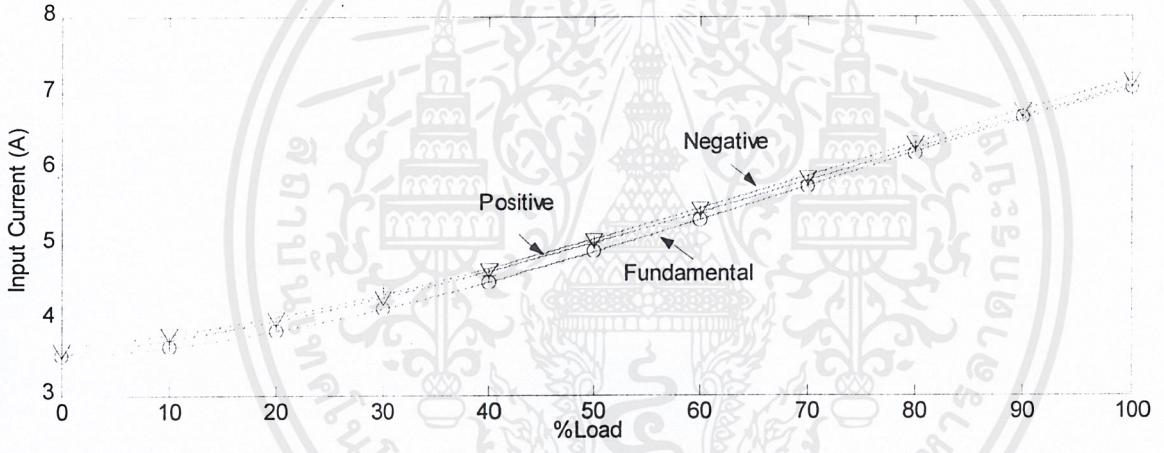


รูป 8.3.19 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 9,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

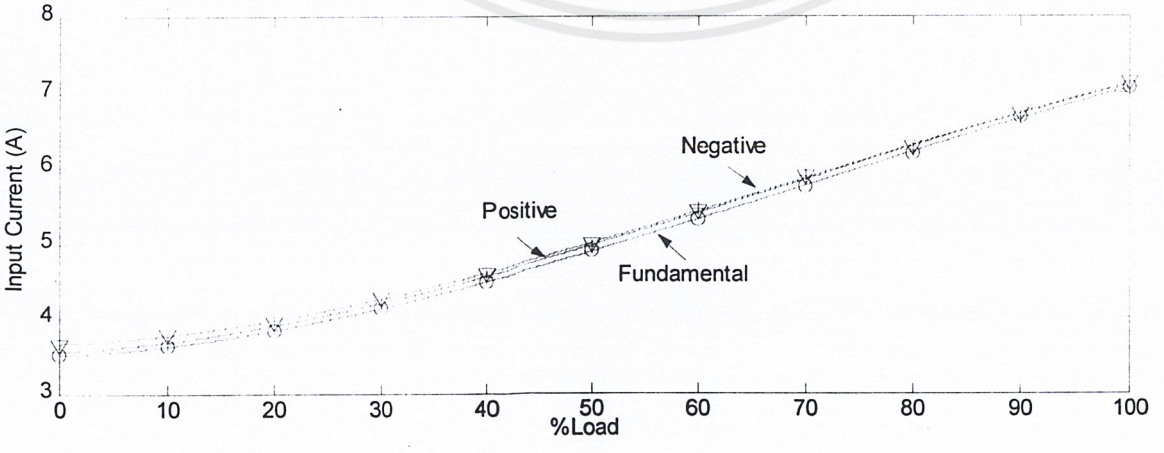
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.3.20 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

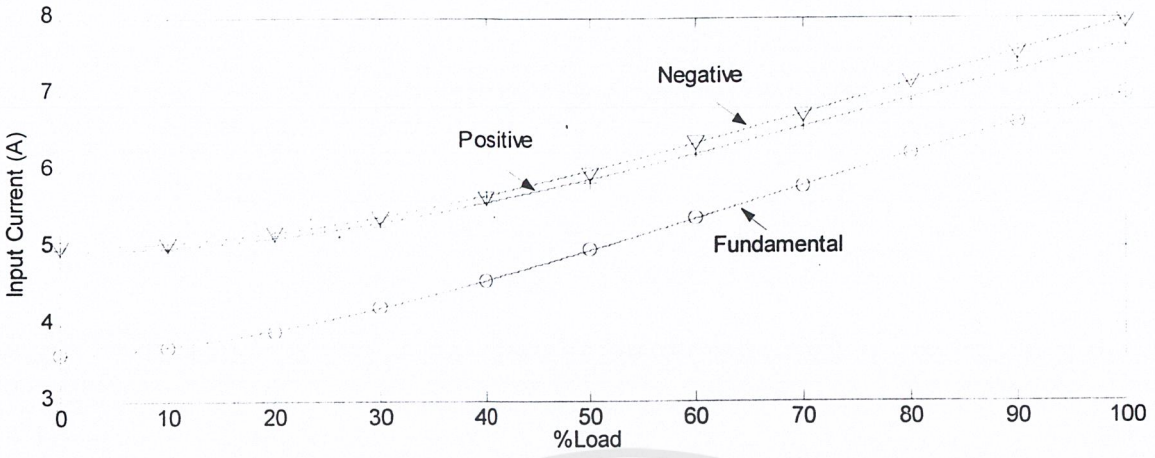


รูป 8.3.21 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 7,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

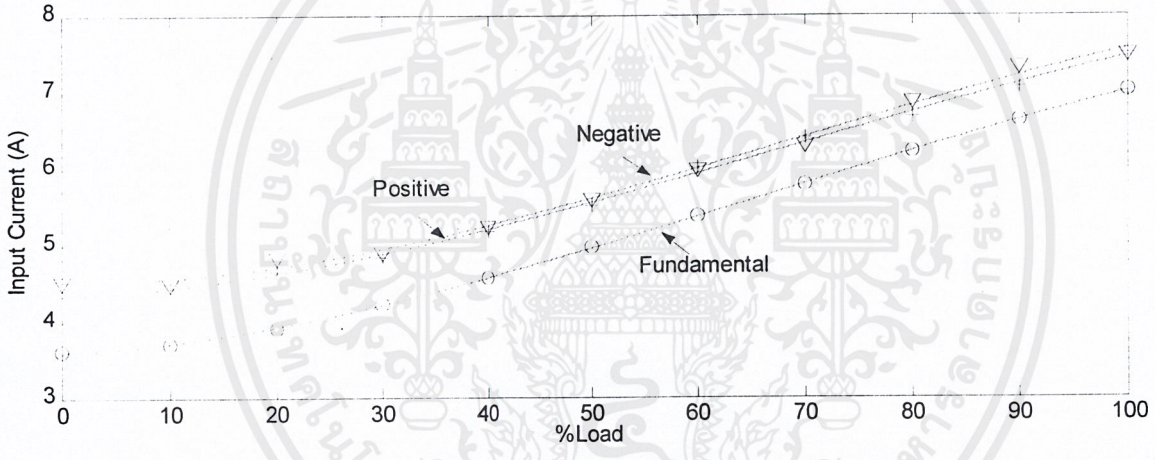


รูป 8.3.22 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 10,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

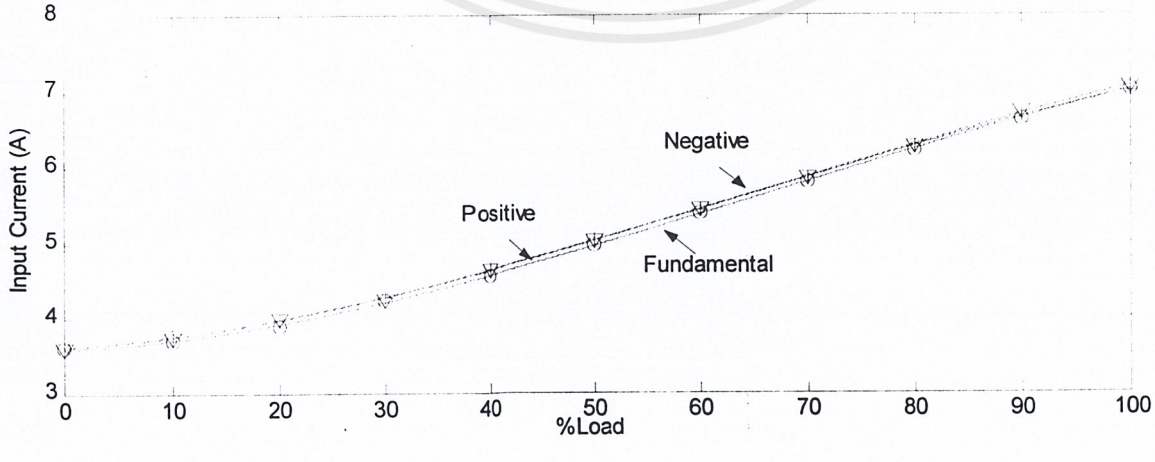
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.3.23 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

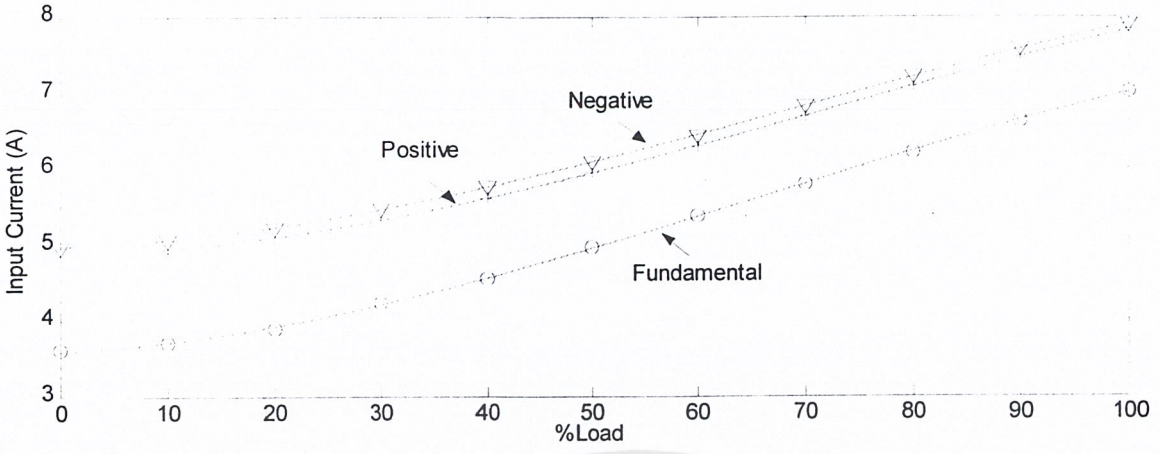


รูป 8.3.24 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 5,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

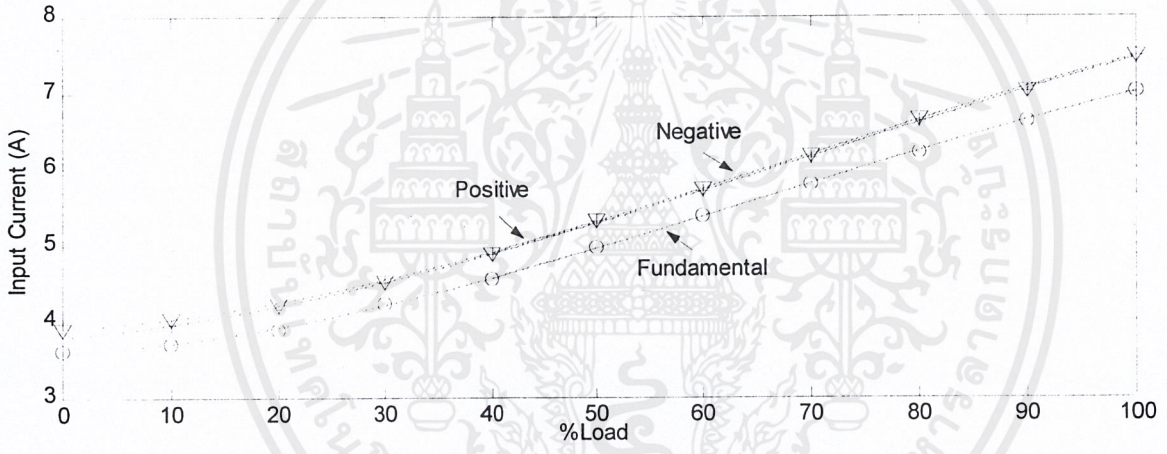


รูป 8.3.25 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 11,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

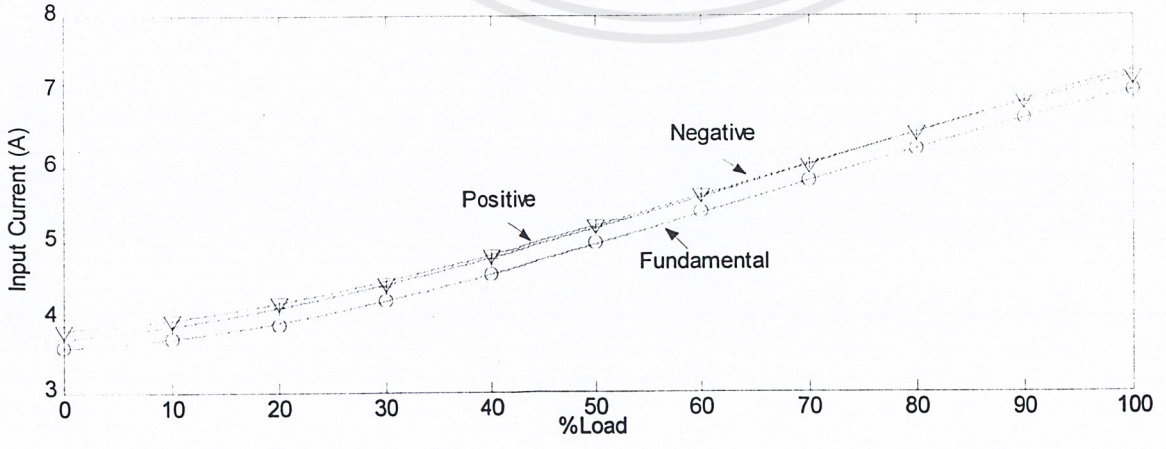
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.3.26 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

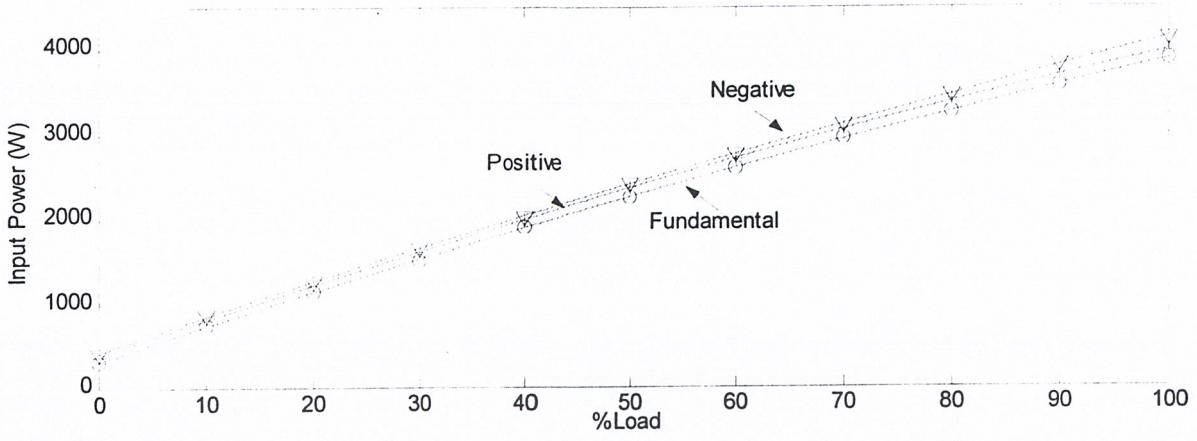


รูป 8.3.27 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 8,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

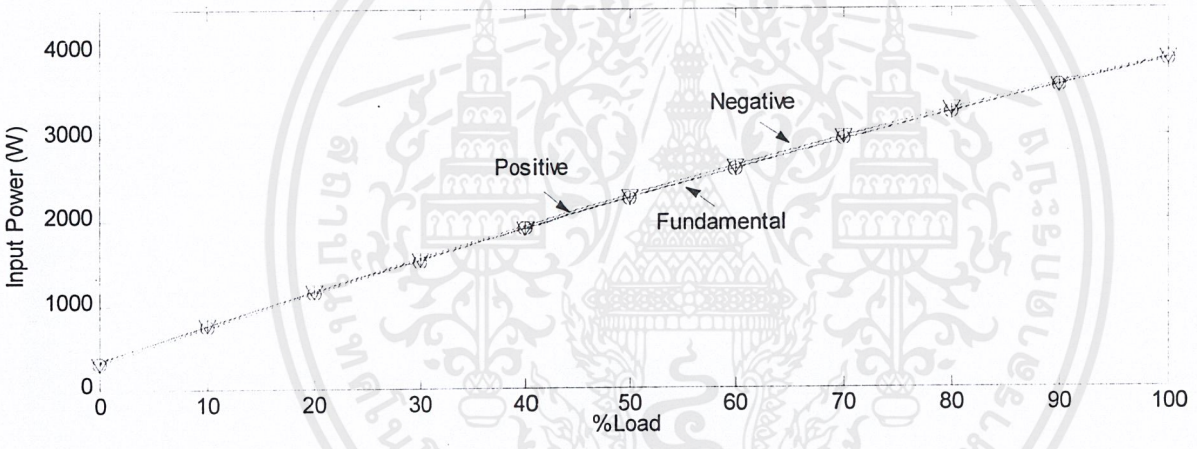


รูป 8.3.28 เปรียบเทียบกระแสอินพุทของลำดับ 11,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก, ลบ และความถี่มูลฐาน

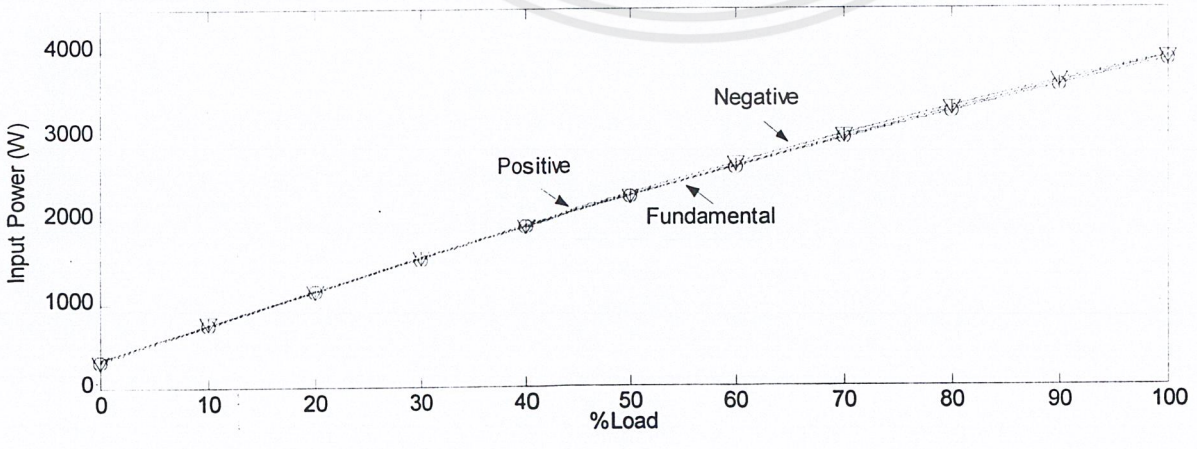
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.3.29 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 2,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

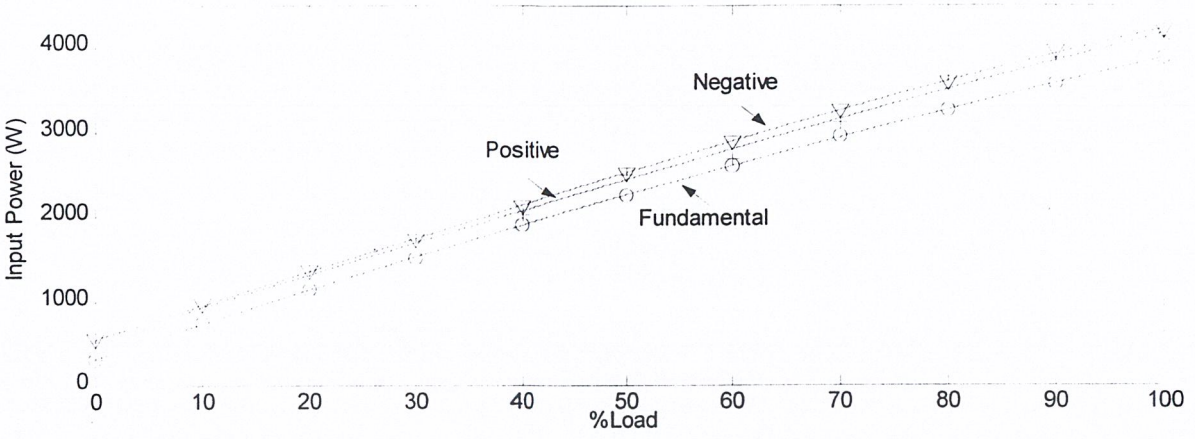


รูป 8.3.30 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 6,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

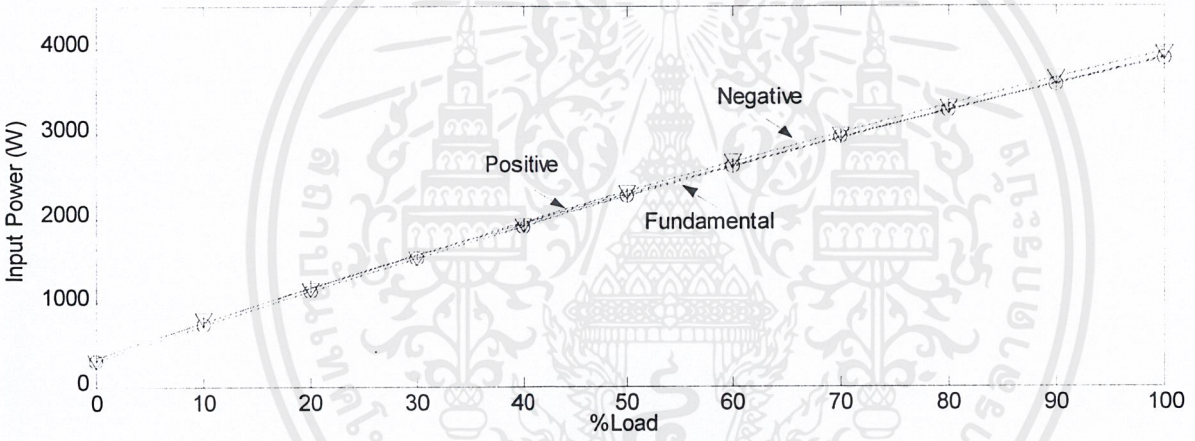


รูป 8.3.31 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 9,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

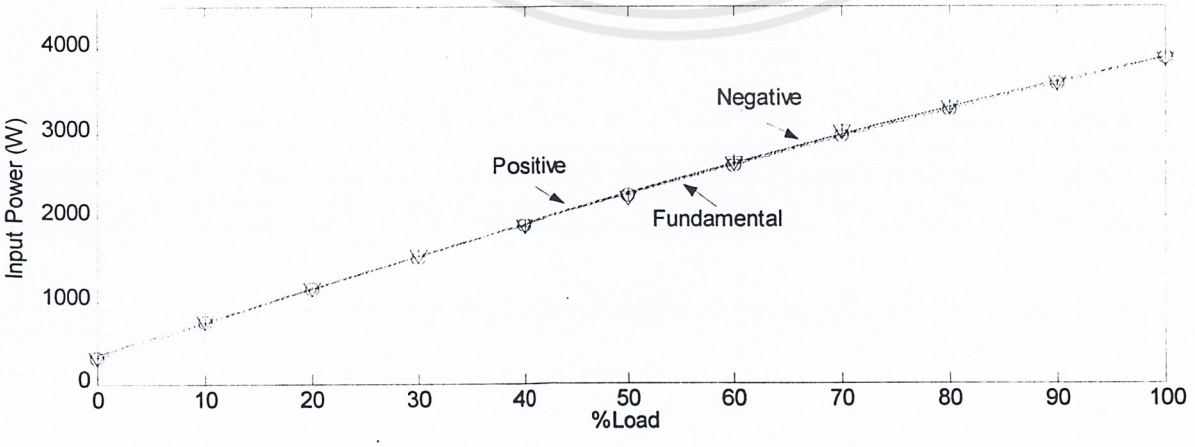
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.3.32 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 2,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

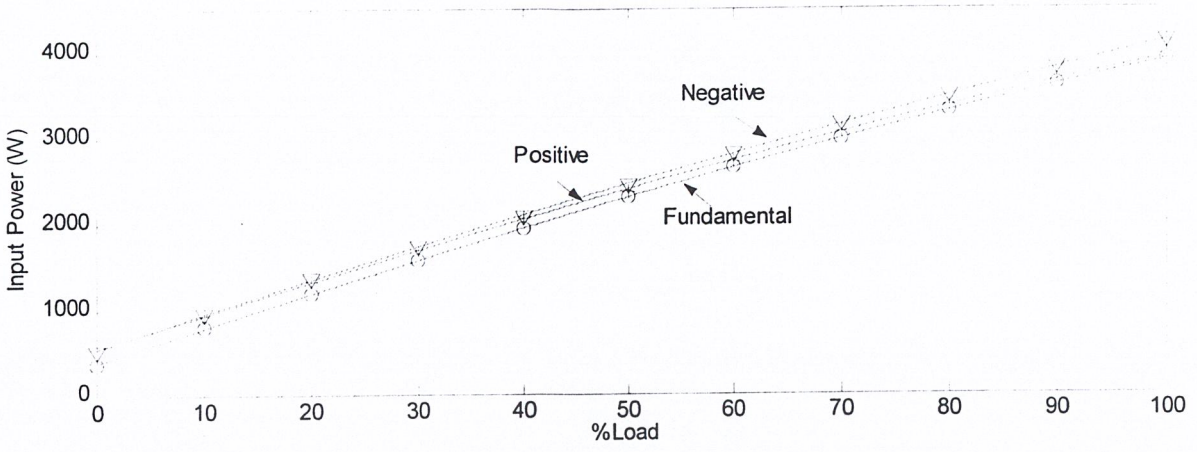


รูป 8.3.33 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 5,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

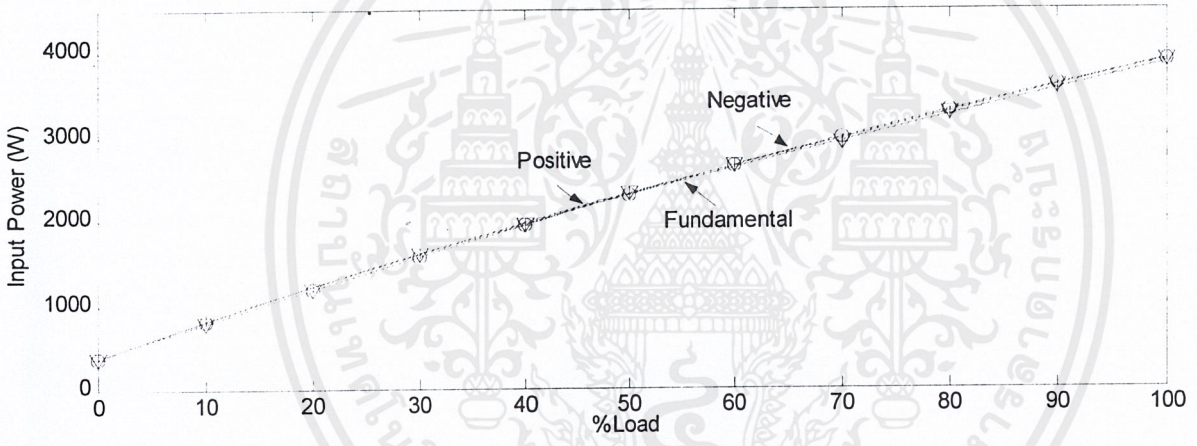


รูป 8.3.34 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 10,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

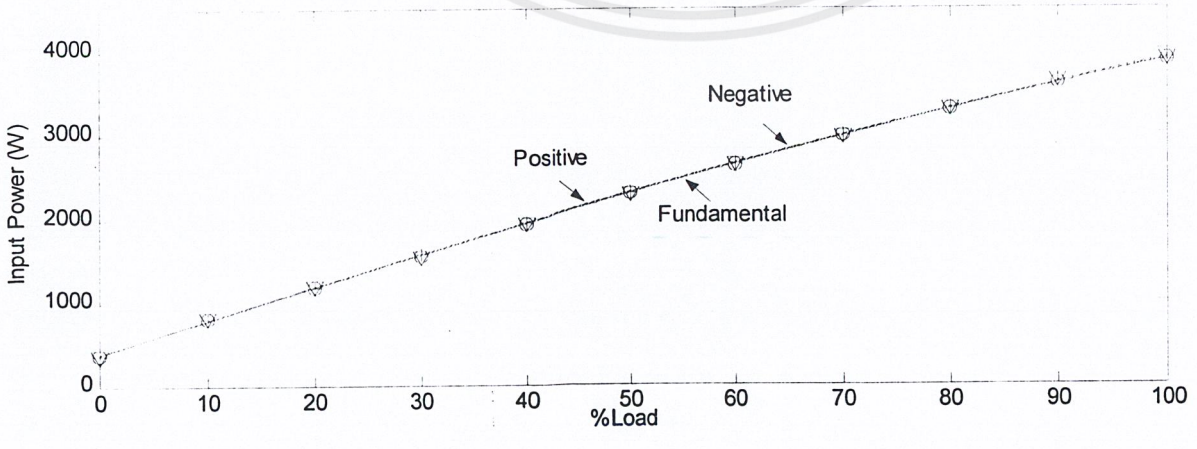
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.3.35 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

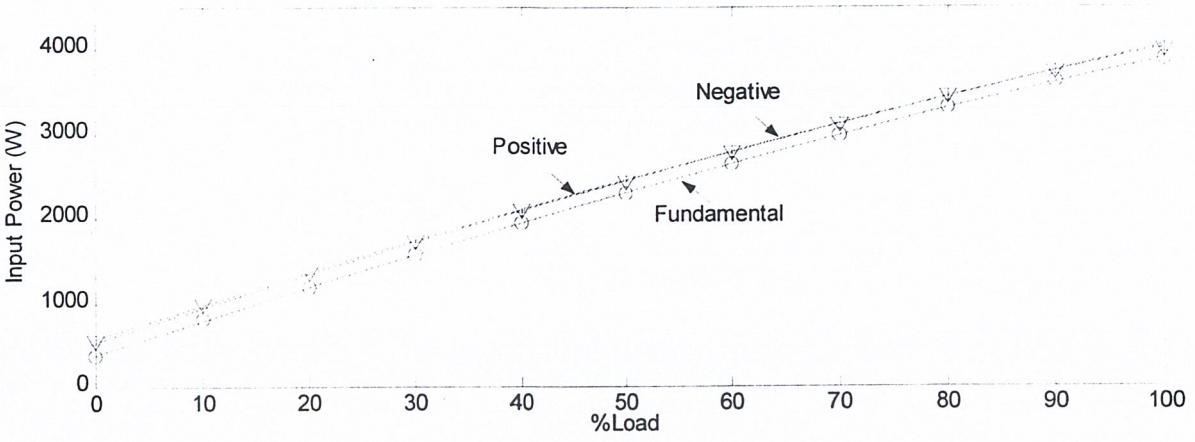


รูป 8.3.36 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 8,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

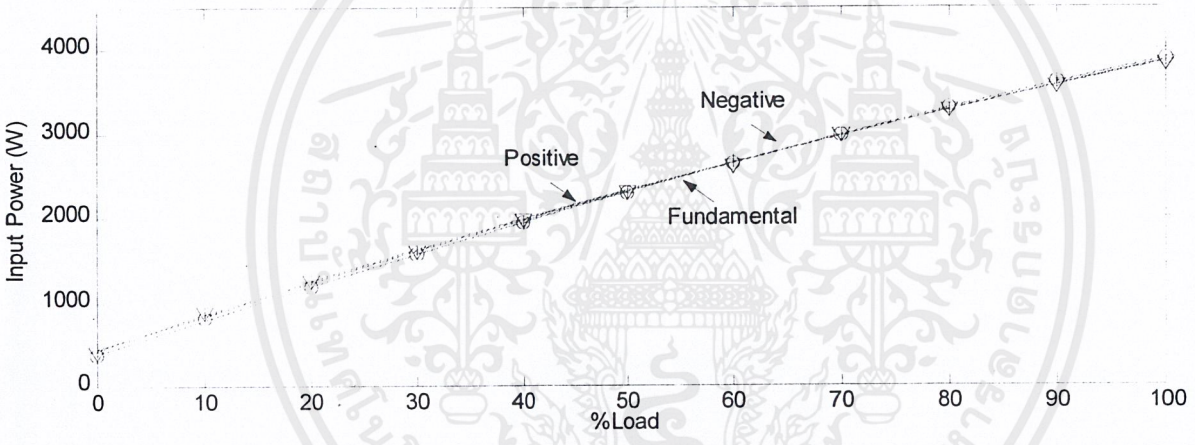


รูป 8.3.37 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 11,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

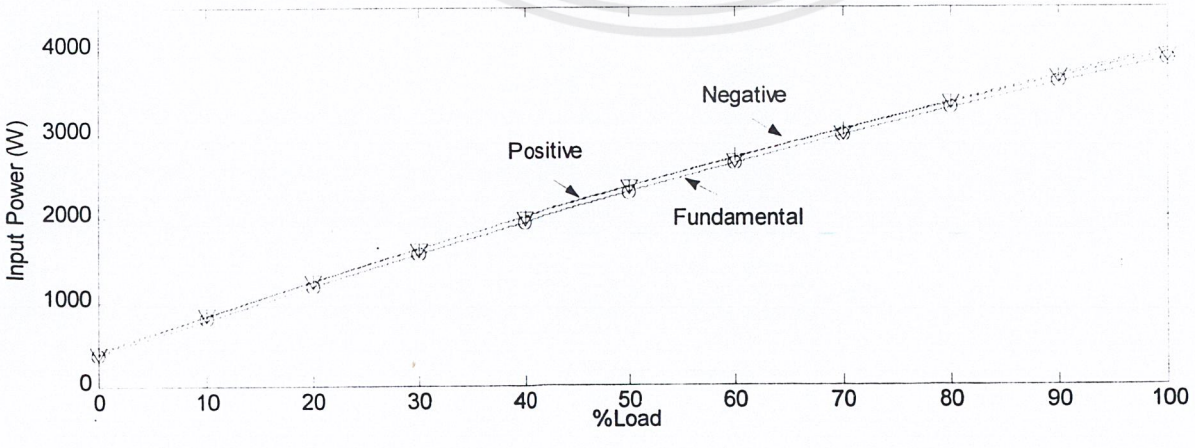
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.3.38 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน



รูป 8.3.39 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 7,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

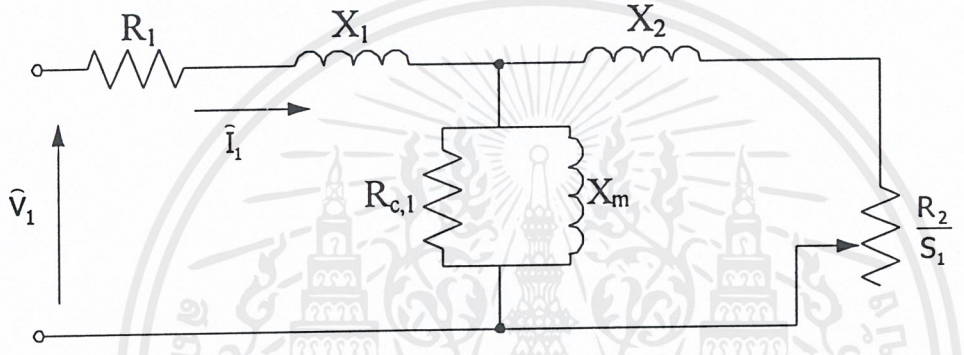


รูป 8.3.40 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าอินพุทลำดับ 11,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก,ลบ และความถี่มูลฐาน

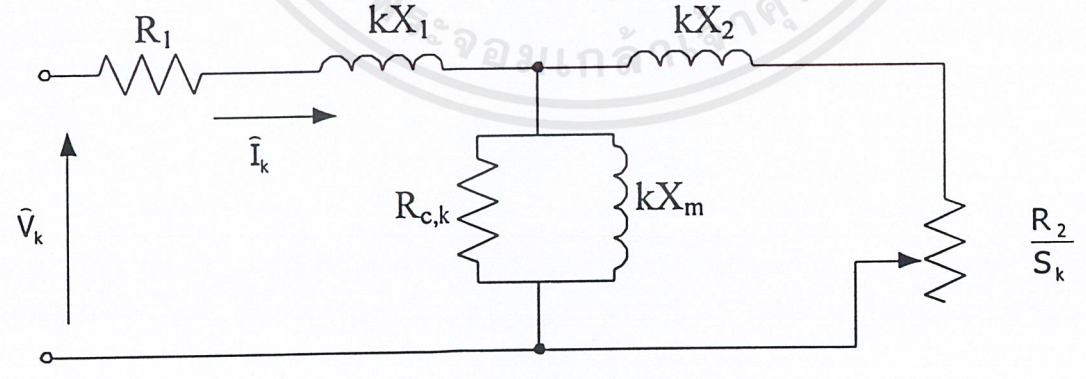
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4 การเปรียบการคำนวณกับการทดลอง

การเปรียบการคำนวณกับการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยว ซึ่งได้คำนวณเปรียบเทียบกันระหว่างกระแสไฟฟ้าป้อนเข้า และกำลังไฟฟ้าป้อนเข้าทั้งลำดับเฟสบวก และลำดับ เฟสลบโดยนำค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ มาคำนวณด้วยวิธี Superposition โดยแยกออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีของศักดาไฟฟ้าป้อนเข้าเป็นความถี่มูลฐาน และกรณีของศักดาไฟฟ้าป้อนเข้าเป็นอันดับ k^{th} ฮาร์โมนิกส์



รูป วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในกรณีความถี่ศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเป็นความถี่มูลฐาน



รูป วงจรสมมูลมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในกรณีความถี่ศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเป็นอันดับ k^{th} ฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า

วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้ามีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

$$R1 = 9.66\ \Omega$$

$$X1 = 9.82\ \Omega$$

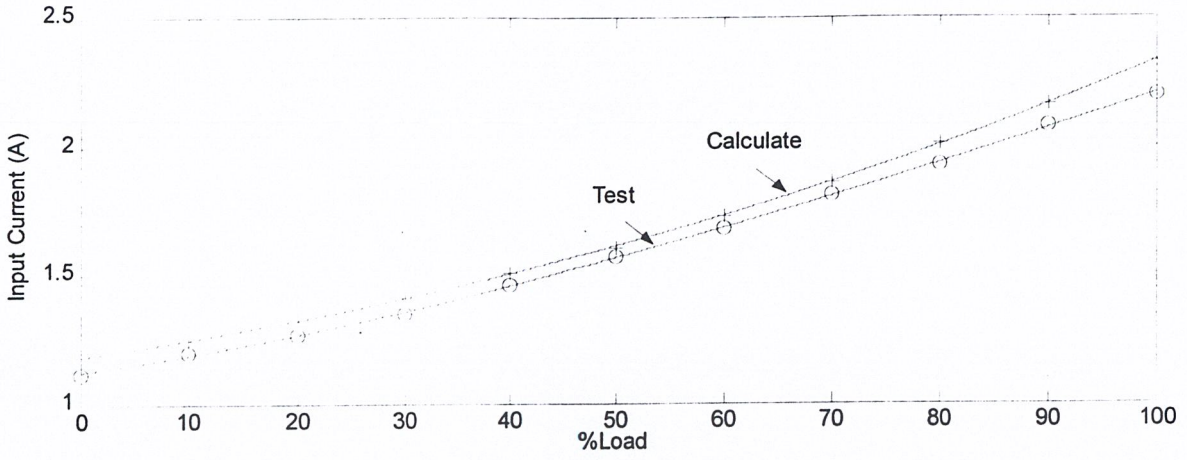
$$R2 = 9.09\ \Omega$$

$$X2 = 9.82\ \Omega$$

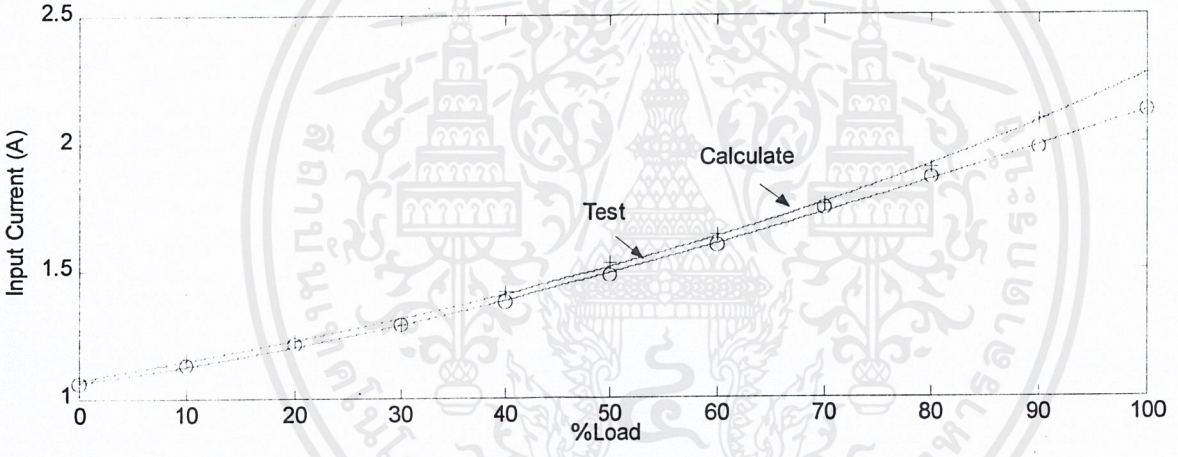
$$Rfe = 965.26\ \Omega$$

$$Xm = 204.18\ \Omega$$

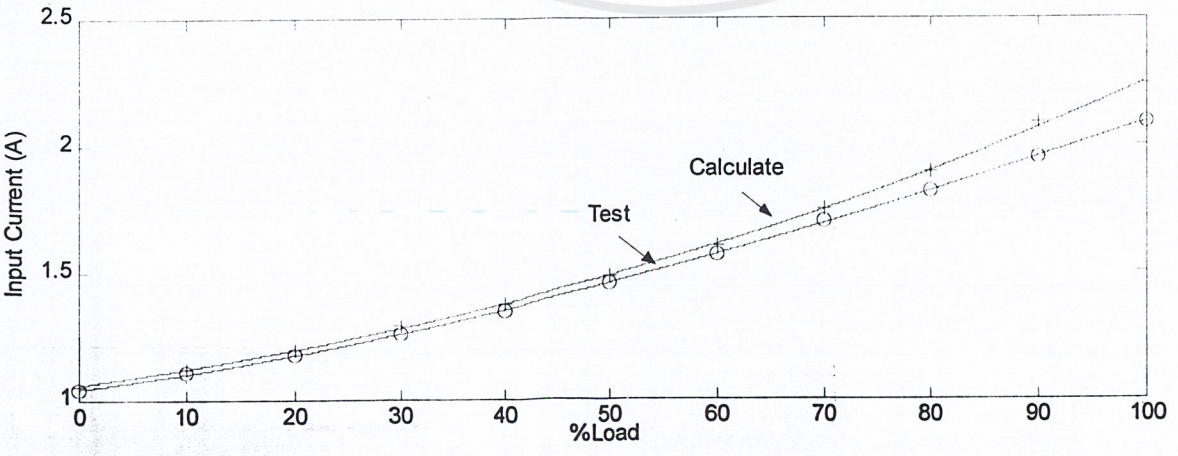
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.1.1 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 2,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ

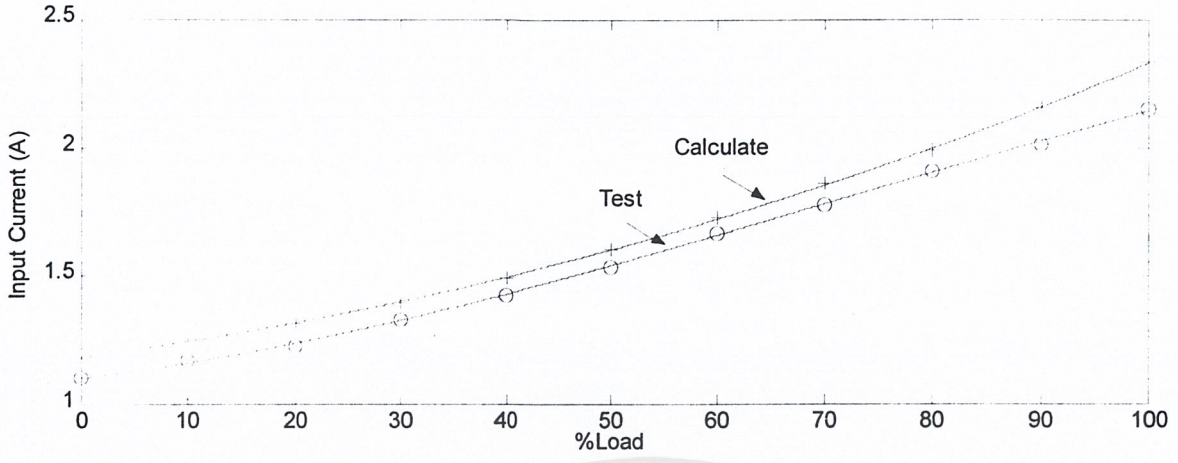


รูป 8.4.1.2 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 5,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ

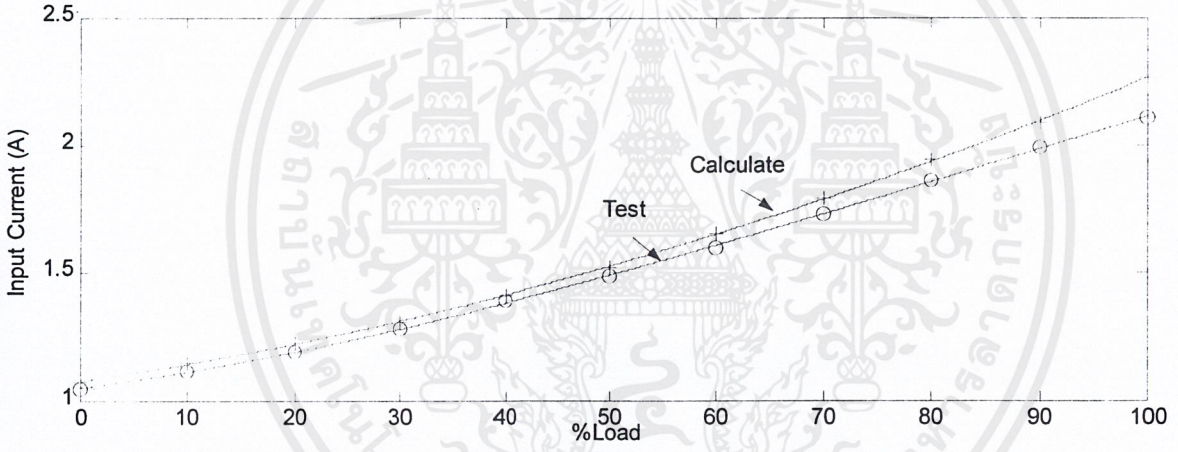


รูป 8.4.1.3 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 10,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก

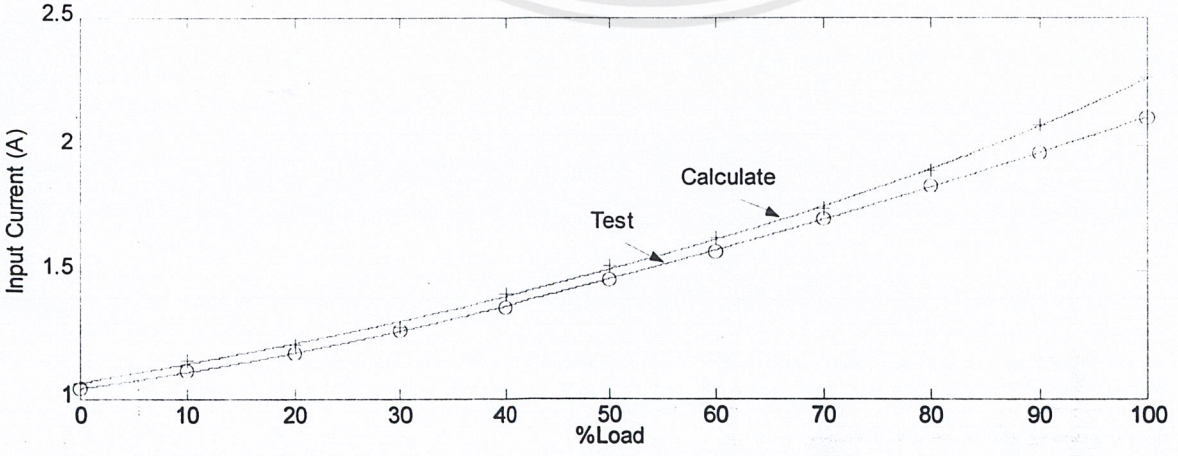
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.1.4 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก

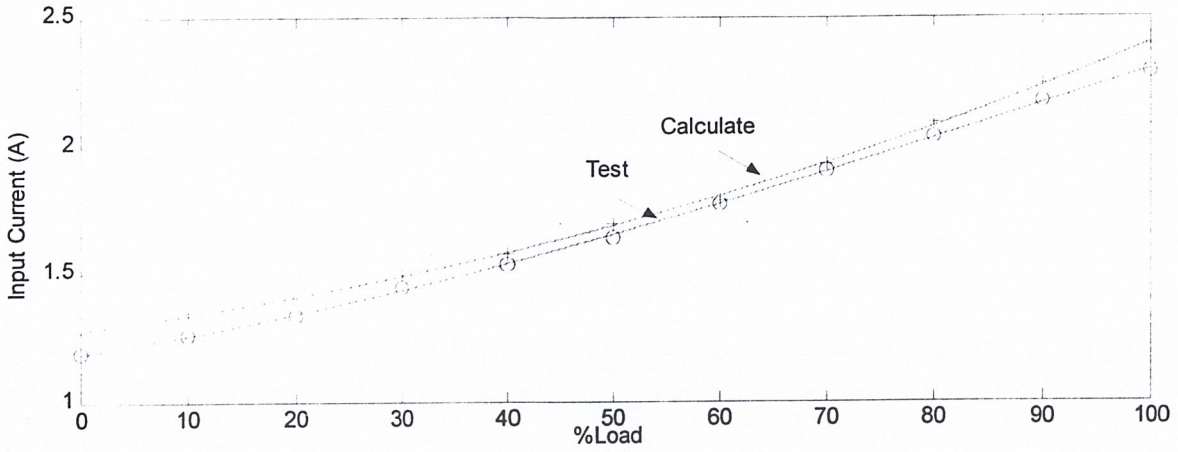


รูป 8.4.1.5 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 7,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ

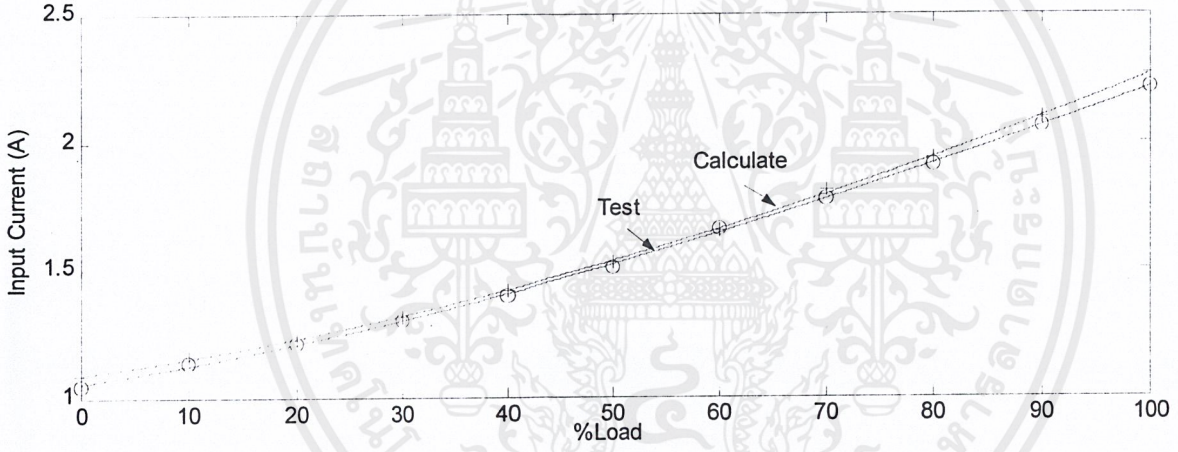


รูป 8.4.1.6 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 10,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ

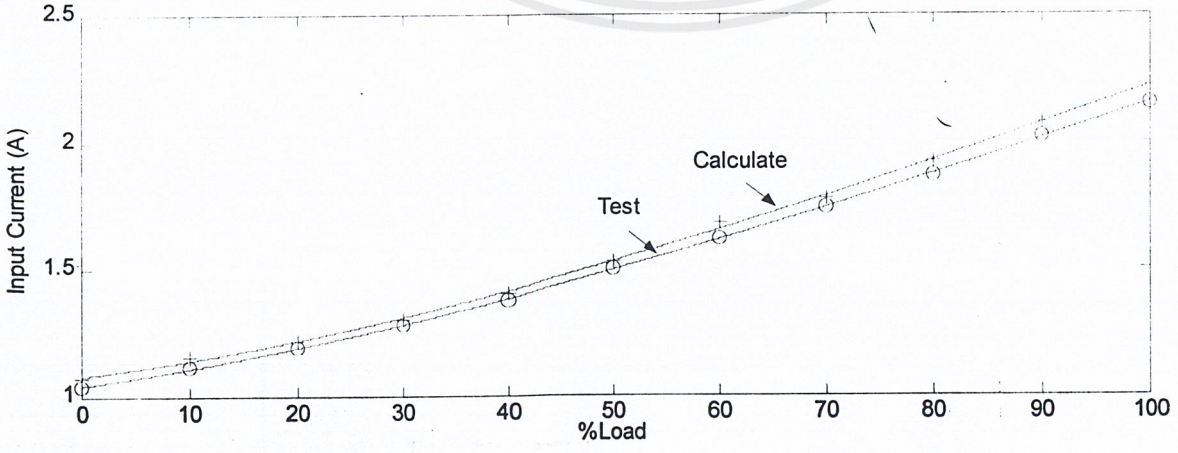
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.1.7 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก

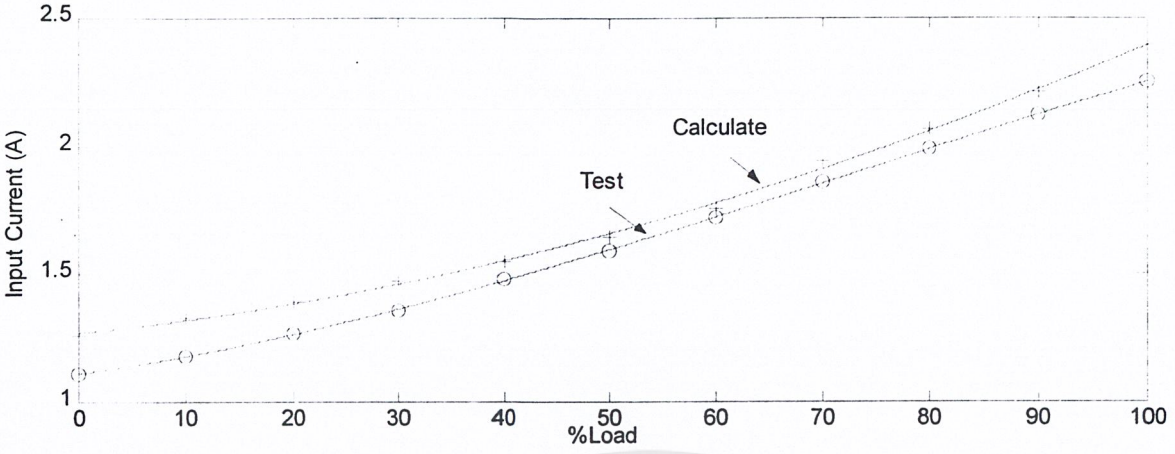


รูป 8.4.1.8 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 8,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ

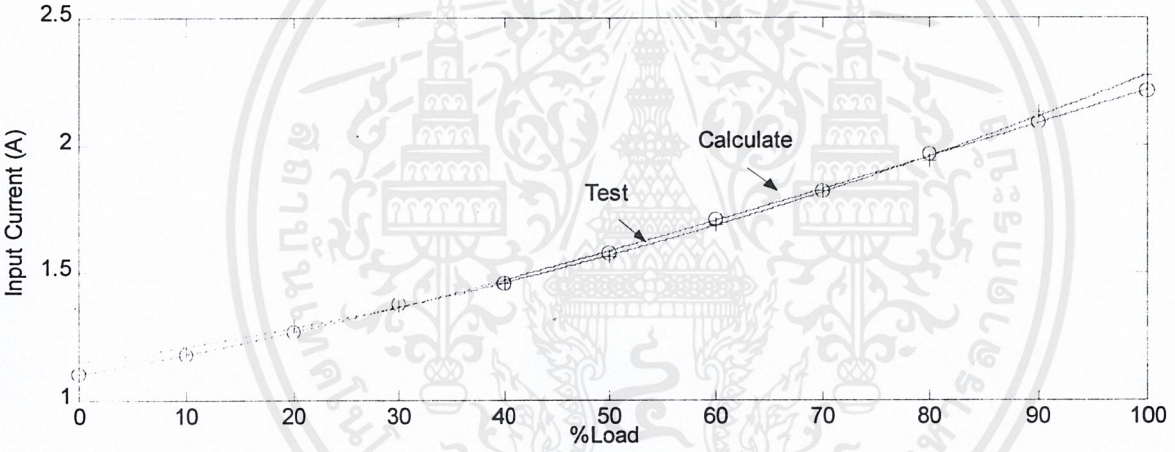


รูป 8.4.1.9 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 11,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ

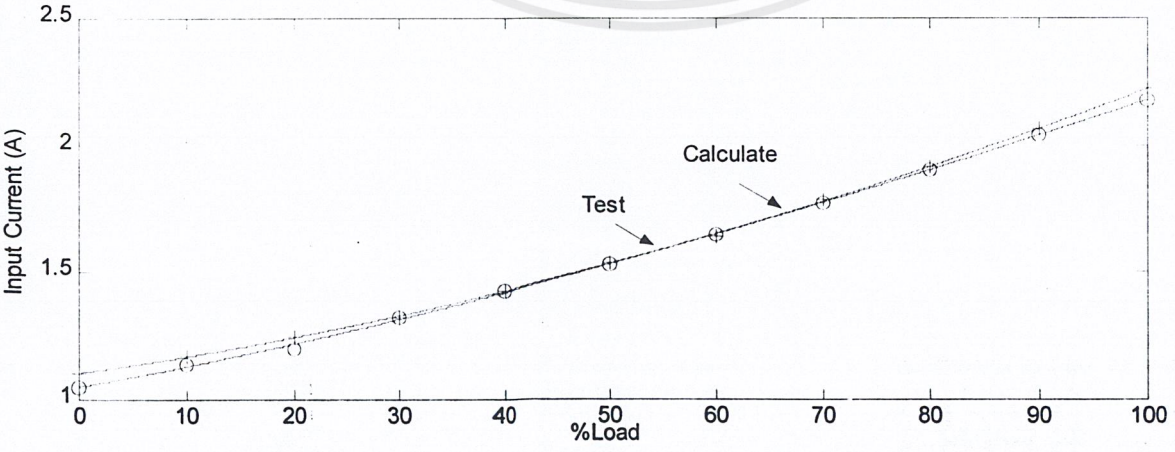
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.1.10 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ

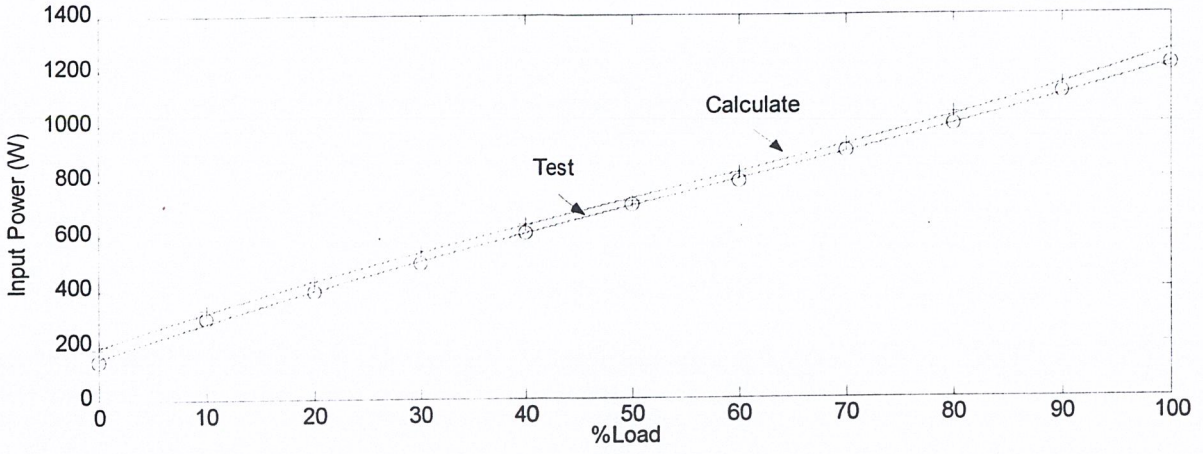


รูป 8.4.1.11 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 6,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก

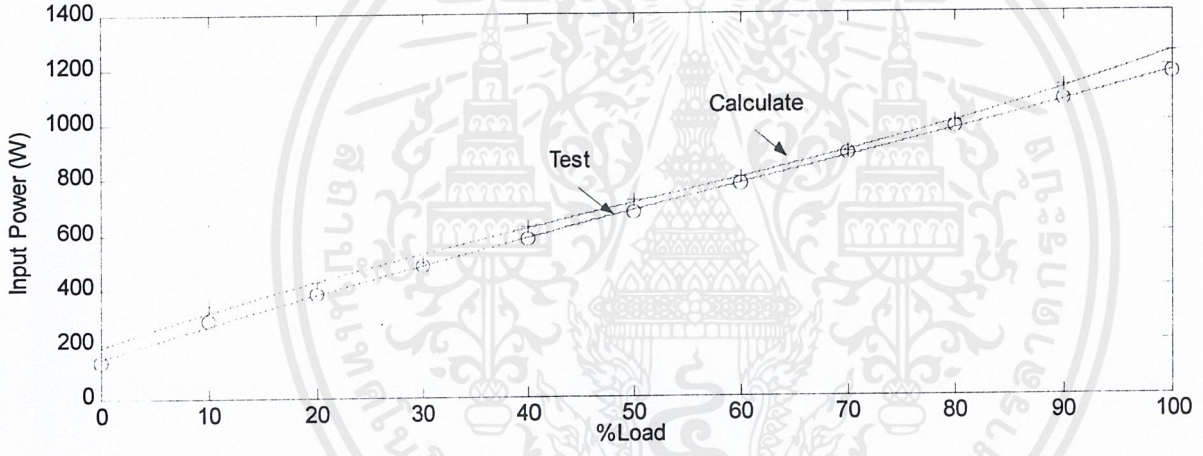


รูป 8.4.1.12 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 9,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก

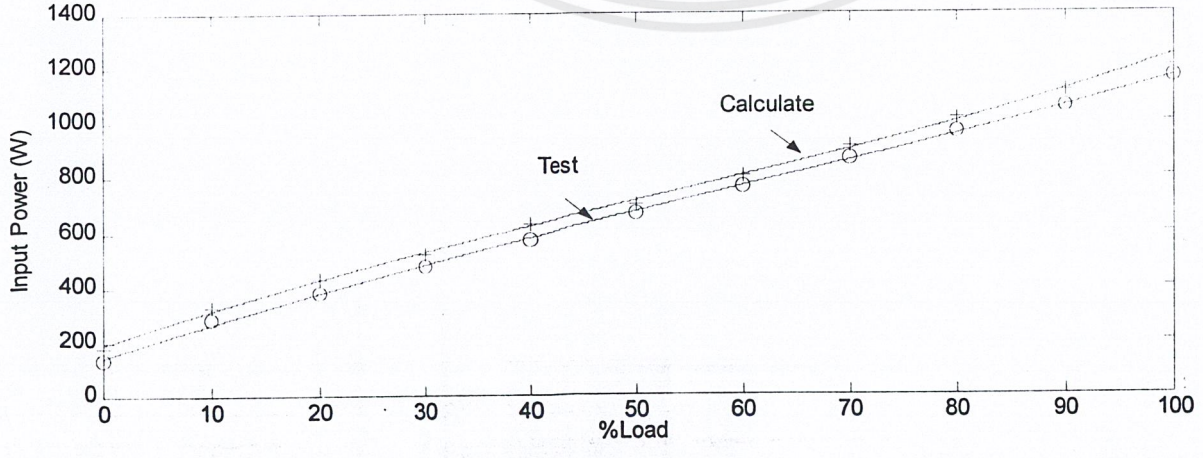
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.1.13 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 2,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก

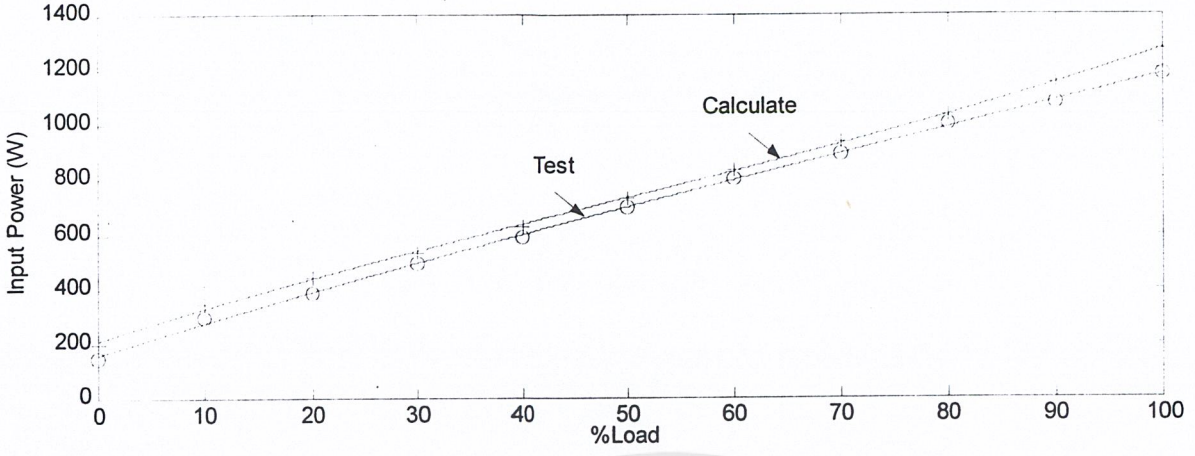


รูป 8.4.1.14 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 5,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ

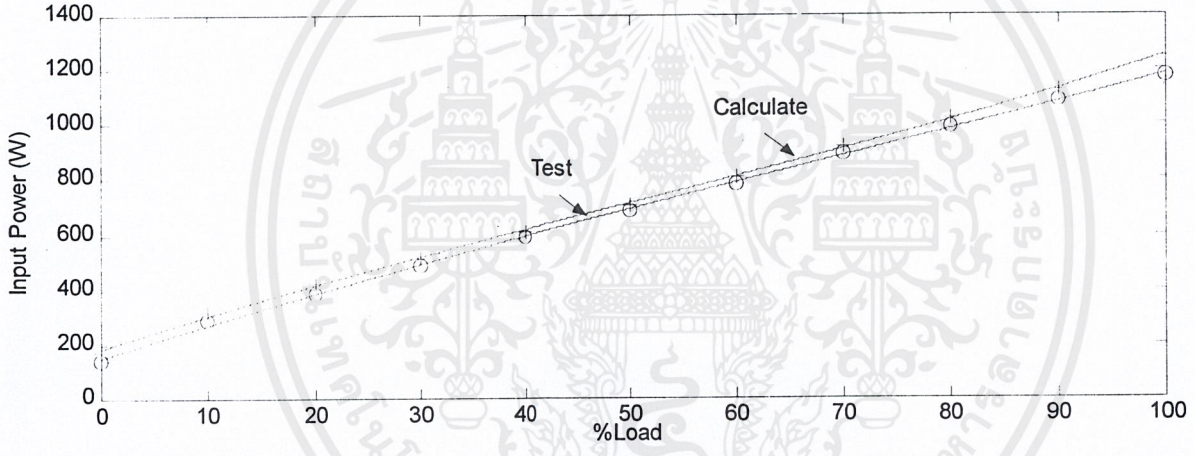


รูป 8.4.1.15 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 8,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ

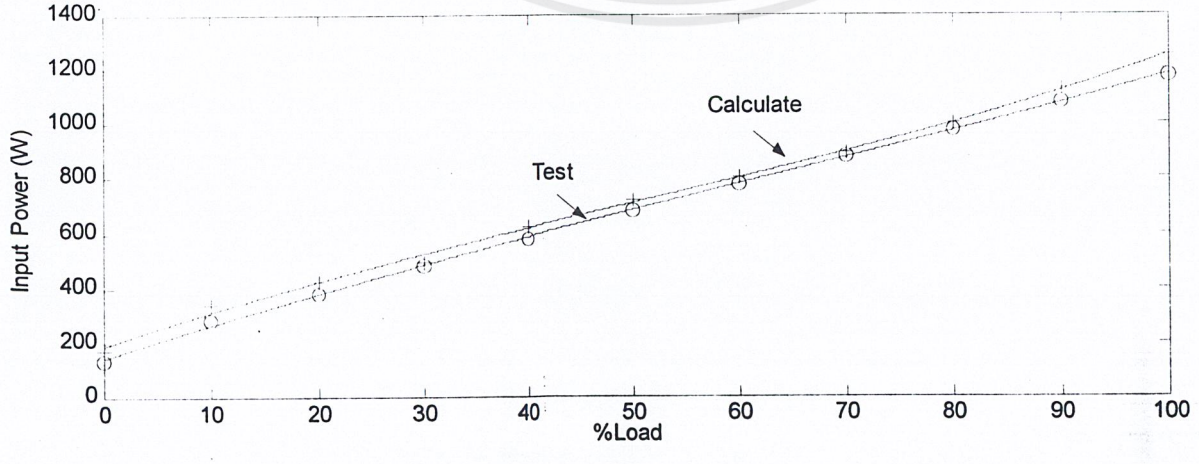
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.1.16 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ

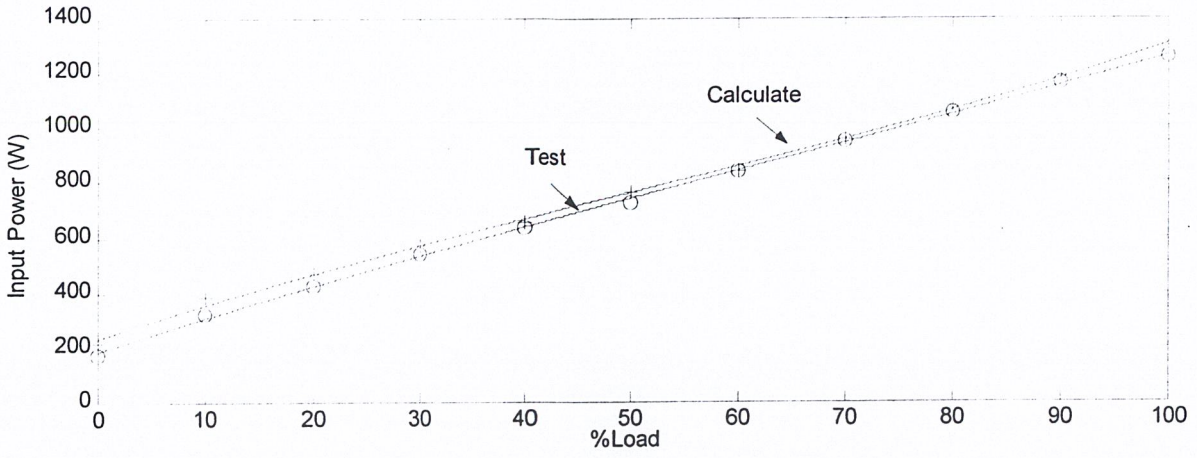


รูป 8.4.1.17 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 7,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก

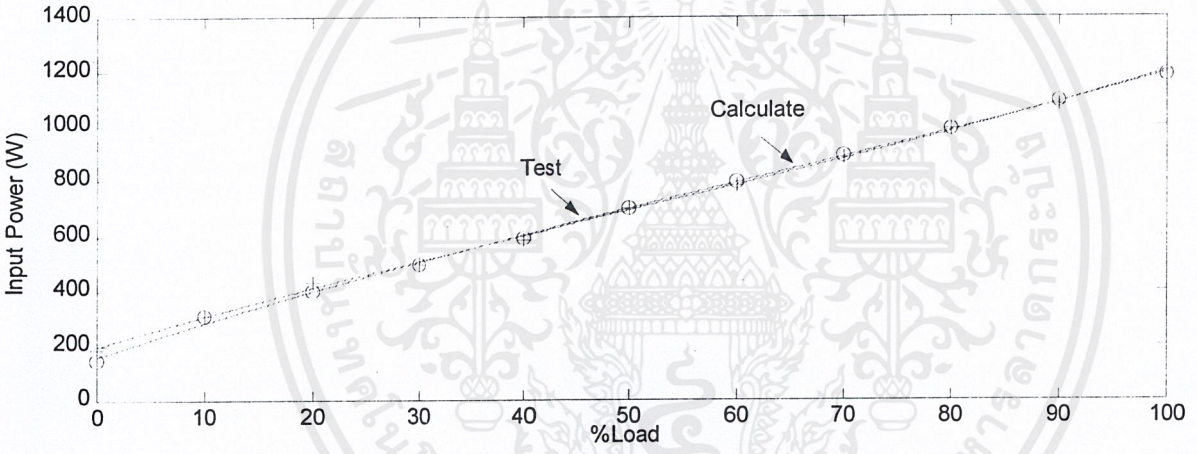


รูป 8.4.1.18 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ10,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก

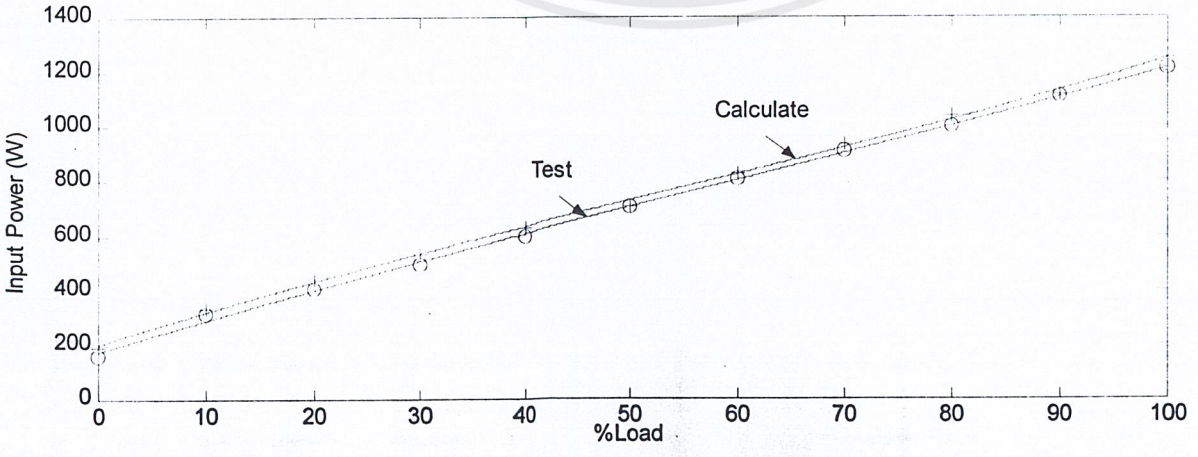
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.1.19 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก

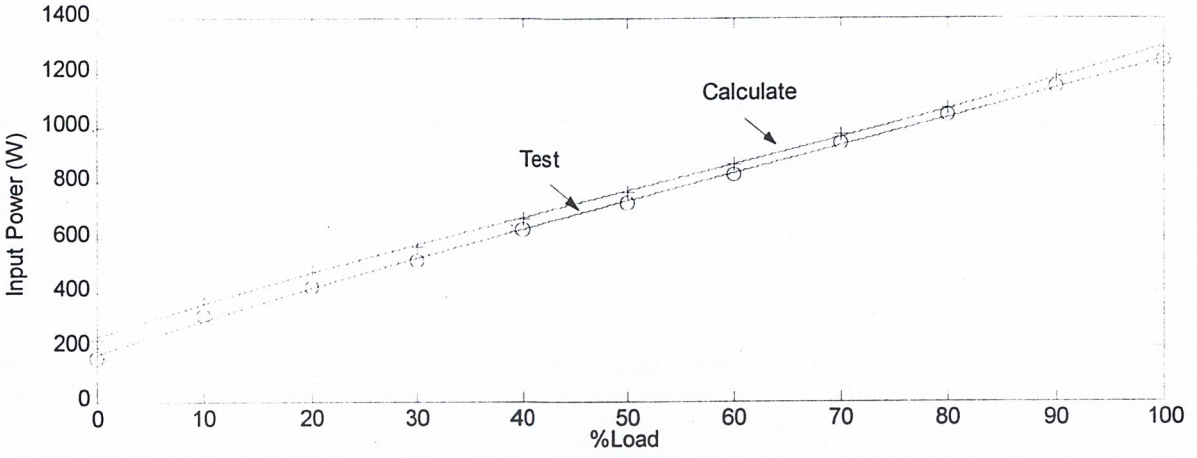


รูป 8.4.1.20 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 7,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ

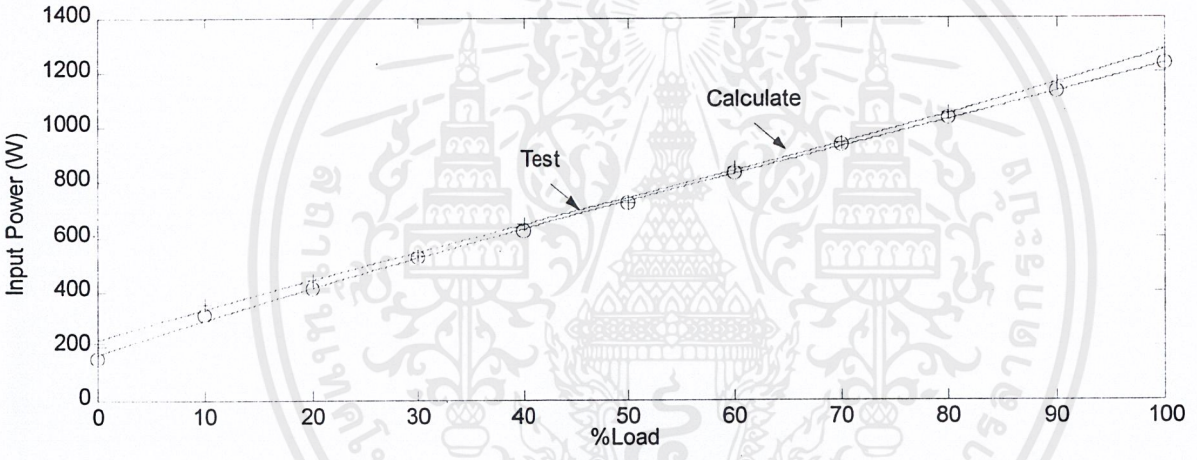


รูป 8.4.1.21 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 11,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ

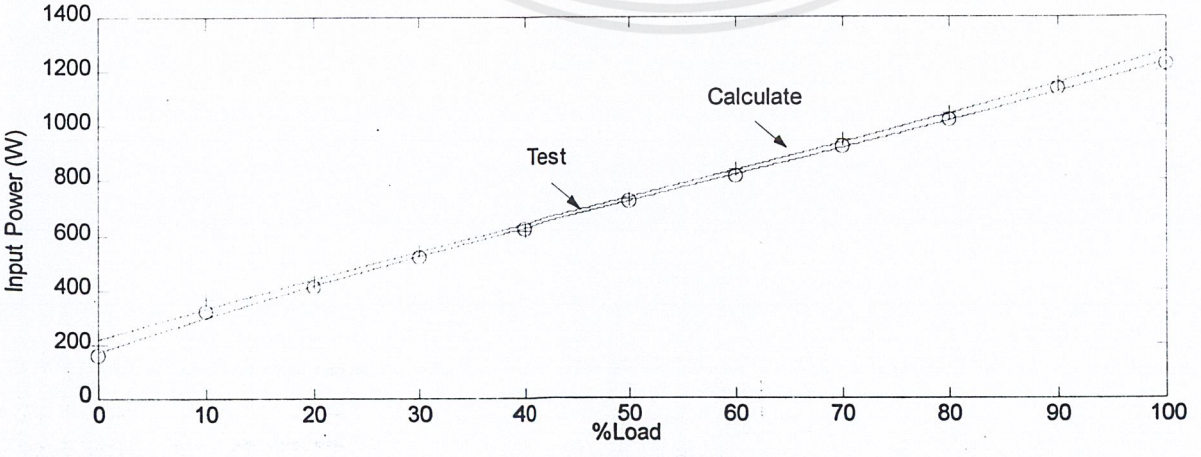
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.1.22 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก



รูป 8.4.1.23 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 7,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ



รูป 8.4.1.24 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ10,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4.2 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า

วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้ามีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

$$R1 = 3.61\ \Omega$$

$$X1 = 5.10\ \Omega$$

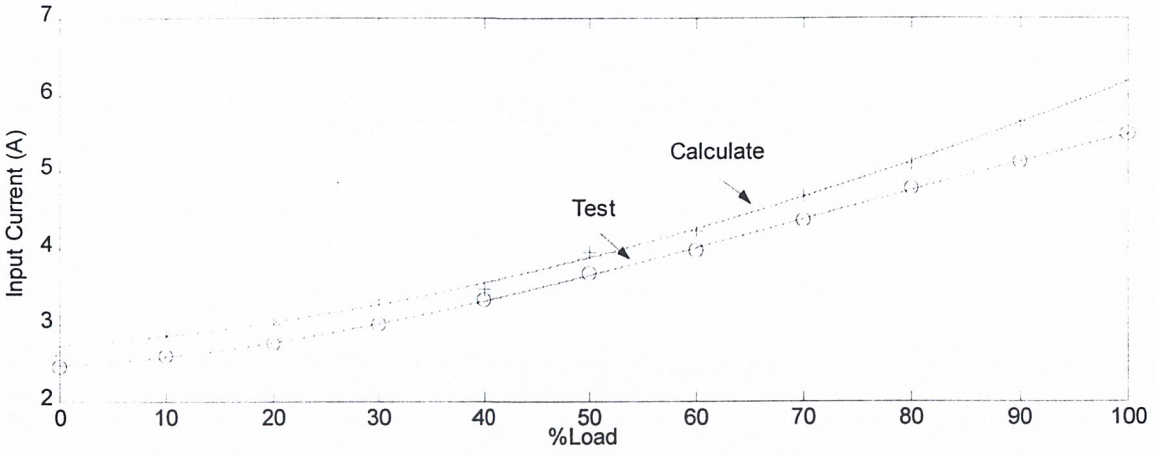
$$R2 = 2.56\ \Omega$$

$$X2 = 2.56\ \Omega$$

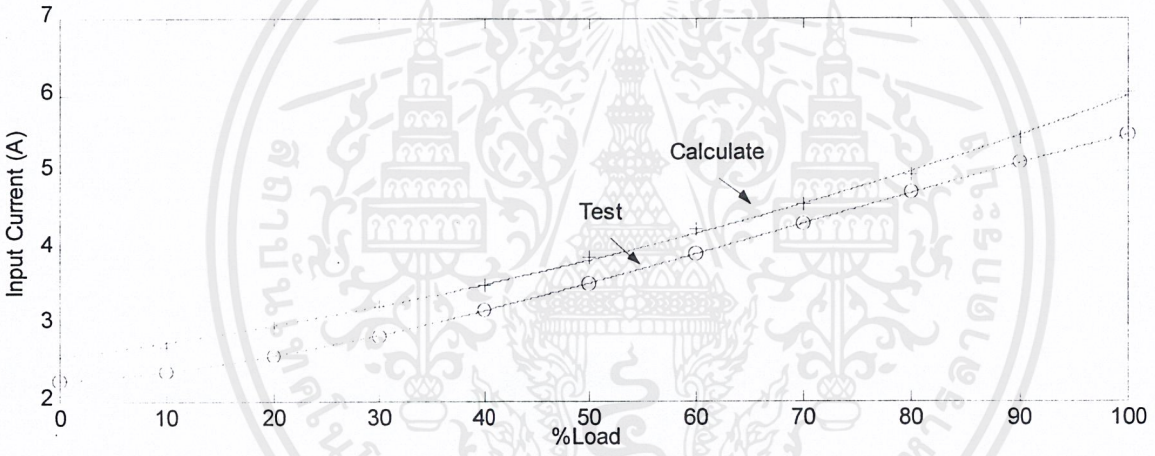
$$Rfe = 406.23\ \Omega$$

$$Xm = 91.37\ \Omega$$

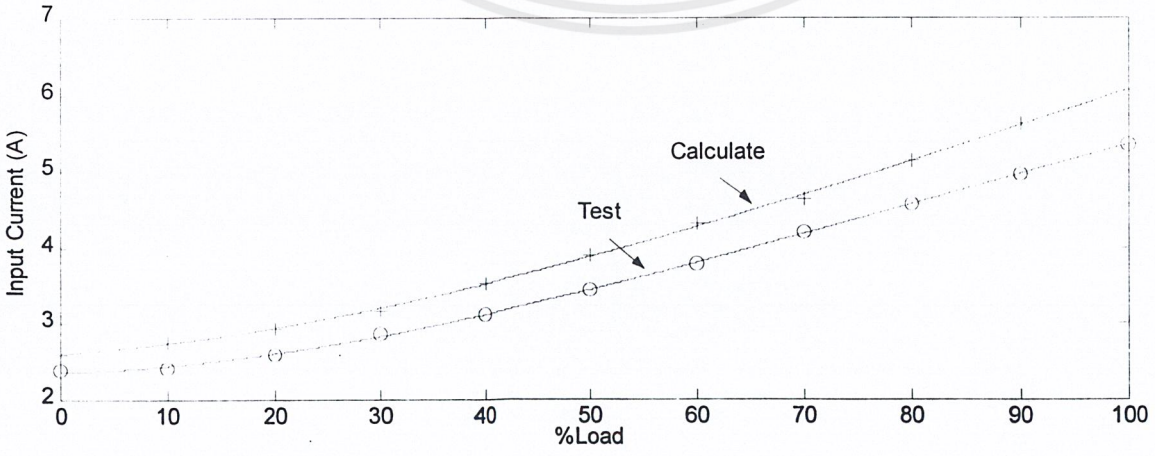
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.2.1 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก

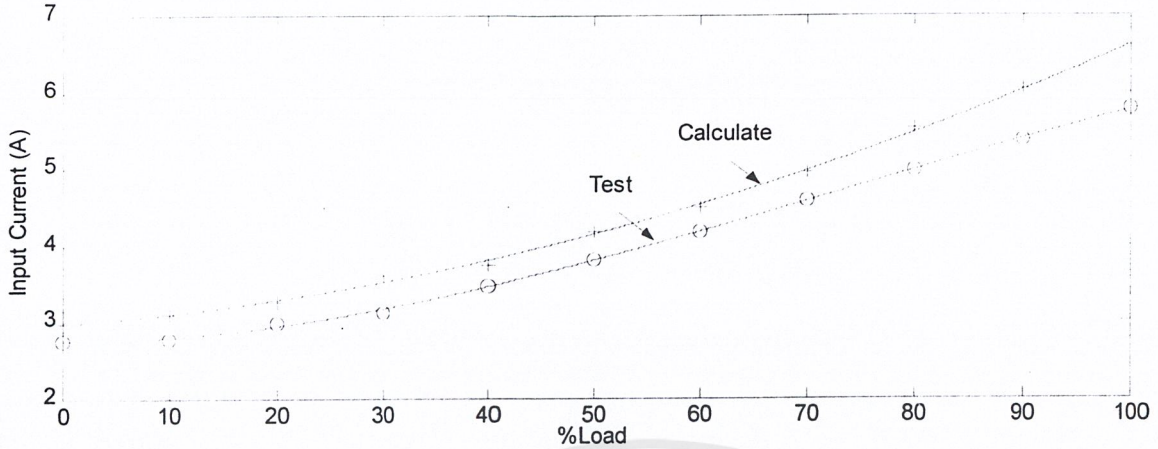


รูป 8.4.2.2 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 7,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ

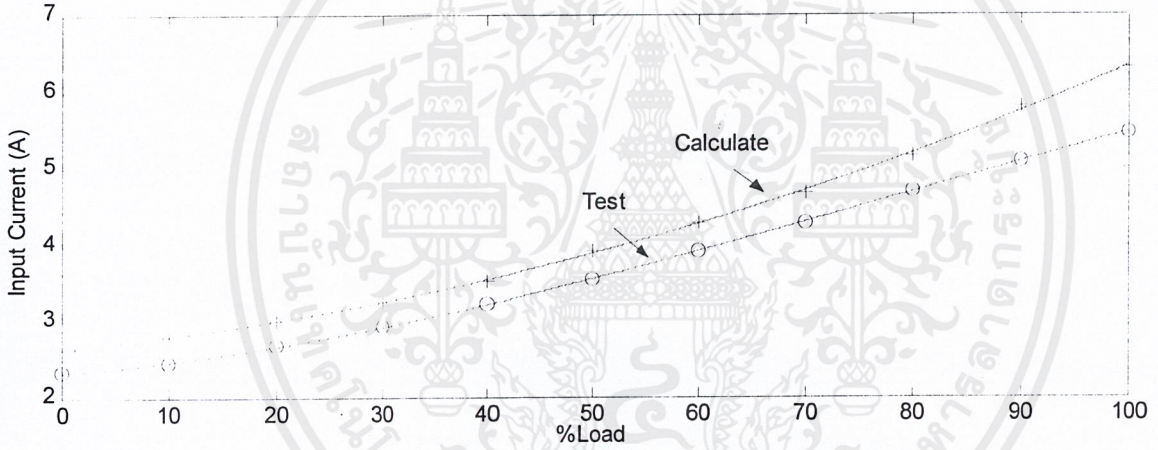


รูป 8.4.2.3 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 10,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก

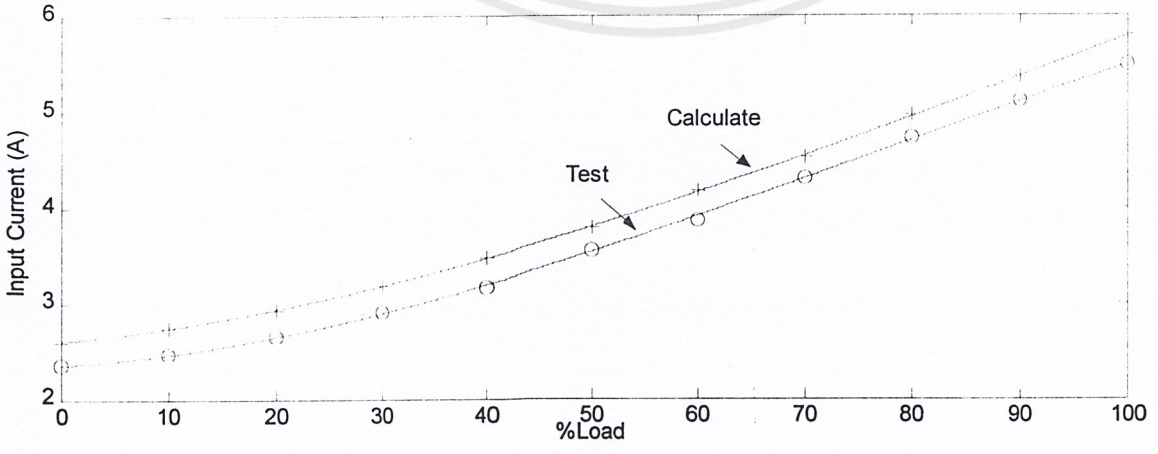
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.2.4 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก

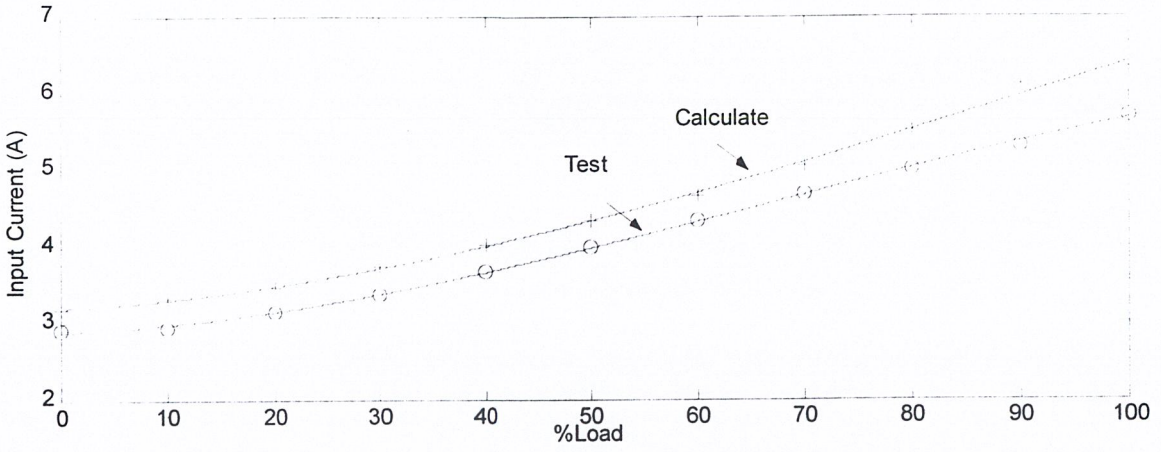


รูป 8.4.2.5 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 8,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ

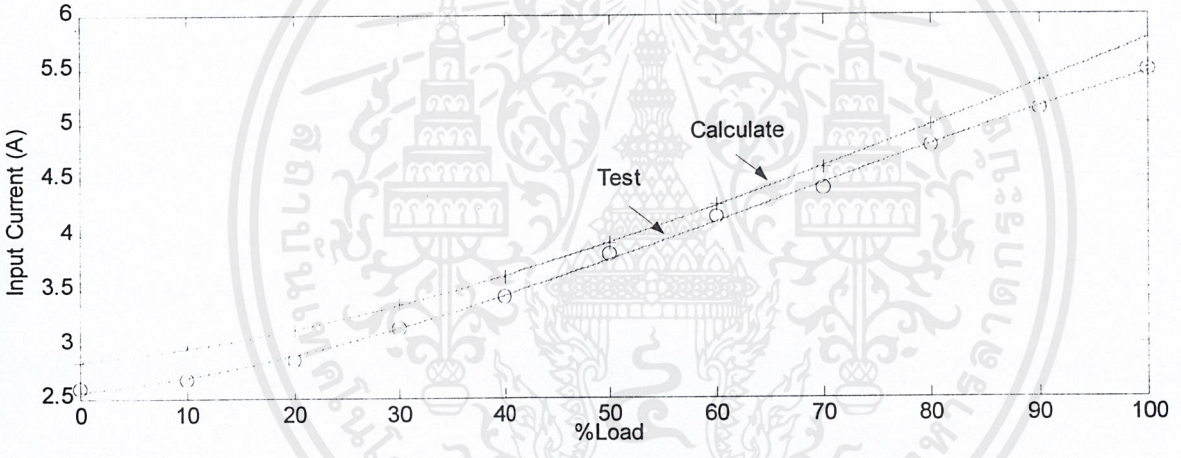


รูป 8.4.2.6 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 11,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ

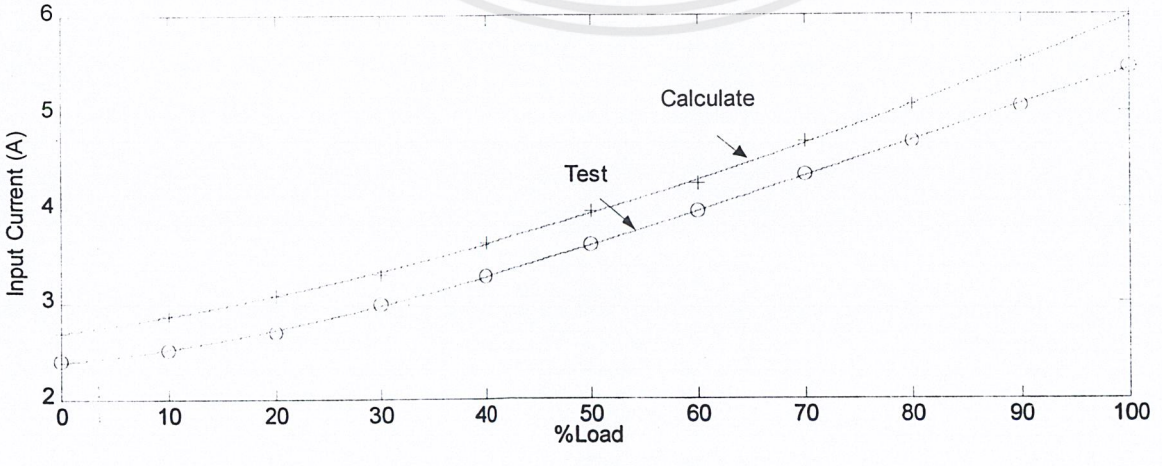
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.2.7 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก

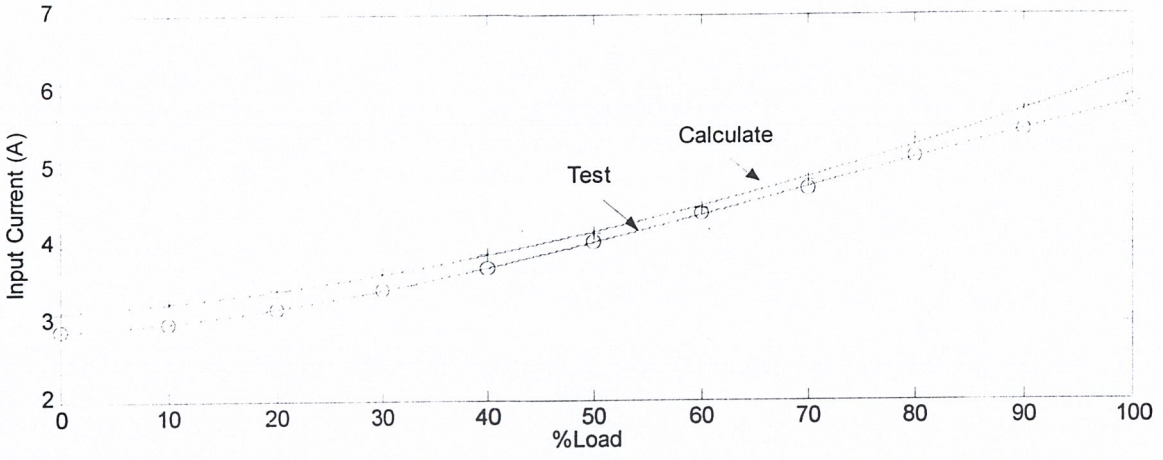


รูป 8.4.2.8 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 5,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก

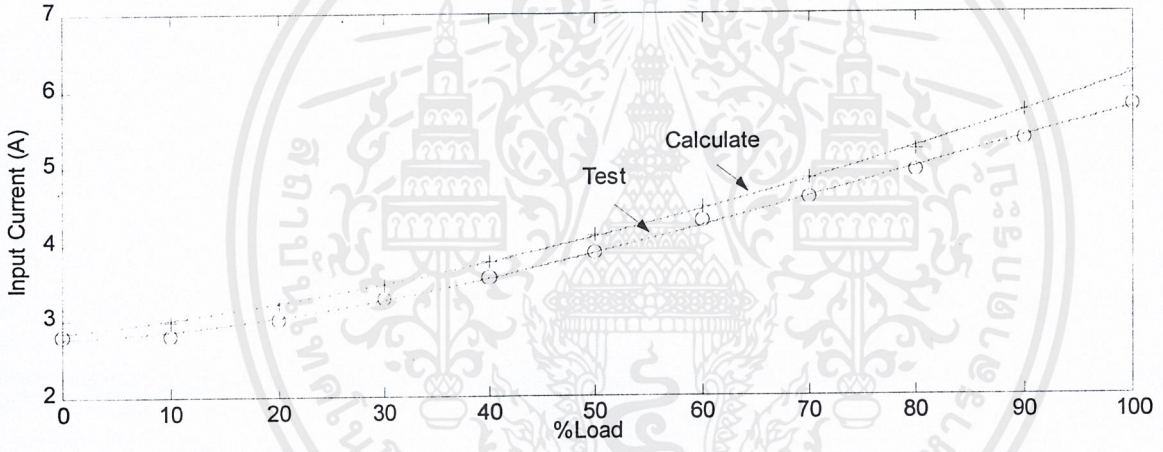


รูป 8.4.2.9 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 8,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก

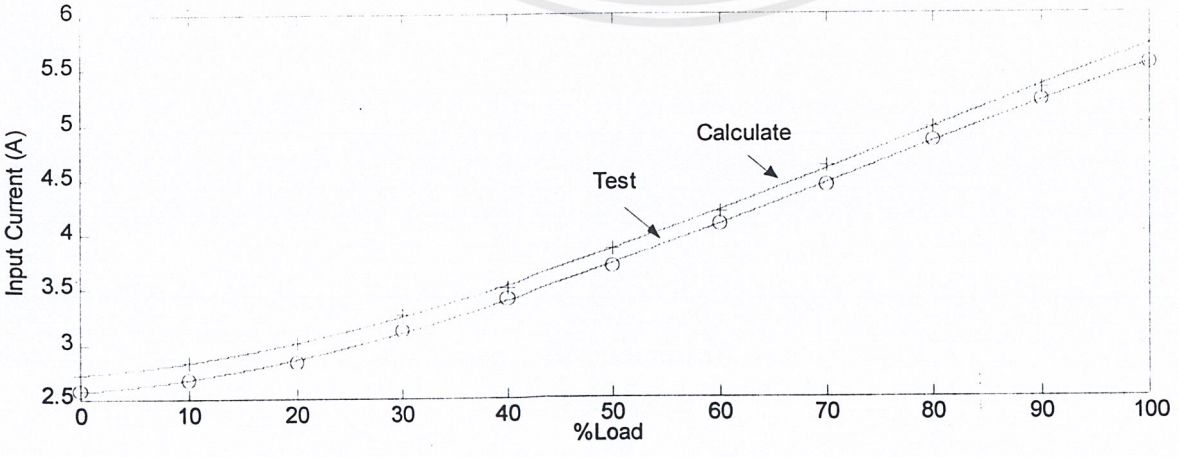
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.2.10 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก

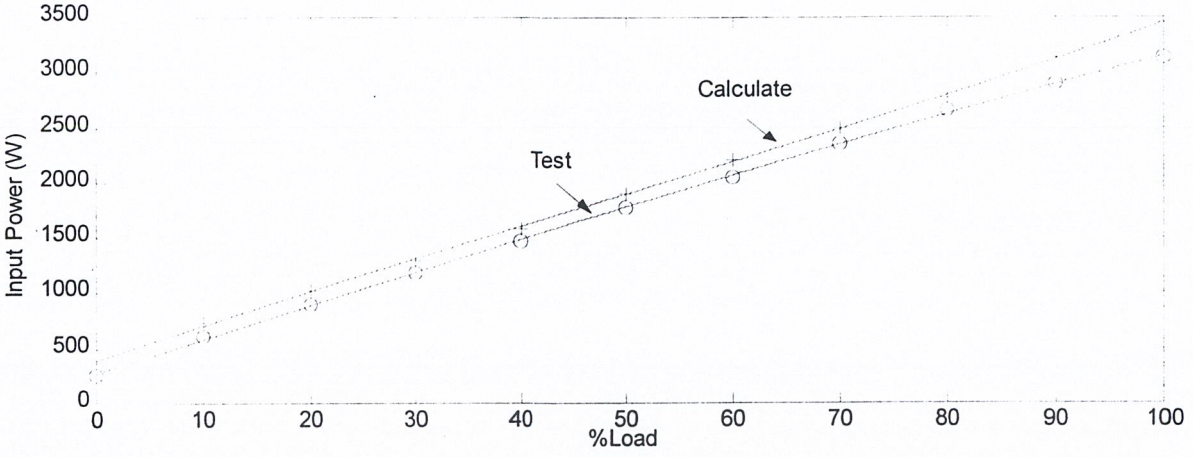


รูป 8.4.2.11 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 7,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก

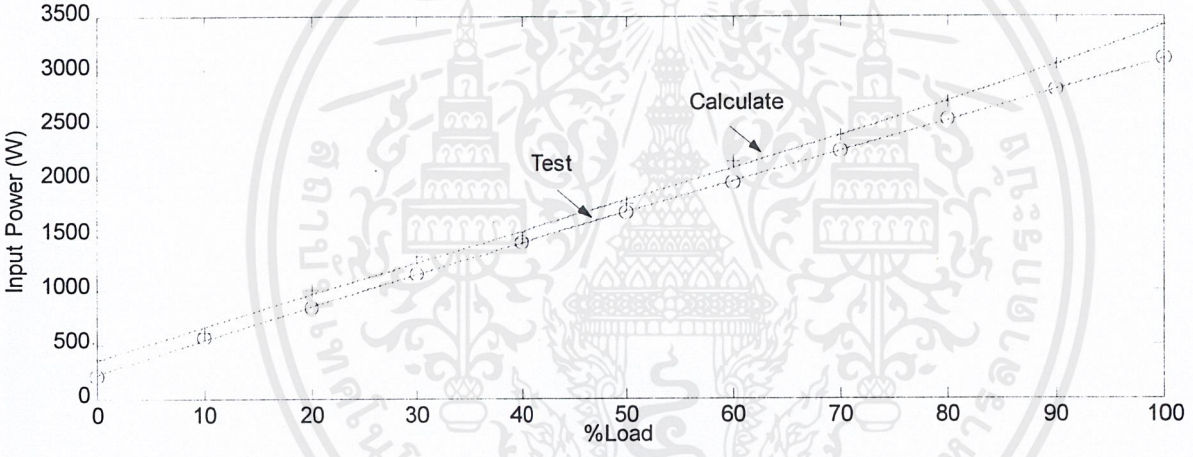


รูป 8.4.2.12 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 9,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ

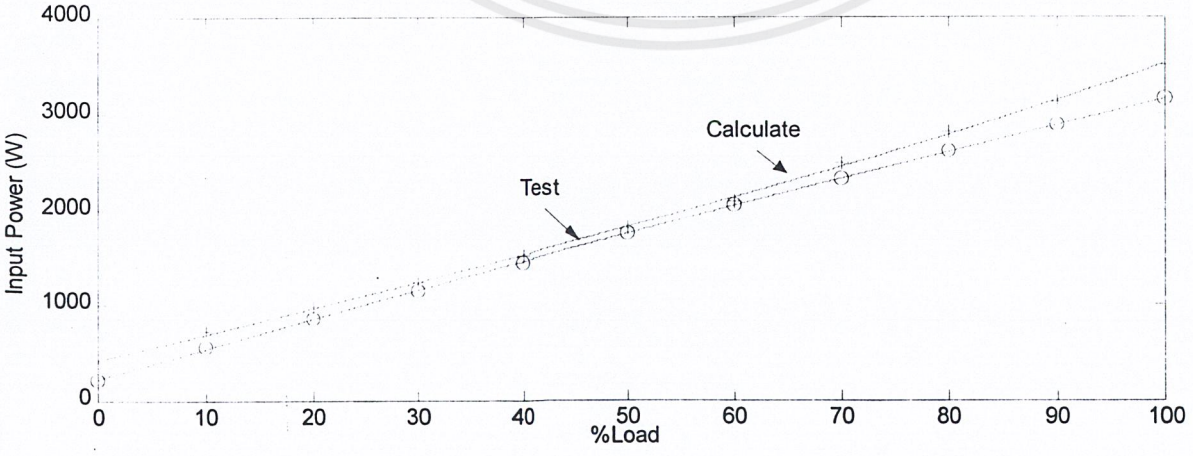
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.2.13 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 2,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ

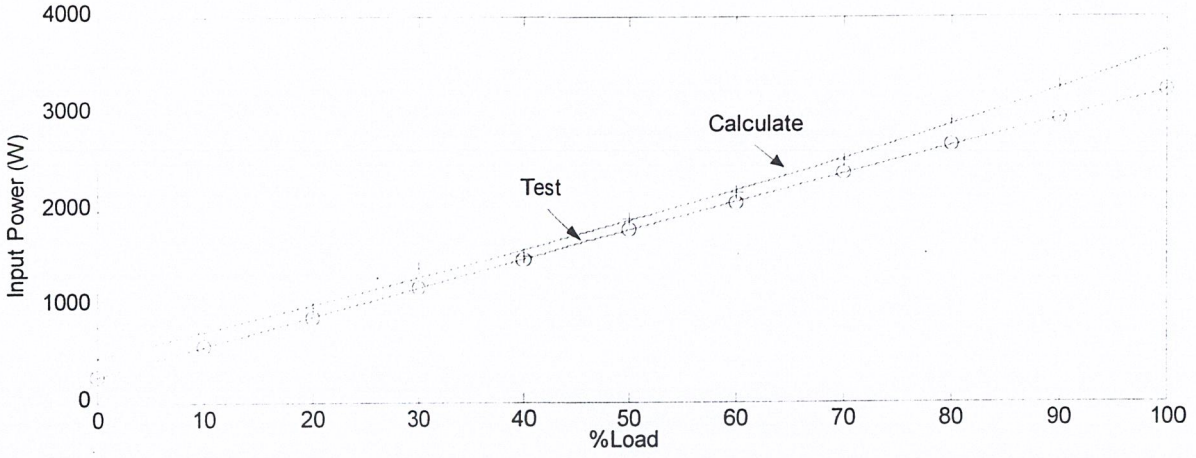


รูป 8.4.2.14 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 5,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก

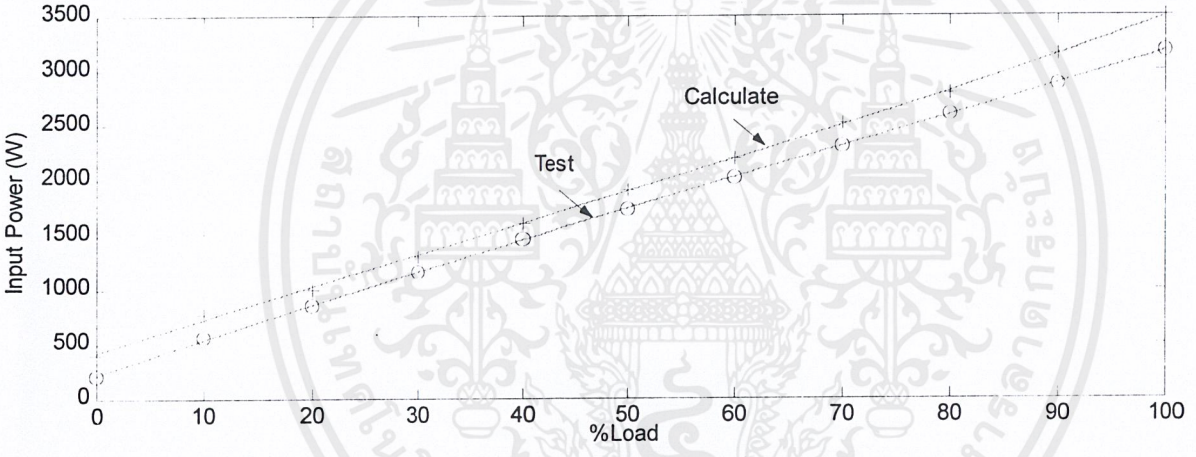


รูป 8.4.2.15 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 9,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ

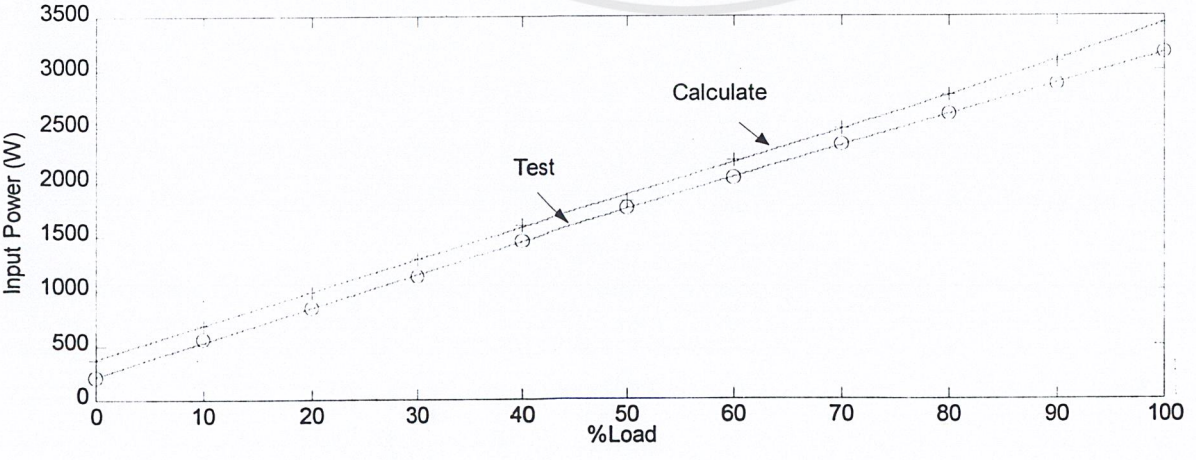
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.2.16 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ

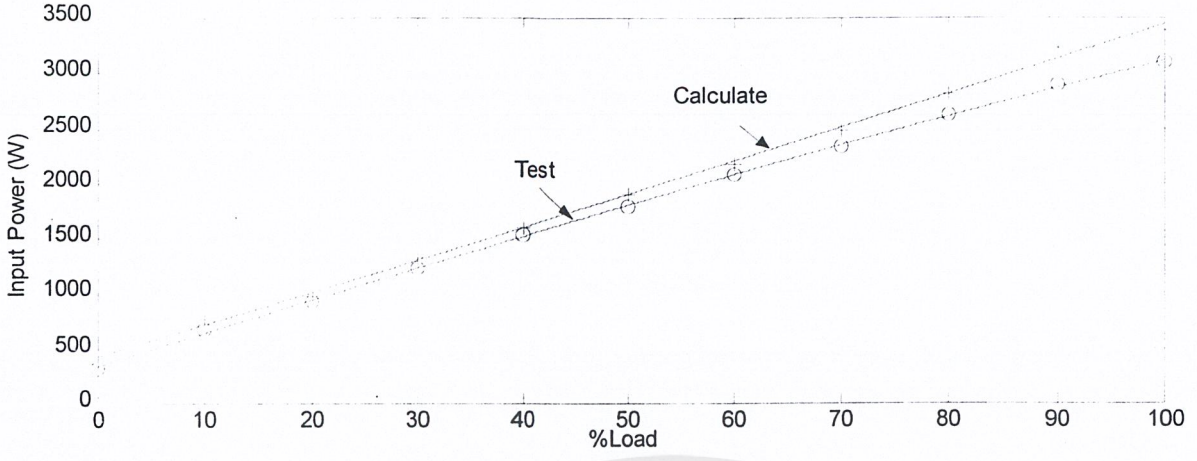


รูป 8.4.2.17 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 7,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก

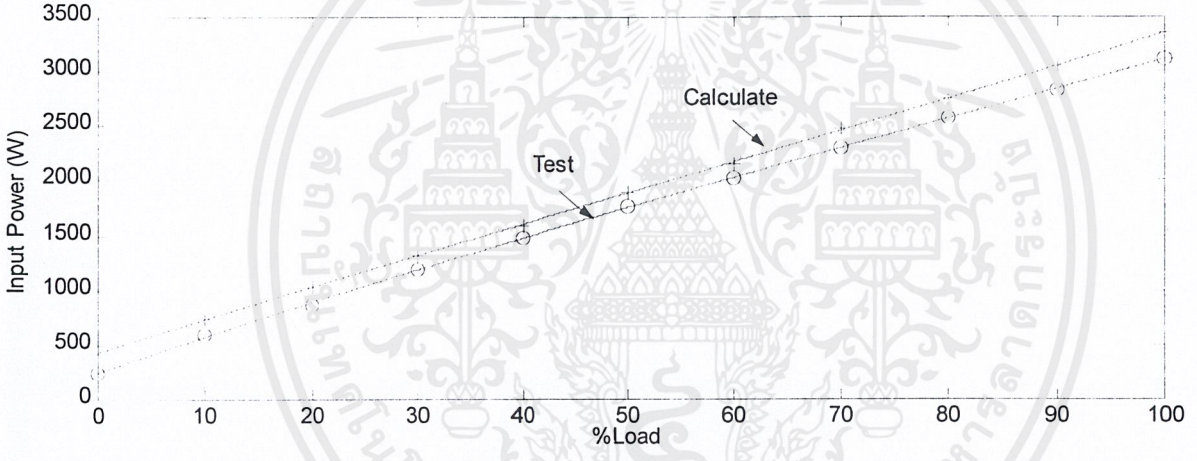


รูป 8.4.2.18 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 10,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ

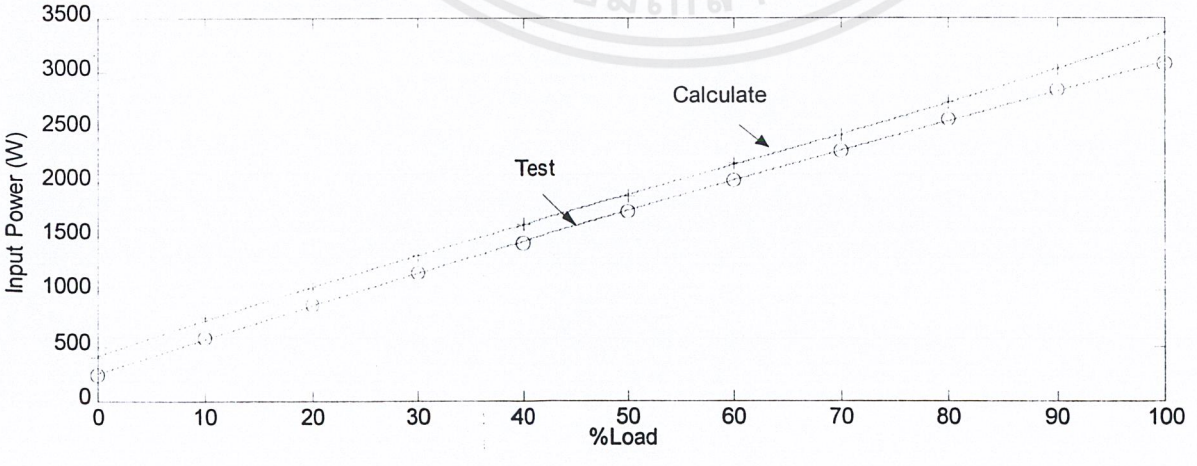
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.2.19 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ

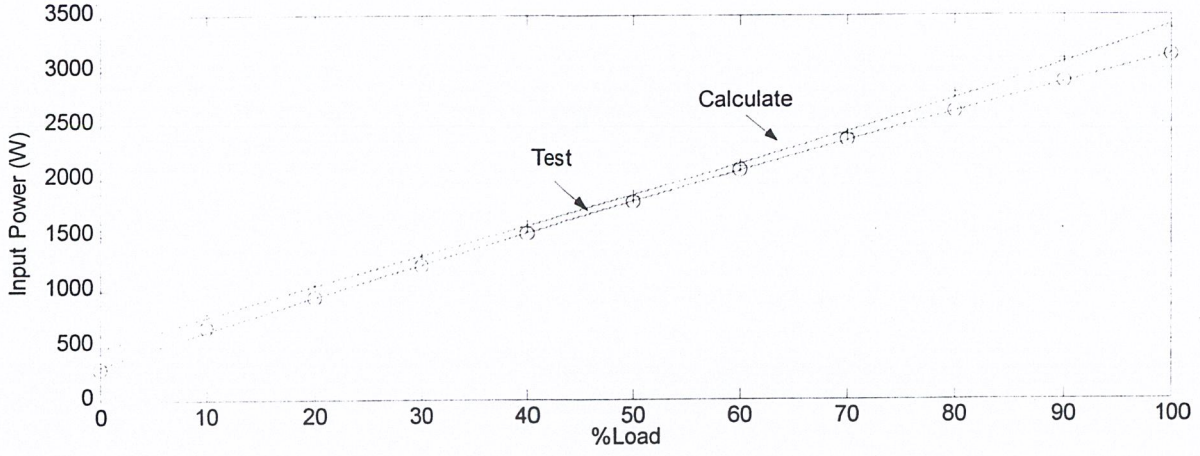


รูป 8.4.2.20 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 6,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก

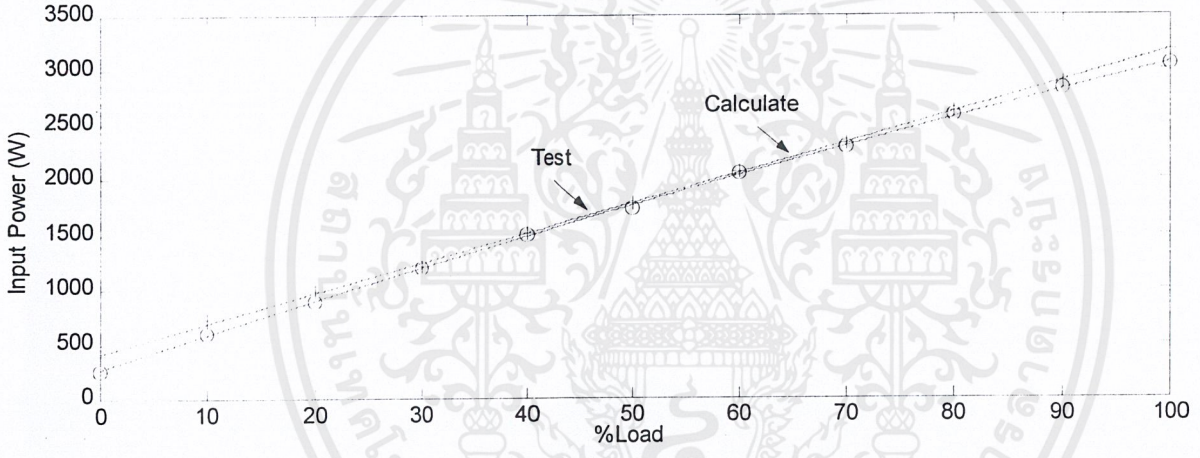


รูป 8.4.2.21 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 10,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ

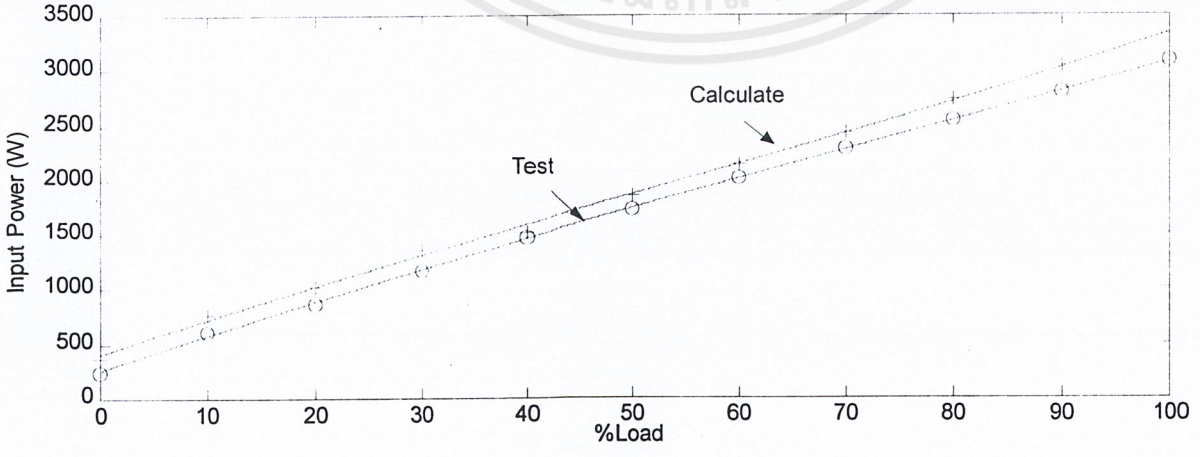
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.2.22 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก



รูป 8.4.2.23 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 7,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก



รูป 8.4.2.24 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 11,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4.3 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 5 แรงม้า

วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 5 แรงม้ามีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

$$R1 = 2.00\ \Omega$$

$$X1 = 1.95\ \Omega$$

$$R2 = 1.50\ \Omega$$

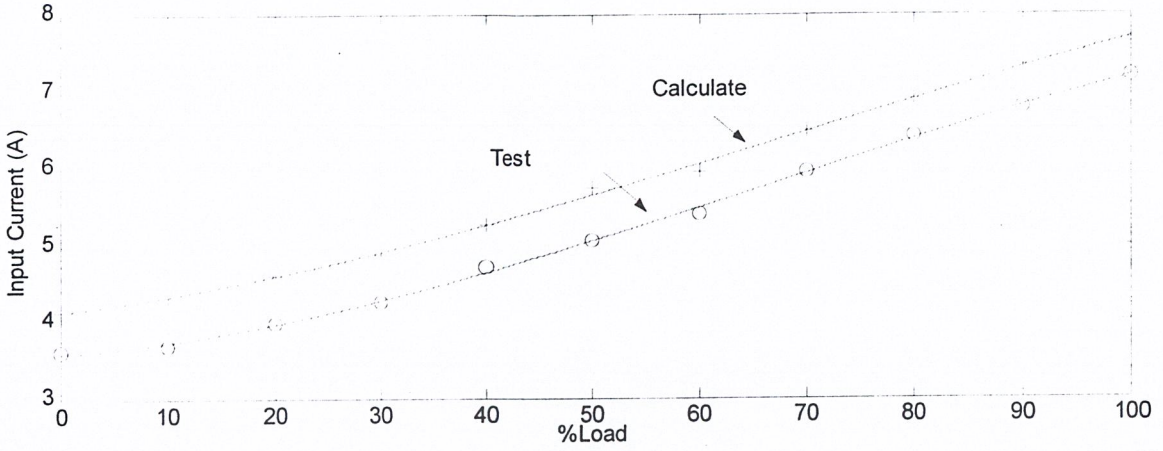
$$X2 = 1.95\ \Omega$$

$$Rfe = 274.81\ \Omega$$

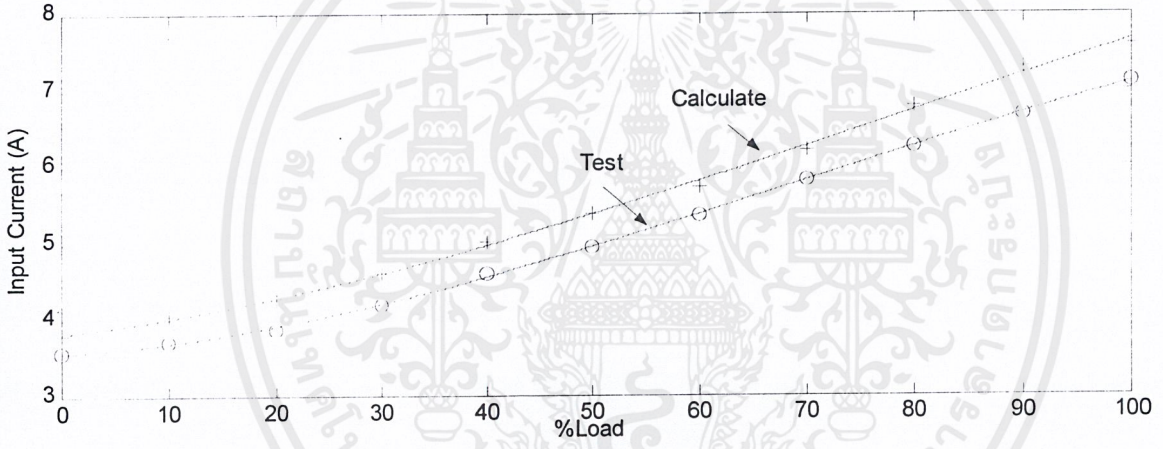
$$Xm = 58.44\ \Omega$$



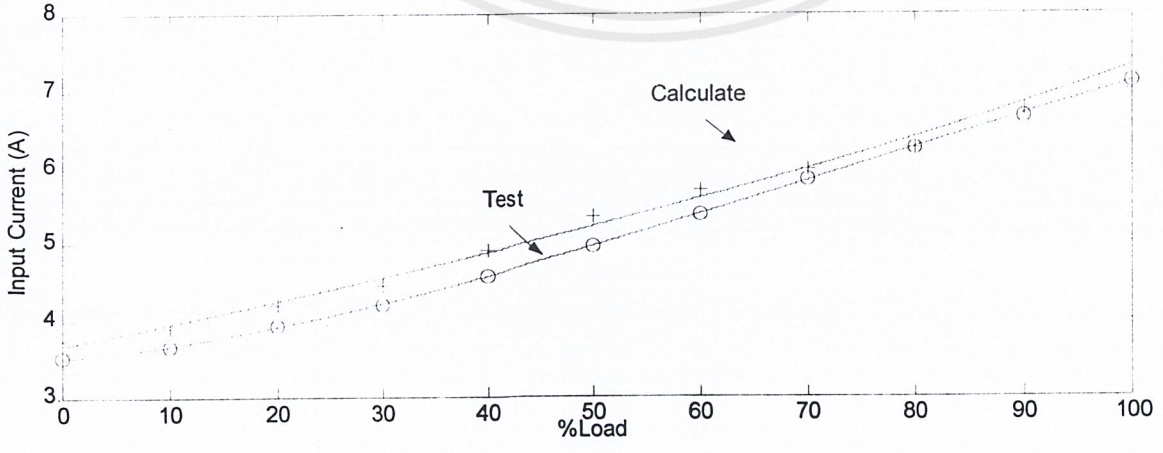
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.3.1 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก

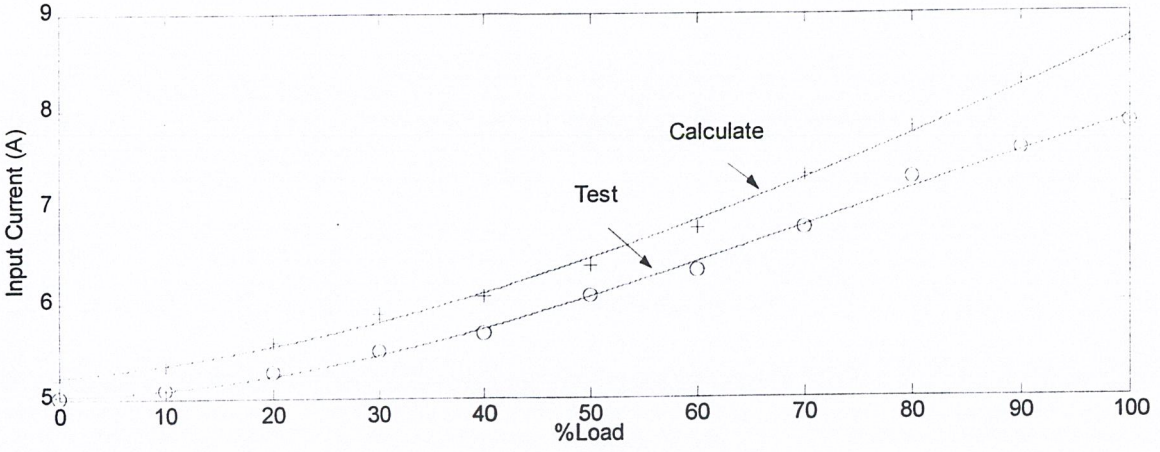


รูป 8.4.3.2 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 7,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก

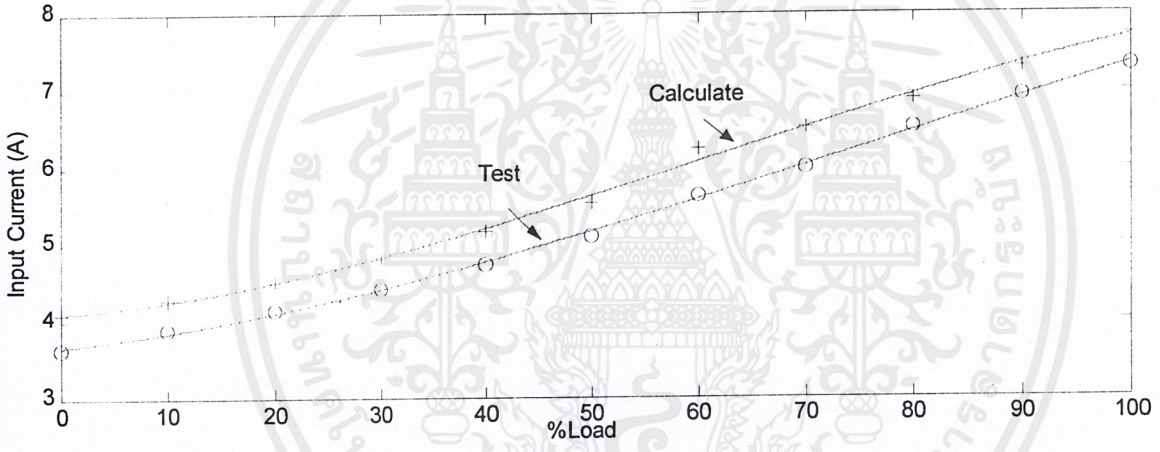


รูป 8.4.3.3 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 11,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ

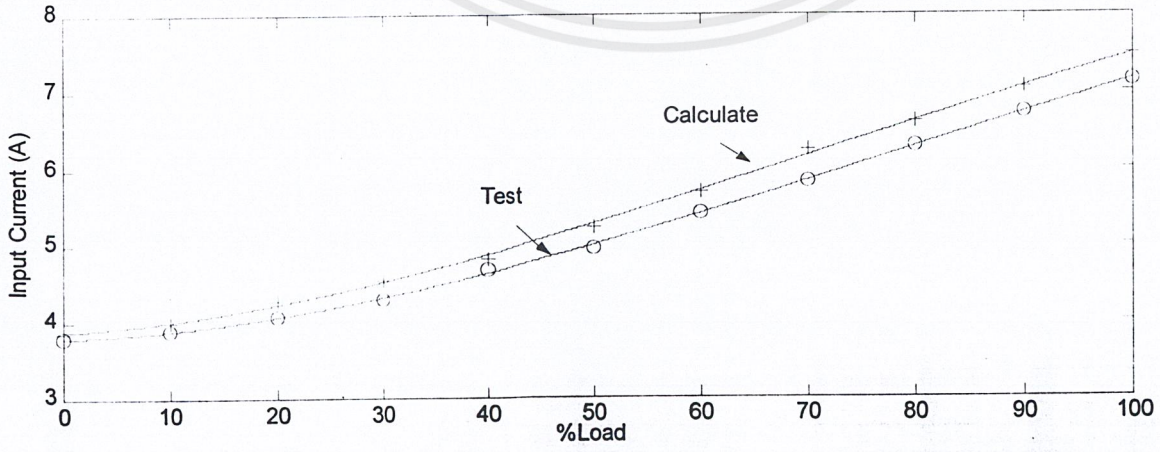
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.3.4 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 2,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก

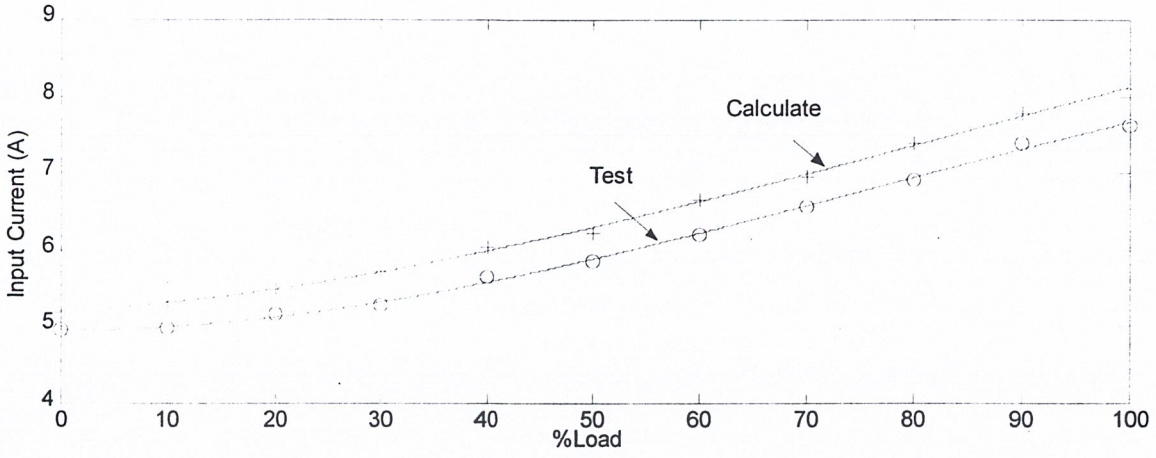


รูป 8.4.3.5 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 5,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ

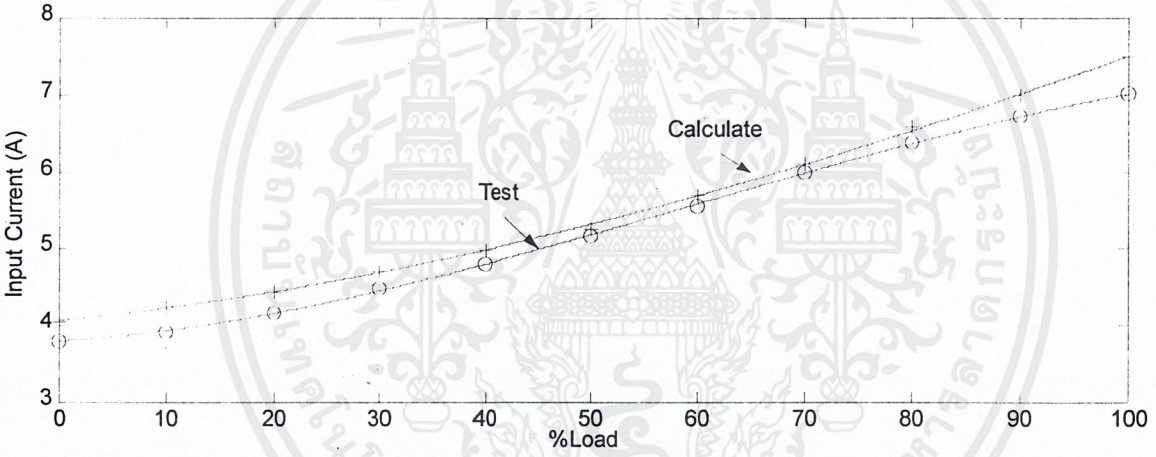


รูป 8.4.3.6 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 8,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ

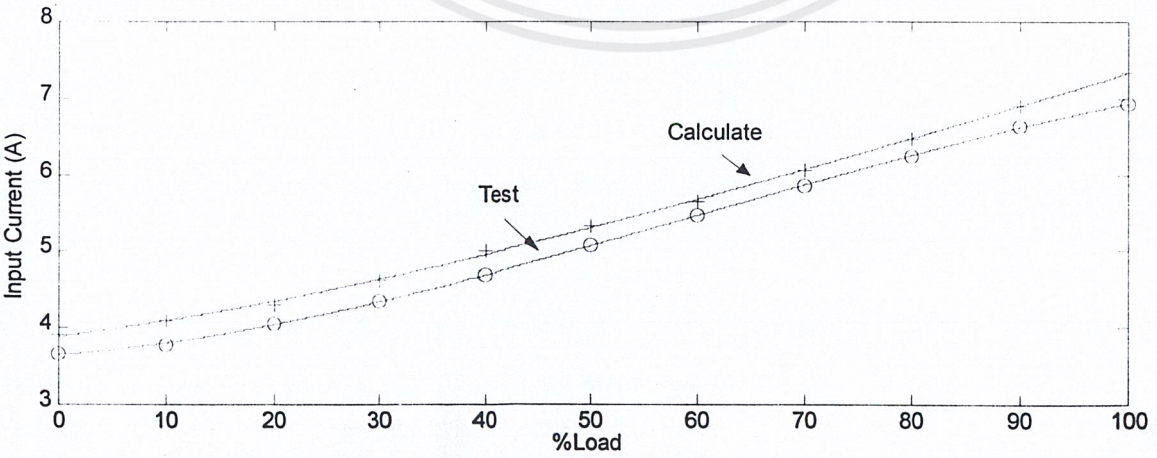
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.3.7 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก

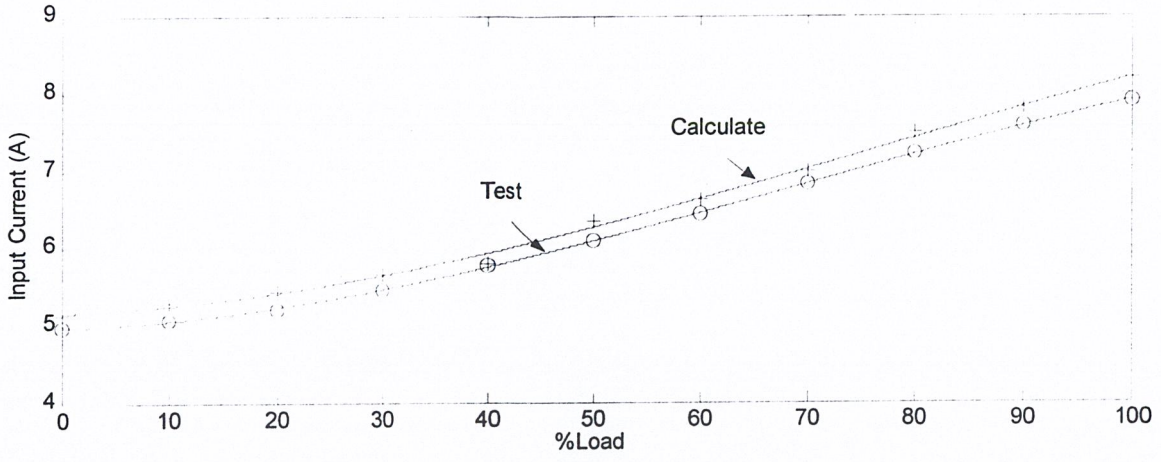


รูป 8.4.3.8 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 7,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ

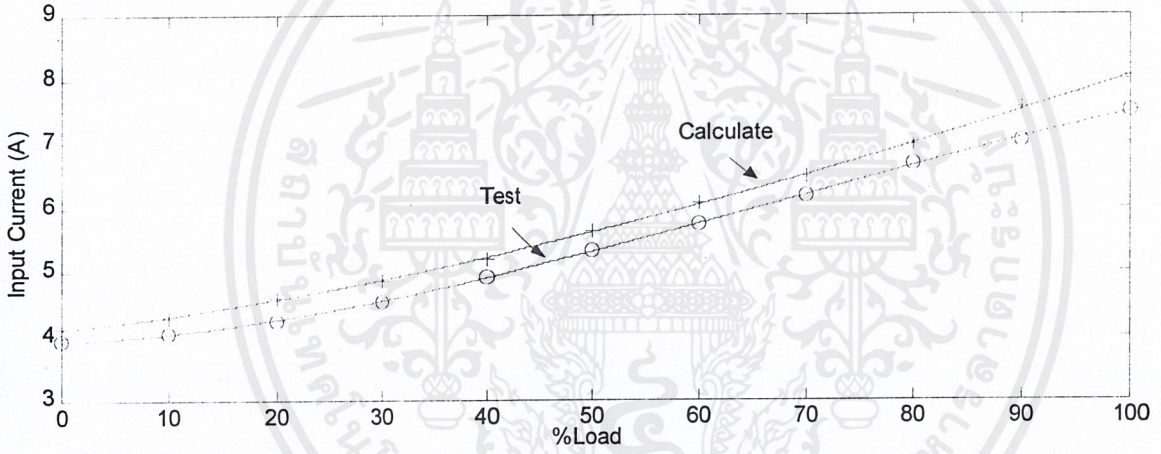


รูป 8.4.3.9 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 10,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ

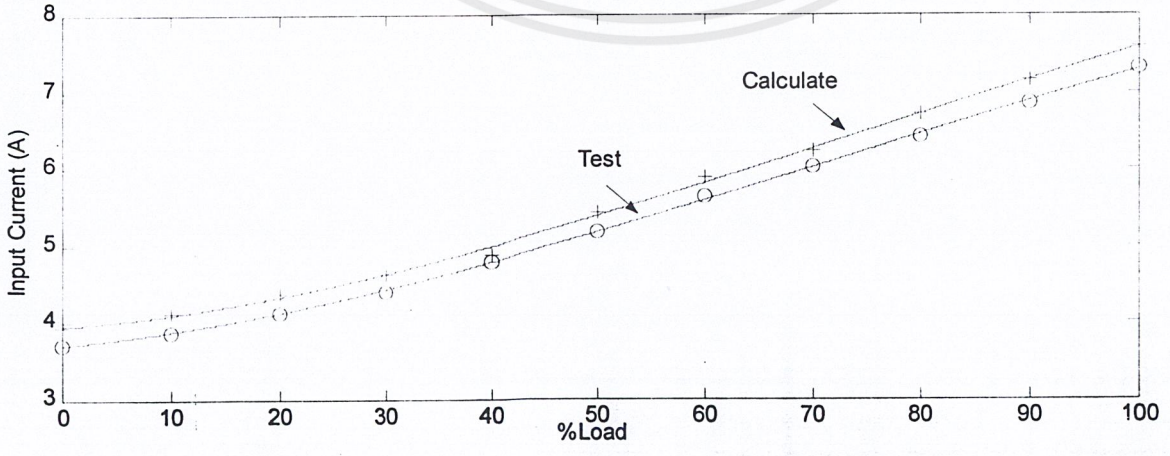
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.3.10 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ

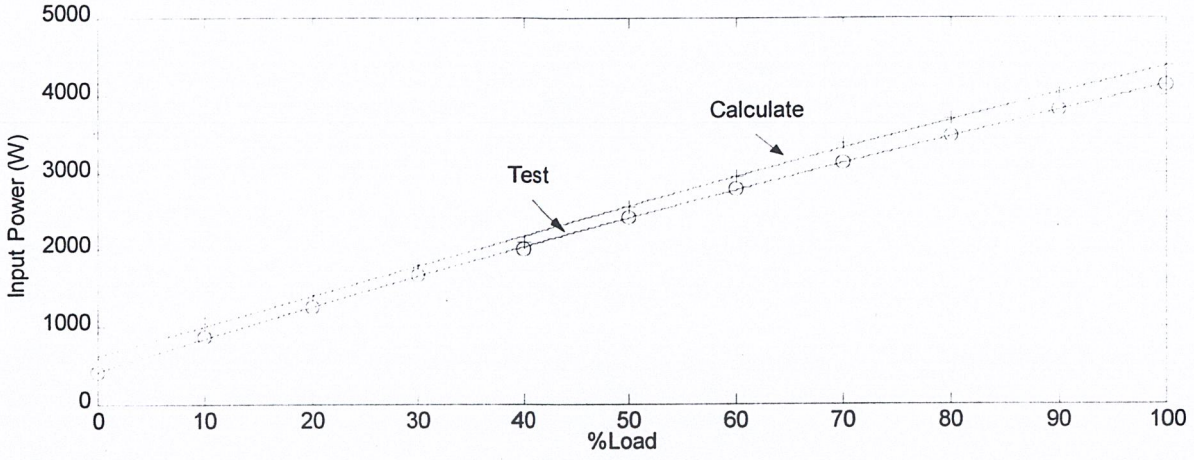


รูป 8.4.3.11 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 8,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ

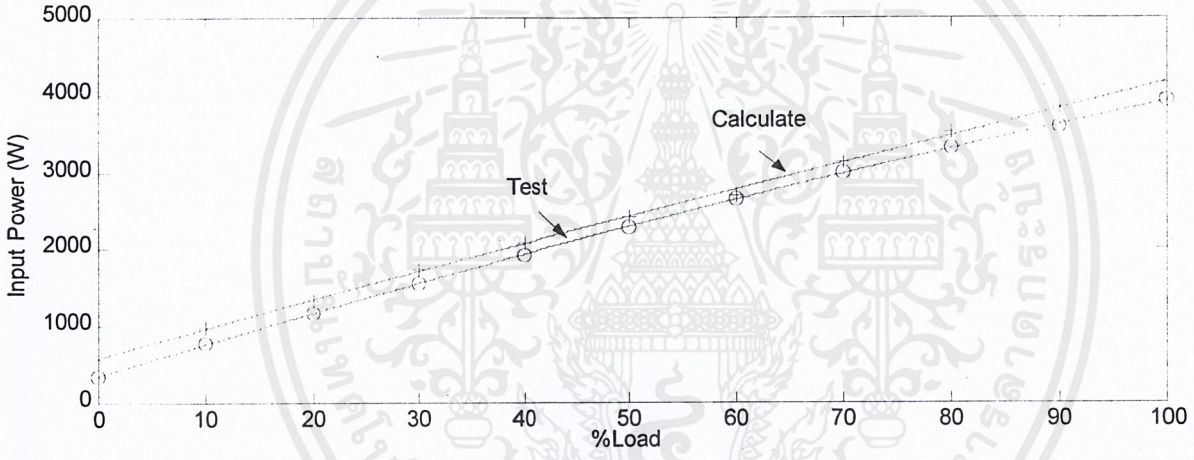


รูป 8.4.3.12 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กระแสอินพุทของลำดับ 11,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก

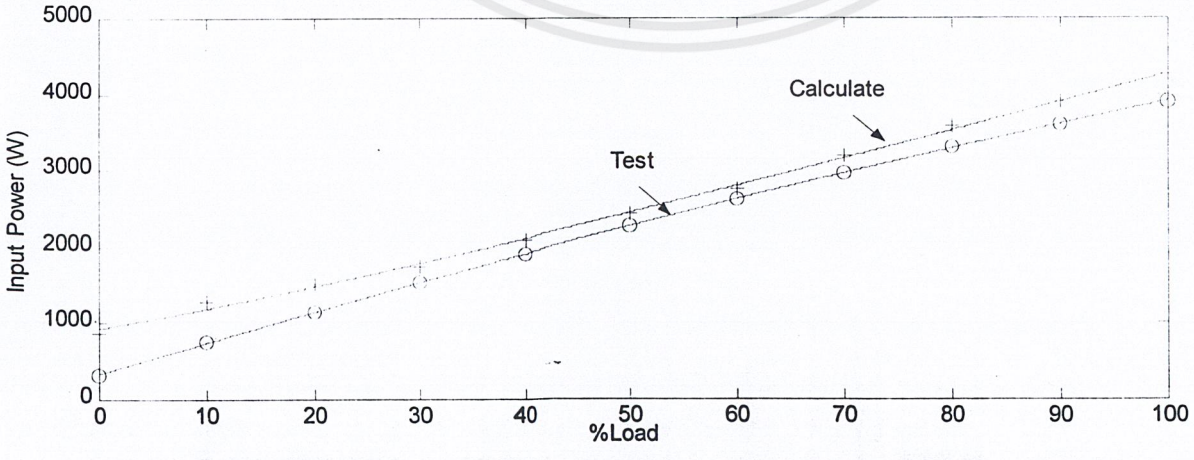
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.3.13 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 2,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ

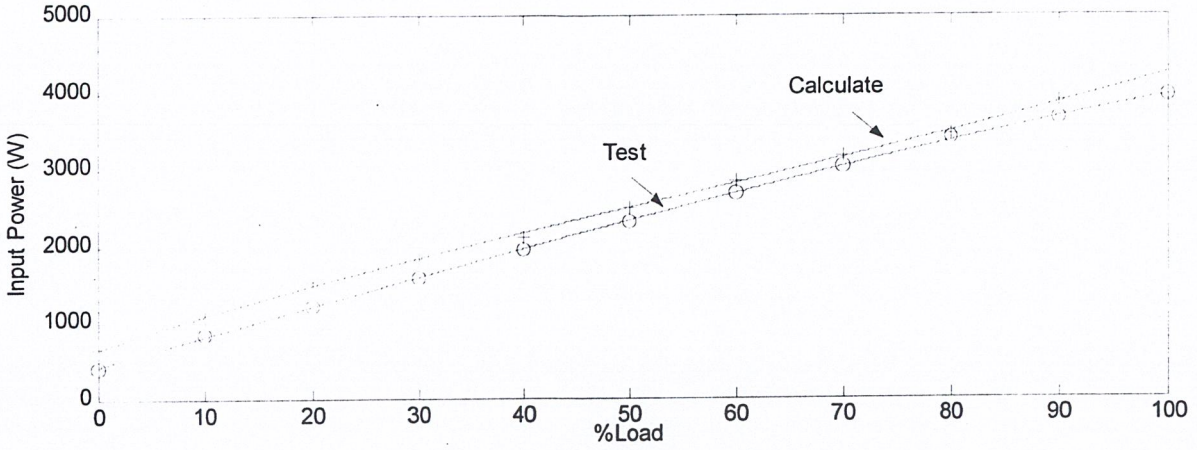


รูป 8.4.3.14 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 6,Vdf 10% ลำดับเฟสลบ

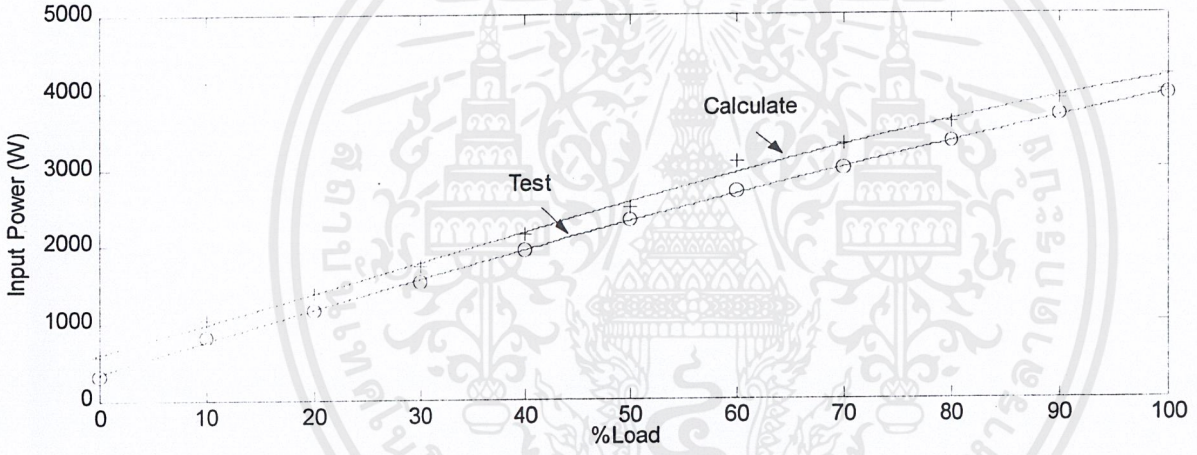


รูป 8.4.3.15 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 9,Vdf 10% ลำดับเฟสบวก

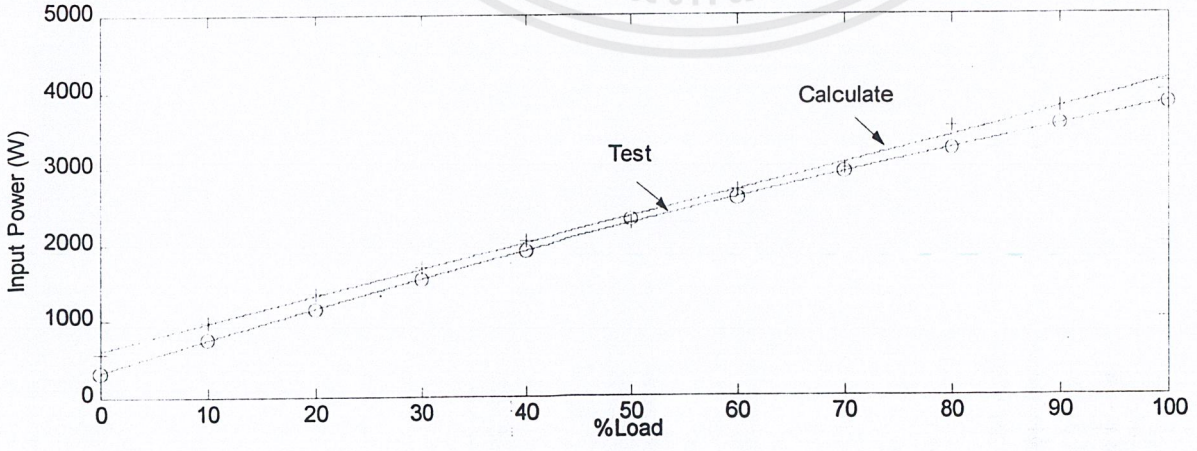
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.3.16 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก

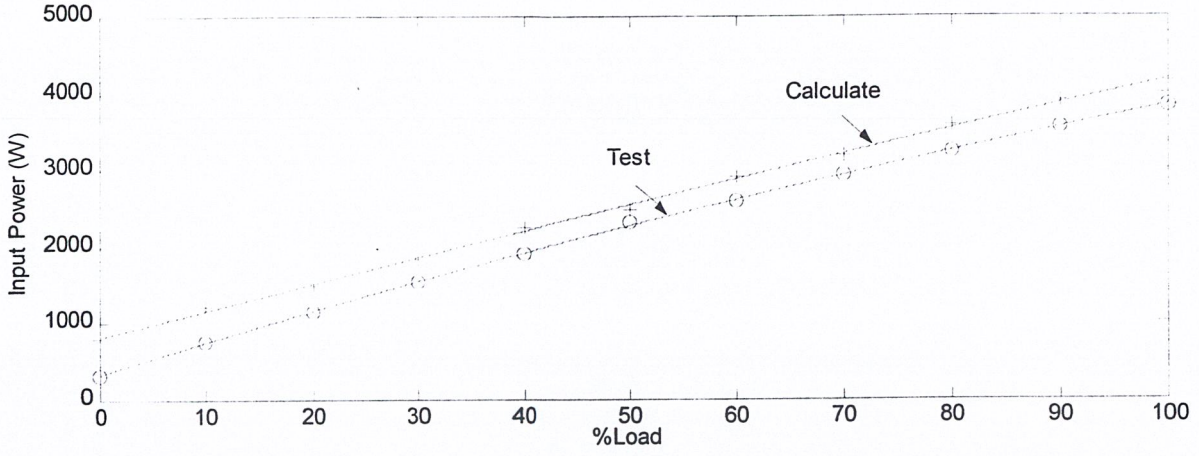


รูป 8.4.3.17 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 5,Vdf 15% ลำดับเฟสลบ

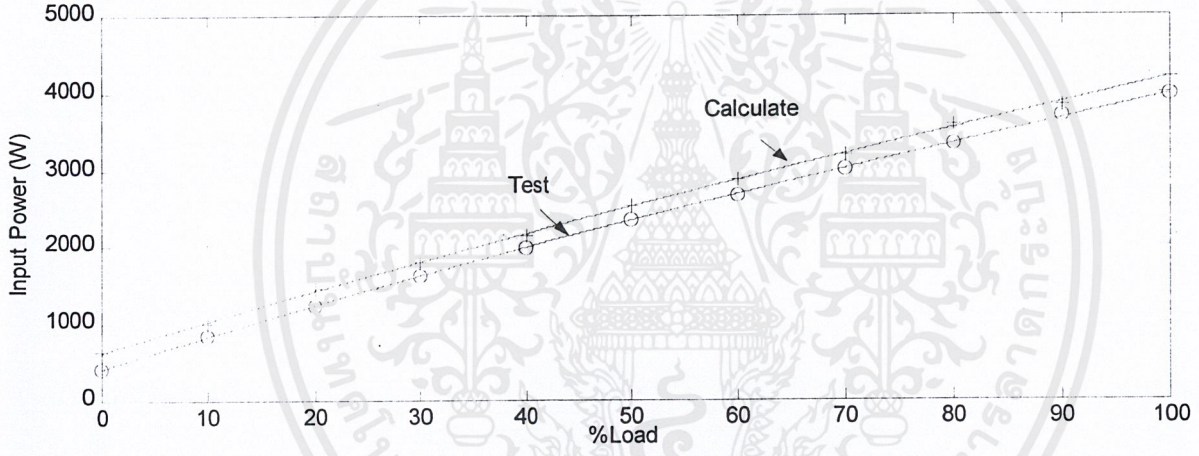


รูป 8.4.3.18 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 9,Vdf 15% ลำดับเฟสบวก

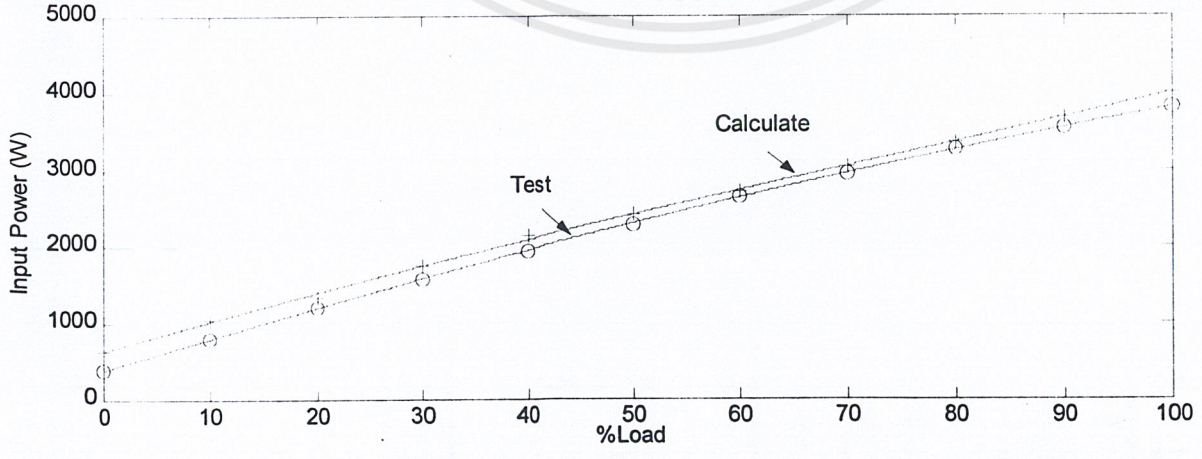
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.3.19 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 3,Vdf 20% ลำดับเฟสบวก

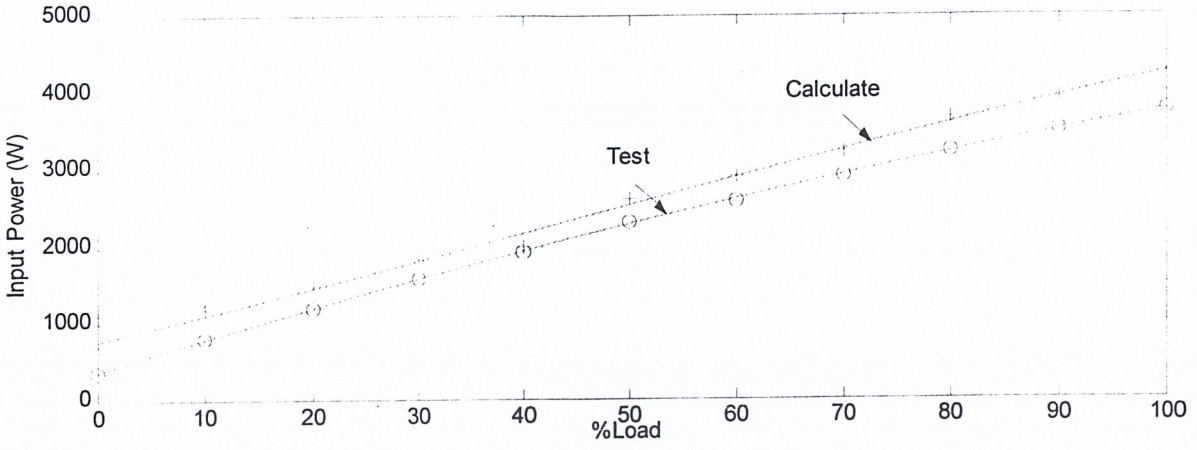


รูป 8.4.3.20 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 6,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ

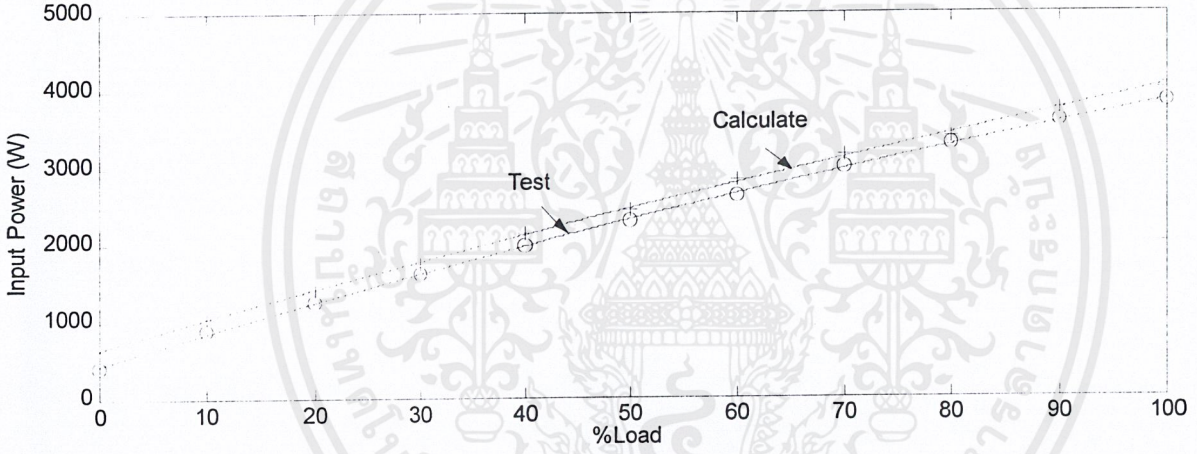


รูป 8.4.3.21 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 10,Vdf 20% ลำดับเฟสลบ

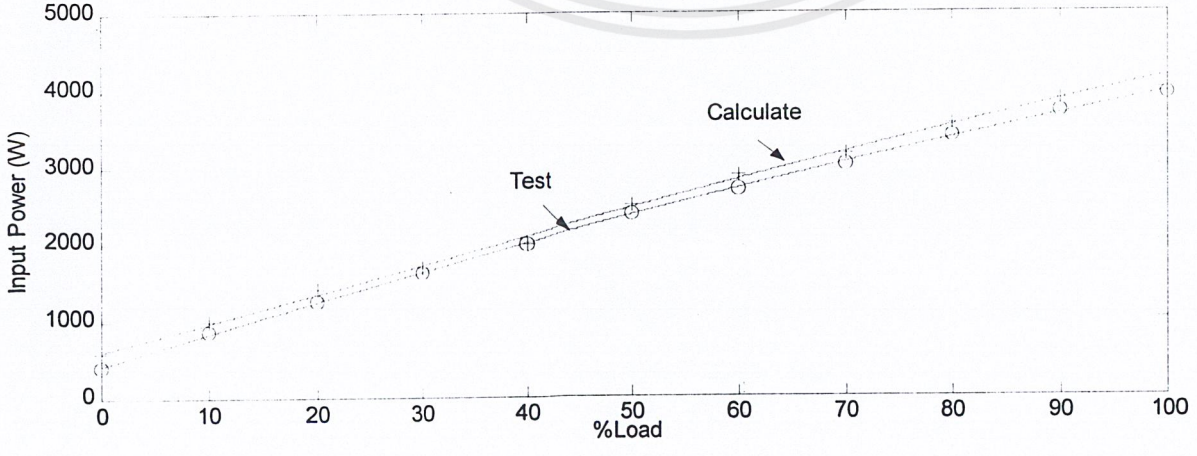
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.4.3.22 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 4,Vdf 25% ลำดับเฟสบวก



รูป 8.4.3.23 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 7,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ



รูป 8.4.3.24 เปรียบเทียบคำนวณกับทดลอง กำลังไฟฟ้าอินพุทของลำดับ 11,Vdf 25% ลำดับเฟสลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9
สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

จากเทคนิคการสร้างแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าไม่เป็นรูปคลื่นไซน์โดยการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบรีลัคแทนซ์ชนิดไม่มีแปรงถ่าน ศักดาไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งจ่ายชนิดนี้สามารถที่นำมาใช้ในการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ โดยจะเห็นได้ว่า BSRG สามารถที่จะสร้างแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ได้ตามทฤษฎีทำให้สามารถทราบว่าขนาดและอันดับของฮาร์โมนิกส์ที่แตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อมอเตอร์อย่างไร BSRG มีความสามารถที่สร้างศักดาไฟฟ้าไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ซึ่งแสดงได้ว่า การสร้างแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าไม่เป็นรูปคลื่นไซน์โดยใช้เทคนิคนี้สามารถใช้ในการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ และจากผลการทดสอบโดยใช้ BSRG เมื่อป้อนศักดาไฟฟ้าไม่เป็นรูปไซน์ในรูป 8.1.17 แสดงได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในกรณีของฮาร์โมนิกส์อันดับต่ำๆ จะมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับฮาร์โมนิกส์อันดับสูงๆ โดยที่ค่าตัวประกอบความเพี้ยนของศักดาไฟฟ้าเท่ากัน และฮาร์โมนิกส์ที่มีการเรียงลำดับเฟสลบจะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าป้อนเข้ามีค่าสูงมากกว่าฮาร์โมนิกส์ที่มีการเรียงลำดับเฟสบวก.

เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำไม่มีภาระทางกลค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำของศักดาไฟฟ้าที่มีฮาร์โมนิกส์อันดับต่ำๆรวมอยู่ค่ากำลังไฟฟ้าป้อนเข้าจะมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับการป้อนโดยแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซน์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าผลที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์อันดับต่ำๆจะทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดค่าความสูญเสียสูงขึ้นดังแสดงดังรูป8.1.29 และเมื่อกรณีฮาร์โมนิกส์อันดับสูงๆค่าความสูญเสียมีค่าน้อย โดยที่ค่าตัวประกอบความเพี้ยนของศักดาไฟฟ้าเท่ากันดังแสดงตามรูป 8.1.31 จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าป้อนเข้าจะมีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าจากแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซน์ ซึ่งผลจากการทดสอบในบทความนี้จะส่งเสริมให้เกิดความเข้าใจในผลของฮาร์โมนิกส์ที่รวมอยู่ในระบบแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ผลของฮาร์โมนิกส์สามเฟสที่มีการเรียงลำดับเฟสในทิศทางบวกและลบจะส่งผลให้เกิดความสูญเสียที่ต่างกัน โดยที่ฮาร์โมนิกส์ที่มีการเรียงลำดับเฟสลบจะมีความสูญเสียมากกว่าและแนวโน้มของฮาร์โมนิกส์อันดับสูงๆจะส่งผลกระทบต่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำลดลง

จากผลการทดสอบจะใช้เป็นแนวทางการศึกษาผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าที่มีต่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยใช้เทคนิคการเรียงลำดับของเฟสในทิศทางบวกและลบ เพื่อกำเนิดสนามแม่เหล็กหมุนในทิศทางบวกและลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงอาจพอที่จะสรุปผลกระทบฮาร์โมนิกส์ที่มีต่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ดังนี้

1.ฮาร์โมนิกส์อันดับต่ำๆจะทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดค่าความสูญเสียสูงกว่าที่อันดับสูงขึ้น

2.ฮาร์โมนิกส์ที่มีการเรียงลำดับเฟสลบจะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าป้อนเข้ามีค่าสูงมากกว่าฮาร์โมนิกส์ที่มีการเรียงลำดับเฟสบวก

3.ฮาร์โมนิกส์ที่มีการเรียงลำดับเฟสลบจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าป้อนเข้ามีค่าสูงมากกว่าฮาร์โมนิกส์ที่มีการเรียงลำดับเฟสบวก

4.ที่ค่าตัวประกอบความเพี้ยนของศักดาไฟฟ้า(VDF)ที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ศักดาไฟฟ้าที่เป็นคลื่นไซน์เกิดค่าความเพี้ยนมากขึ้นตามไปด้วย

5.ฮาร์โมนิกส์ที่มีการเรียงลำดับเฟสลบมีแนวโน้มว่าจะมีผลกระทบต่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำมากกว่าฮาร์โมนิกส์แรงดันแบบบวก ในแง่มุมของประสิทธิภาพ

6 . ผลกระทบในด้านอื่นๆ ได้แก่ การสั่นของมอเตอร์ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เป็นต้น

จากผลสรุปดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

ปัญหาที่พบในการทดลอง

จากทดลองพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นมีหลายด้านซึ่งล้วนส่งผลให้การวัดค่า และการเก็บผลการทดลองมีความผิดพลาดทำให้ผลที่ได้จากการทดลองไม่เป็นไปตามทฤษฎีเท่าที่ควรจึงมีการทำการทดลองซ้ำไปซ้ำมาบ่อยครั้ง เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง ยกตัวอย่างปัญหาที่พบเช่นการติดตั้งแท่นของมอเตอร์นั้นต้องให้อยู่ในระดับเดียวกันเพื่อให้เกิดกำลังทางกลสูงสุด หรือการทดลองที่ความถี่สูงมากๆ จะพบว่ามีสัญญาณรบกวนที่เพิ่มมากขึ้น เป็นต้น

ข้อแนะนำ

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าควรจะมีแท่นติดตั้งมอเตอร์ที่ได้มาตราฐาน เพื่อจะได้มีค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุด และจากปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่พบคือ หากทำลองการทดลองที่ความถี่สูงมากๆ จะมีสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมาก ดังนั้นจึงไม่ควรทำการทดลองที่ความถี่สูงมากเกินไป นอกจากนั้นผู้ที่ต้องการศึกษาทางด้านนี้อย่างลึกซึ้ง ควรที่จะหาบทความวิจัยจากต่างประเทศมาศึกษามากๆ เนื่องจากเรื่องนี้ยังเป็นเรื่องที่ค่อนข้างใหม่ จึงหาตำราในการศึกษาค่อนข้างลำบาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางในการศึกษาโครงงานนี้ต่อ

ในเรื่องของผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ที่มีต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้น ยังมีหัวข้อให้ศึกษาอยู่อีกมากมายเช่น ศึกษาผลกระทบที่จะเกิดทางด้านของความสูญเสียทางแกนเหล็ก, ศึกษาผลกระทบที่จะเกิดทางด้านของความร้อน หรือแม้กระทั่งการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือจาก

1. อ.พิชิต ลำยอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้พร่ำสอน ตักเตือน ตลอดจนให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของโครงงาน และเรื่องต่างๆ อีกมากมาย

2. คุณ เฉลิมชัย คงมั่นประกายกิจ เจ้าหน้าที่วิจัยศูนย์บริการและพัฒนาวิศวกรรม ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือที่ดีตลอดมา

3. คุณ วรชาติ แซ่ก๊ก เจ้าหน้าที่วิจัยศูนย์บริการและพัฒนาวิศวกรรม ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือที่ดีตลอดมา

4. ชาววิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ร่วมทุกข์ ร่วมสุขกันมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. P. K. Sen and H. A. Landa "Derating of Induction Motor Due to Waveform Distortion" IEEE Trans. on Industry Applications , Vol . 26 , pp. 1102 – 1107 , Nov / Dec , 1990

2. P.C. Sarikas "Harmonics Survey within an Industrial Facility" Southcon / 96 , pp. 575 – 581 , 1996 .

3. A. Vamvakari , et al "Analysis of Supply Voltage Distortion Effect on Induction Motor Operation" IEEE International Conference IEMD' 99 , pp. 360 – 362 , 1999.

4. C. Y. Lee and W. J. Lee "Effects of Nonsinusoidal Voltage on the Operation Performance of a Three – phase Induction Motor" IEEE Trans. on Energy Conversion , Vol . 14 , No. 2 , pp.193 –200 , June 1999.

5. P. Lumyong and C. Chat – uthai "Nonsinusoidal Voltage Technique of Source Using the Brushless Synchronous Reluctance Generator" IEEE Conference IPEMC 2000 , pp. 887 – 891 , August 2000.

6. A. E. Fitzgeral , C. Kingsley , Jr and S. D. Umans "Electric Machainery" 5th edition , McGraw - Hill , 1990.

7. IEEE Standards Board, IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators (IEEE Std 112-1996), American National Standards Institute, Feb 1996.

8. IEEE Standards Board, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonics Control in Electrical Power System (IEEE Std 512-1992), American National Standards Institute, Jan 1993.

9. พิชิต ลำยอง, เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : fundamental sequence : - %VDF : -

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	220.50	220.66	220.84	3.54	3.64	3.67	3.61	160.33	149.54	60.43	370.30	1498	0.294	46.17	324.13	12.47	
10	220.16	219.60	220.44	3.67	3.68	3.77	3.71	311.87	288.32	199.91	800.10	1493	2.845	444.79	355.31	55.59	
20	219.83	219.26	220.48	3.86	3.87	3.96	3.90	431.18	409.09	345.68	1185.95	1488	5.297	825.46	360.49	69.60	
30	219.52	219.76	219.49	4.18	4.36	4.15	4.23	568.25	563.11	431.45	1562.81	1481	7.456	1156.29	406.52	73.99	
40	219.40	219.09	218.94	4.59	4.64	4.44	4.56	694.45	676.58	563.83	1934.85	1477	9.810	1517.32	417.53	78.42	
50	219.49	218.45	219.27	5.02	5.00	4.91	4.98	802.94	797.35	695.47	2295.77	1470	11.870	1827.26	468.51	79.59	
60	219.66	218.93	219.46	5.43	5.47	5.27	5.39	923.96	919.58	797.74	2641.28	1464	14.028	2150.67	490.61	81.43	
70	219.25	218.84	219.41	5.82	5.90	5.68	5.80	1028.47	1036.20	917.00	2981.68	1458	15.892	2426.44	555.24	81.38	
80	218.33	220.02	219.79	6.05	6.52	6.10	6.22	1098.64	1161.08	1040.24	3299.96	1452	17.266	2625.29	674.67	79.56	
90	219.19	219.84	218.76	6.59	6.89	6.41	6.63	1226.67	1267.65	1115.98	3610.30	1448	19.424	2945.31	664.99	81.58	
100	218.81	218.76	218.72	6.98	7.20	6.87	7.02	1312.60	1344.54	1224.16	3881.29	1440	20.797	3136.14	745.15	80.80	

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 3 sequence : positve %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.77	224.60	224.02	4.34	5.21	5.35	4.97	137.84	269.10	133.78	540.71	1498	0.294	46.17	494.54	8.54	
10	223.86	222.85	223.21	4.38	5.23	5.33	4.98	291.84	383.99	262.96	938.79	1491	3.041	474.83	463.96	50.58	
20	223.68	222.96	223.70	4.57	5.44	5.47	5.16	399.86	530.32	397.82	1328.01	1486	5.199	809.08	518.93	60.92	
30	223.32	223.24	223.16	5.88	5.05	4.91	5.28	682.52	494.06	504.26	1680.84	1480	7.456	1155.51	525.33	68.75	
40	223.83	222.92	222.62	5.13	6.05	5.81	5.66	650.96	789.46	621.51	2061.93	1473	9.614	1482.95	578.98	71.92	
50	222.47	222.39	223.02	6.16	6.10	5.30	5.85	913.25	807.35	650.47	2371.07	1469	11.674	1795.83	575.24	75.74	
60	222.66	222.34	222.73	6.53	5.51	6.59	6.21	956.30	791.02	967.12	2714.44	1461	13.342	2041.20	673.24	75.20	
70	222.37	222.21	222.39	6.89	6.92	5.92	6.57	1139.94	1062.24	850.52	3052.69	1456	15.206	2318.41	734.28	75.95	
80	222.55	223.04	222.41	7.43	6.43	6.89	6.92	1210.86	1036.67	1112.12	3359.65	1449	16.971	2575.20	784.45	76.65	
90	223.44	223.01	222.87	6.76	7.95	7.50	7.40	1148.25	1375.11	1170.22	3693.58	1443	18.639	2816.55	877.03	76.26	
100	222.82	221.61	222.58	7.65	8.12	7.11	7.63	1362.29	1392.61	1143.70	3898.60	1438	20.012	3013.61	884.99	77.30	

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 3 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	223.76	222.81	224.13	4.45	5.42	5.18	5.02	211.66	199.77	127.09	538.53	1497	0.196	30.76	509.95	5.69	
10	223.23	223.25	224.10	5.00	4.47	5.70	5.06	430.61	251.62	278.15	960.37	1492	2.845	444.49	494.30	47.35	
20	223.76	222.12	224.23	4.86	5.53	5.23	5.21	475.14	480.11	400.28	1355.52	1483	5.101	792.21	535.80	59.65	
30	223.24	223.30	223.76	5.77	5.26	5.19	5.40	629.23	614.15	482.58	1725.97	1477	7.357	1137.99	542.85	67.70	
40	223.22	223.22	223.39	5.49	6.16	5.36	5.67	685.48	791.09	608.86	2085.44	1471	9.614	1480.94	580.99	71.82	
50	222.09	222.85	222.79	6.13	5.49	6.32	5.98	879.69	773.42	792.16	2445.27	1465	11.772	1805.99	565.08	76.17	
60	221.49	222.57	222.12	6.70	6.08	6.37	6.38	1006.49	934.78	868.46	2809.73	1457	13.636	2080.52	633.92	76.65	
70	222.67	222.33	222.81	6.89	6.25	7.08	6.74	1097.03	1001.50	1049.49	3148.02	1452	15.598	2371.71	680.98	77.69	
80	222.29	221.05	222.37	7.24	7.49	6.80	7.18	1167.11	1230.46	1086.12	3483.69	1445	17.364	2627.47	732.18	78.21	
90	222.74	222.01	222.28	7.39	8.04	7.28	7.57	1230.49	1360.89	1208.28	3799.66	1437	19.031	2863.89	829.69	77.54	
100	221.62	221.62	222.17	8.40	7.70	7.84	7.98	1457.85	1347.05	1308.56	4113.46	1430	20.503	3070.29	828.31	78.75	

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 4 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.68	224.35	224.11	4.27	4.19	4.59	4.35	215.59	175.61	75.81	467.01	1498	0.294	46.17	494.54	8.54	
10	224.25	223.75	224.32	4.39	4.27	4.57	4.41	351.11	308.26	221.20	880.58	1491	3.041	474.83	463.96	50.58	
20	223.62	222.63	223.44	4.60	4.45	4.71	4.58	492.04	425.80	365.66	1283.49	1486	5.199	809.08	518.93	60.92	
30	225.30	225.12	224.75	4.99	4.89	5.01	4.96	619.36	574.84	477.63	1671.82	1480	7.456	1155.51	525.33	68.75	
40	224.94	223.59	223.90	5.42	5.15	5.21	5.26	766.77	685.70	603.46	2055.93	1473	9.614	1482.95	578.98	71.92	
50	223.51	222.67	222.56	5.71	5.57	5.52	5.60	873.05	814.16	718.00	2405.20	1469	11.674	1795.83	575.24	75.74	
60	223.68	223.00	223.92	6.13	5.92	6.00	6.02	984.62	926.92	856.90	2768.44	1461	13.342	2041.20	673.24	75.20	
70	223.56	222.69	223.21	6.60	6.37	6.38	6.45	1114.69	1049.11	964.73	3128.53	1456	15.206	2318.41	734.28	75.95	
80	222.91	222.05	222.32	6.92	6.75	6.73	6.80	1195.91	1152.36	1072.29	3420.55	1449	16.971	2575.20	784.45	76.65	
90	224.71	224.47	225.15	7.27	7.13	7.23	7.21	1294.50	1247.94	1200.13	3742.57	1443	18.639	2816.55	877.03	76.26	
100	223.98	223.15	222.93	7.80	7.73	7.50	7.68	1416.84	1395.06	1270.09	4081.99	1438	20.012	3013.61	884.99	77.30	

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 4 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.08	223.51	224.22	4.34	4.27	4.65	4.42	219.28	180.05	72.52	471.86	1497	0.196	30.76	509.95	5.69	
10	224.16	223.82	224.67	4.43	4.39	4.68	4.50	372.84	307.02	246.61	926.47	1492	2.845	444.49	494.30	47.35	
20	223.81	223.15	223.95	4.66	4.57	4.76	4.66	490.75	437.95	360.60	1289.30	1483	5.101	792.21	535.80	59.65	
30	223.64	223.52	223.70	4.99	4.88	4.99	4.96	616.50	576.05	489.53	1682.08	1477	7.357	1137.99	542.85	67.70	
40	224.13	222.45	223.25	5.41	5.15	5.33	5.30	760.44	679.60	633.57	2073.61	1471	9.614	1480.94	580.99	71.82	
50	224.32	222.56	222.18	5.91	5.61	5.57	5.70	902.38	811.02	728.42	2441.82	1465	11.772	1805.99	565.08	76.17	
60	223.51	222.96	222.84	6.26	5.99	6.03	6.09	1005.03	924.07	860.10	2789.20	1457	13.636	2080.52	633.92	76.65	
70	223.26	222.25	222.64	6.60	6.44	6.41	6.48	1103.77	1046.36	974.89	3125.02	1452	15.598	2371.71	680.98	77.69	
80	222.82	223.03	222.56	7.04	6.91	6.78	6.91	1220.60	1165.15	1077.29	3463.05	1445	17.364	2627.47	732.18	78.21	
90	222.32	222.56	222.36	7.39	7.27	7.19	7.28	1306.38	1270.78	1176.05	3753.21	1437	19.031	2863.89	829.69	77.54	
100	222.95	222.95	223.03	7.77	7.66	7.44	7.62	1405.18	1358.94	1254.37	4018.49	1430	20.503	3070.29	828.31	78.75	

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 5 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	222.56	222.60	222.09	3.77	4.03	4.14	3.98	212.21	129.91	64.93	407.05	1500	0.196	30.82	376.23	7.57	
10	223.80	223.33	224.83	4.14	4.13	4.31	4.19	367.35	253.10	210.35	830.81	1491	2.943	459.51	371.30	55.31	
20	220.73	221.90	221.08	4.27	4.25	4.35	4.29	472.29	392.73	365.48	1230.50	1485	5.199	808.54	421.96	65.71	
30	223.35	224.55	223.00	4.63	4.60	4.65	4.63	595.42	522.67	471.91	1590.00	1479	7.554	1169.92	420.08	73.58	
40	220.83	221.24	220.78	5.03	4.80	4.96	4.93	722.78	635.51	597.39	1955.69	1475	9.712	1500.11	455.58	76.71	
50	225.73	224.30	223.86	5.60	5.39	5.38	5.46	900.10	787.05	714.58	2401.73	1469	11.772	1810.92	590.81	75.40	
60	222.61	221.06	222.08	5.84	5.57	5.79	5.73	964.39	858.62	839.99	2663.01	1462	13.930	2132.72	530.29	80.09	
70	222.92	221.66	224.22	6.33	5.94	6.12	6.13	1071.74	973.47	960.48	3005.69	1456	15.696	2393.20	612.49	79.62	
80	223.44	224.01	223.89	6.69	6.57	6.57	6.61	1182.36	1110.73	1081.31	3374.40	1449	17.364	2634.75	739.65	78.08	
90	223.55	222.90	221.76	7.02	6.76	6.72	6.83	1270.18	1191.76	1106.43	3568.37	1444	18.835	2848.17	720.20	79.82	
100	223.04	222.95	222.05	7.26	7.25	7.24	7.25	1337.01	1291.39	1240.39	3868.79	1439	20.307	3060.05	808.74	79.10	

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 5 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.20	224.20	224.94	4.02	4.01	4.24	4.09	201.47	123.59	98.81	423.86	1498	0.196	30.78	393.08	7.26	
10	225.25	223.16	225.42	4.21	4.22	4.47	4.30	368.33	291.78	241.30	901.41	1491	2.845	444.19	457.22	49.28	
20	225.35	222.97	224.58	4.43	4.34	4.54	4.43	488.68	409.79	346.42	1244.89	1484	5.199	807.99	436.90	64.90	
30	223.02	224.26	224.20	4.70	4.62	4.74	4.69	630.62	549.51	491.23	1671.37	1478	7.456	1153.95	517.42	69.04	
40	224.48	222.66	224.36	5.00	4.87	4.96	4.94	718.92	669.40	596.05	1984.37	1471	9.810	1511.16	473.21	76.15	
50	223.74	224.09	222.79	5.51	5.27	5.32	5.37	885.93	795.46	738.73	2420.12	1466	11.772	1807.23	612.89	74.68	
60	223.28	224.41	224.04	5.89	5.76	5.64	5.76	980.18	926.09	823.46	2729.73	1459	13.832	2113.35	616.38	77.42	
70	223.59	224.58	223.03	6.41	6.30	6.00	6.23	1103.73	1064.15	921.35	3089.24	1452	15.696	2386.62	702.62	77.26	
80	224.19	223.60	222.19	6.79	6.54	6.44	6.59	1193.86	1112.28	1031.10	3337.25	1446	17.560	2659.00	678.25	79.68	
90	223.42	222.14	221.40	7.18	7.12	6.93	7.07	1281.47	1239.99	1146.92	3668.39	1440	19.031	2869.87	798.52	78.23	
100	223.39	224.33	222.45	7.54	7.44	7.08	7.35	1397.97	1357.38	1216.58	3971.93	1433	20.601	3091.45	880.48	77.83	

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 6 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.72	224.93	224.12	3.72	3.91	3.92	3.85	184.73	158.31	56.03	399.08	1498	0.196	30.78	368.30	7.71	
10	224.71	223.22	224.67	3.97	3.64	4.22	3.94	352.60	231.95	244.94	829.49	1492	2.845	444.49	385.00	53.59	
20	224.27	222.75	223.36	4.20	4.06	4.19	4.15	483.79	394.77	357.25	1235.80	1484	5.297	823.24	412.56	66.62	
30	223.68	222.97	222.83	4.51	4.34	4.53	4.46	595.14	527.07	478.65	1600.86	1478	7.554	1169.13	431.73	73.03	
40	223.14	222.85	223.43	4.91	4.80	4.81	4.84	731.53	664.46	604.23	2000.22	1472	9.810	1512.19	488.03	75.60	
50	222.47	222.81	222.94	5.31	5.21	5.19	5.24	832.79	782.32	726.08	2341.19	1465	11.870	1821.04	520.15	77.78	
60	222.80	222.58	223.20	5.67	5.62	5.53	5.61	940.59	897.59	818.25	2656.42	1459	13.832	2113.35	543.07	79.56	
70	222.14	222.92	222.84	6.07	5.97	6.05	6.03	1040.24	995.57	966.69	3002.51	1453	15.696	2388.27	614.24	79.54	
80	222.11	223.07	222.26	6.49	6.44	6.39	6.44	1149.13	1114.69	1063.01	3326.83	1446	17.462	2644.15	682.68	79.48	
90	224.20	222.55	223.18	7.06	6.78	6.75	6.86	1292.05	1196.28	1167.20	3655.53	1441	19.031	2871.86	783.67	78.56	
100	221.85	222.18	221.97	7.35	7.21	7.25	7.27	1361.66	1303.85	1281.29	3946.80	1434	20.699	3108.34	838.46	78.76	

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 6 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	223.73	224.38	224.24	3.69	3.77	4.23	3.90	199.33	140.58	61.17	401.08	1498	0.196	30.78	370.30	7.67	
10	223.26	223.34	223.21	4.02	3.87	4.09	3.99	343.01	295.55	214.88	853.44	1492	2.845	444.49	408.95	52.08	
20	223.88	223.22	223.19	4.28	4.12	4.34	4.25	503.91	405.96	333.12	1242.98	1485	5.199	808.54	434.44	65.05	
30	222.85	222.99	223.57	4.54	4.53	4.56	4.54	586.12	555.32	477.69	1619.13	1478	7.554	1169.13	450.00	72.21	
40	223.08	224.28	222.97	4.93	4.95	4.87	4.92	711.32	684.48	593.95	1989.75	1472	9.712	1497.06	492.69	75.24	
50	222.72	223.49	222.21	5.42	5.28	5.17	5.29	859.10	783.65	707.39	2350.14	1465	11.772	1805.99	544.15	76.85	
60	224.10	222.77	222.34	5.83	5.66	5.48	5.66	967.17	904.03	810.36	2681.56	1459	13.734	2098.36	583.20	78.25	
70	222.73	222.99	222.71	6.13	6.01	6.09	6.08	1047.83	996.18	968.62	3012.63	1454	15.500	2360.04	652.59	78.34	
80	223.71	223.22	222.77	6.63	6.35	6.42	6.47	1190.44	1081.75	1068.40	3340.58	1446	17.364	2629.29	711.29	78.71	
90	222.91	222.45	223.89	7.05	7.00	6.86	6.97	1292.68	1240.33	1160.34	3693.35	1440	18.933	2855.07	838.28	77.30	
100	222.09	222.57	222.06	7.50	7.45	7.13	7.36	1395.76	1341.04	1230.79	3967.59	1434	20.601	3093.61	873.98	77.97	

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 7 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	223.93	223.49	224.76	3.66	3.69	3.92	3.76	192.86	105.63	76.49	374.99	1499	0.098	15.40	359.59	4.11	
10	224.88	224.16	223.68	3.84	3.85	3.96	3.88	331.82	273.63	218.55	824.00	1491	2.845	444.19	379.81	53.91	
20	223.54	224.12	223.28	4.08	4.03	4.11	4.07	448.06	407.85	344.03	1199.94	1486	5.199	809.08	390.86	67.43	
30	222.69	223.49	223.15	4.44	4.33	4.47	4.41	597.81	519.68	478.26	1595.76	1480	7.456	1155.51	440.25	72.41	
40	225.08	224.10	223.37	4.87	4.81	4.74	4.81	730.85	667.44	594.55	1992.84	1475	9.712	1500.11	492.73	75.28	
50	224.31	224.22	223.36	5.31	5.10	5.13	5.18	841.43	774.33	726.74	2342.50	1470	11.870	1827.26	515.24	78.00	
60	223.83	222.50	222.67	5.67	5.41	5.51	5.53	965.77	863.60	834.80	2664.16	1463	13.538	2074.06	590.10	77.85	
70	222.62	223.27	223.31	6.05	5.97	5.83	5.95	1058.97	996.03	942.28	2997.28	1457	15.598	2379.87	617.41	79.40	
80	223.02	224.00	222.42	6.46	6.44	6.06	6.32	1152.84	1136.43	997.46	3286.74	1450	17.168	2606.77	679.97	79.31	
90	222.64	223.47	223.15	6.83	6.67	6.58	6.69	1253.73	1178.27	1145.86	3577.86	1444	18.737	2833.33	744.53	79.19	
100	222.36	222.04	220.93	7.11	7.07	6.82	7.00	1324.92	1277.06	1195.04	3797.02	1437	20.209	3041.03	755.99	80.09	

ตารางที่ ก.11 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 7 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.72	225.14	223.56	3.80	3.76	3.87	3.81	191.11	112.17	76.60	379.88	1499	0.196	30.80	349.08	8.11	
10	222.82	223.52	222.10	3.87	3.94	3.96	3.92	341.26	265.59	219.68	826.52	1493	2.845	444.79	381.73	53.81	
20	222.75	223.46	223.53	4.12	4.17	4.18	4.16	438.89	406.60	362.90	1208.39	1488	5.199	810.17	398.22	67.05	
30	222.95	223.73	223.32	4.49	4.49	4.45	4.48	590.09	516.60	480.96	1587.66	1482	7.259	1126.62	461.04	70.96	
40	223.87	224.06	223.91	4.93	4.73	4.73	4.80	751.27	661.38	572.84	1985.49	1477	9.712	1502.15	483.34	75.66	
50	223.41	224.49	223.39	5.27	5.19	5.09	5.18	834.16	777.28	715.32	2326.75	1471	11.576	1783.17	543.58	76.64	
60	224.71	222.48	223.22	5.77	5.43	5.46	5.56	959.93	859.08	818.54	2637.55	1465	13.538	2076.89	560.66	78.74	
70	221.92	223.12	223.01	6.05	6.06	5.91	6.00	1047.32	1004.64	936.48	2988.44	1459	15.402	2353.16	635.28	78.74	
80	223.83	222.82	222.56	6.53	6.28	6.30	6.37	1172.76	1082.71	1038.80	3294.28	1454	17.069	2599.03	695.25	78.90	
90	222.49	224.02	222.90	6.80	6.73	6.63	6.72	1247.42	1200.19	1123.81	3571.42	1448	18.443	2796.56	774.86	78.30	
100	223.78	223.28	221.94	7.27	7.00	6.78	7.01	1347.72	1258.91	1178.46	3785.10	1442	19.816	2992.36	792.74	79.06	

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 8 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.38	223.09	224.01	3.66	3.49	3.76	3.64	197.11	119.29	52.81	369.20	1499	0.196	30.80	338.40	8.34	
10	224.20	224.46	224.24	3.82	3.70	3.92	3.81	334.05	260.59	225.30	819.94	1491	2.747	428.88	391.06	52.31	
20	223.98	224.28	223.35	3.99	3.99	4.10	4.02	455.84	419.60	333.63	1209.07	1485	5.297	823.79	385.28	68.13	
30	223.63	224.16	224.13	4.38	4.26	4.38	4.34	586.35	530.71	472.41	1589.47	1478	7.652	1184.31	405.16	74.51	
40	223.05	222.56	223.62	4.74	4.64	4.68	4.69	708.24	649.74	587.51	1945.49	1472	9.810	1512.19	433.30	77.73	
50	223.79	222.66	222.23	5.20	5.06	4.96	5.07	828.14	794.96	683.42	2306.51	1466	11.674	1792.17	514.34	77.70	
60	222.74	222.89	222.40	5.55	5.41	5.44	5.46	930.53	877.04	824.40	2631.97	1460	13.538	2069.80	562.17	78.64	
70	223.54	222.89	222.61	5.95	5.77	5.78	5.83	1041.96	964.98	911.78	2918.72	1455	15.402	2346.71	572.01	80.40	
80	222.56	222.71	222.51	6.28	6.21	6.24	6.24	1122.31	1085.67	1037.40	3245.37	1450	17.462	2651.46	593.91	81.70	
90	222.13	222.34	221.86	6.72	6.58	6.57	6.63	1233.16	1181.45	1132.63	3547.24	1442	18.639	2814.60	732.64	79.35	
100	222.46	222.38	222.29	7.21	7.03	6.90	7.05	1342.04	1289.70	1223.17	3854.90	1437	20.209	3041.03	813.87	78.89	

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 8 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.15	225.08	223.66	3.64	3.57	3.85	3.69	176.13	160.22	53.34	389.70	1498	3.64	30.78	358.92	7.90	
10	226.04	224.33	224.40	3.88	3.65	3.94	3.82	368.63	241.22	200.73	810.58	1491	3.81	413.56	397.02	51.02	
20	223.94	223.93	225.01	4.08	3.98	4.14	4.06	484.12	392.85	330.33	1207.30	1484	4.02	807.99	399.31	66.93	
30	223.15	223.74	224.07	4.37	4.35	4.37	4.36	578.46	569.79	468.89	1617.14	1478	4.34	1169.13	448.01	72.30	
40	223.17	223.75	223.86	4.74	4.67	4.69	4.70	687.14	691.12	586.72	1964.98	1472	4.69	1497.06	467.92	76.19	
50	222.14	223.10	222.85	5.14	5.18	5.08	5.13	804.17	818.08	716.55	2338.80	1466	5.07	1792.17	546.63	76.63	
60	223.96	223.92	222.60	5.55	5.52	5.34	5.47	923.30	928.09	802.88	2654.27	1461	5.46	2086.23	568.04	78.60	
70	223.23	221.78	222.07	5.96	5.82	5.79	5.86	1026.45	997.97	913.96	2938.39	1454	5.83	2345.10	593.29	79.81	
80	222.34	222.15	222.53	6.47	6.19	6.22	6.29	1151.37	1092.06	1032.67	3276.10	1449	6.24	2604.98	671.12	79.51	
90	222.55	223.00	223.12	6.75	6.74	6.55	6.68	1225.53	1228.34	1128.45	3582.32	1442	6.63	2829.41	752.91	78.98	
100	223.51	223.85	223.20	7.40	7.25	6.85	7.17	1394.95	1322.16	1189.51	3906.61	1436	7.05	3068.42	838.19	78.54	

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 9 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.73	224.61	223.48	3.61	3.54	3.69	3.62	158.54	132.06	82.38	372.98	1498	0.196	30.78	342.20	8.25	
10	223.65	224.35	224.01	3.77	3.70	3.84	3.77	296.85	271.45	245.11	813.41	1492	2.845	444.49	368.92	54.65	
20	225.51	223.46	225.06	4.10	3.83	4.03	3.99	475.15	377.13	347.05	1199.33	1485	5.199	808.54	390.79	67.42	
30	223.36	223.75	222.31	4.32	4.26	4.23	4.27	555.07	541.61	481.39	1578.07	1478	7.652	1184.31	393.76	75.05	
40	222.79	222.49	223.24	4.73	4.62	4.65	4.67	696.45	663.83	600.56	1960.84	1472	9.712	1497.06	463.78	76.35	
50	222.28	221.85	222.86	5.09	4.99	5.06	5.05	806.73	774.60	737.78	2319.11	1466	11.870	1822.29	496.82	78.58	
60	223.16	223.48	223.23	5.49	5.43	5.50	5.47	913.06	901.11	863.33	2677.50	1460	13.930	2129.80	547.70	79.54	
70	223.37	221.34	221.96	6.06	5.79	5.71	5.85	1063.33	996.92	929.56	2989.81	1453	10.399	1582.23	1407.58	52.92	
80	223.20	222.48	223.42	6.49	6.30	6.17	6.32	1174.24	1113.65	1052.20	3340.09	1447	17.560	2660.84	679.25	79.66	
90	223.48	222.95	222.45	6.86	6.73	6.66	6.75	1259.83	1229.26	1160.97	3650.07	1441	19.130	2886.66	763.41	79.09	
100	222.31	221.26	221.20	7.24	7.09	6.89	7.07	1358.82	1310.75	1227.23	3896.80	1437	20.503	3085.32	811.48	79.18	

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 9 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.22	225.22	224.43	3.59	3.58	3.80	3.66	168.59	126.83	73.34	368.76	1499	0.098	15.40	353.36	4.18	
10	223.10	224.02	223.17	3.77	3.70	3.87	3.78	323.08	273.54	225.63	822.25	1492	2.747	429.16	393.09	52.19	
20	223.48	223.67	223.92	4.01	3.95	4.03	4.00	441.09	388.50	351.11	1180.70	1486	5.199	809.08	371.62	68.53	
30	223.69	223.44	223.79	4.31	4.29	4.26	4.28	560.67	542.71	473.93	1577.31	1479	7.554	1169.92	407.39	74.17	
40	222.06	222.71	223.41	4.58	4.71	4.70	4.66	660.71	677.96	621.98	1960.65	1472	9.614	1481.94	478.71	75.58	
50	224.76	222.88	223.06	5.29	4.91	5.00	5.07	873.39	739.84	704.33	2317.56	1466	11.674	1792.17	525.39	77.33	
60	223.45	222.24	221.65	5.59	5.40	5.38	5.46	933.59	878.26	830.54	2642.39	1461	13.832	2116.25	526.14	80.09	
70	223.15	221.45	223.09	6.04	5.77	5.83	5.88	1076.38	974.56	928.85	2979.79	1455	15.696	2391.55	588.24	80.26	
80	223.21	222.43	222.53	6.25	6.25	6.24	6.25	1113.84	1102.95	1059.10	3275.89	1449	17.364	2634.75	641.14	80.43	
90	223.14	222.66	221.67	6.79	6.65	6.54	6.66	1249.43	1203.67	1140.71	3593.81	1442	18.835	2844.22	749.59	79.14	
100	223.38	221.50	222.61	7.33	7.04	6.91	7.09	1391.65	1284.83	1221.67	3898.14	1436	20.405	3068.42	829.72	78.72	

ตารางที่ ก.16 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 10 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	223.99	224.11	224.94	3.60	3.56	3.77	3.64	169.22	104.68	96.27	370.17	1498	0.196	30.78	339.39	8.31	
10	224.92	225.11	224.83	3.77	3.64	3.88	3.76	317.96	247.42	243.69	809.08	1491	2.747	428.88	380.20	53.01	
20	224.66	225.12	224.54	4.07	3.95	3.94	3.99	446.95	400.33	345.69	1192.96	1486	5.199	809.08	383.88	67.82	
30	224.31	223.55	223.35	4.27	4.25	4.34	4.29	558.02	543.10	482.85	1583.96	1479	7.357	1139.53	444.43	71.94	
40	222.92	222.54	223.28	4.64	4.60	4.57	4.60	688.89	653.57	593.46	1935.92	1472	9.614	1481.94	453.98	76.55	
50	224.81	223.54	225.04	5.14	4.94	5.01	5.03	820.14	768.71	717.87	2306.72	1467	11.478	1763.25	543.47	76.44	
60	222.36	222.92	223.06	5.41	5.34	5.36	5.37	899.09	878.37	822.69	2600.16	1462	13.538	2072.64	527.52	79.71	
70	223.84	222.85	223.91	5.88	5.76	5.68	5.77	1020.68	980.68	918.22	2919.58	1456	15.107	2303.45	616.13	78.90	
80	224.01	222.61	221.89	6.37	6.25	5.91	6.18	1150.66	1114.97	977.12	3242.76	1450	16.971	2576.98	665.78	79.47	
90	223.60	222.22	223.90	6.74	6.31	6.65	6.57	1235.30	1154.20	1130.90	3520.41	1444	18.541	2803.67	716.74	79.64	
100	222.54	221.74	221.64	6.95	6.98	6.83	6.92	1282.88	1295.36	1182.03	3760.27	1438	20.012	3013.61	746.66	80.14	

ตารางที่ ก.17 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 10 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.51	224.35	225.21	3.56	3.58	3.83	3.66	209.59	112.53	56.57	378.69	1499	0.196	30.80	347.89	8.13	
10	224.02	222.19	222.35	3.86	3.66	3.83	3.78	335.20	250.27	217.78	803.25	1491	3.041	474.83	328.42	59.11	
20	226.71	225.24	223.35	4.30	3.97	3.88	4.05	506.45	375.83	338.66	1220.95	1484	5.199	807.99	412.96	66.18	
30	224.08	222.69	223.21	4.40	4.27	4.34	4.34	589.40	495.40	497.55	1582.35	1478	7.357	1138.76	443.59	71.97	
40	223.23	224.26	224.54	4.73	4.60	4.74	4.69	700.56	618.64	631.13	1950.32	1472	9.614	1481.94	468.38	75.98	
50	223.77	223.45	221.46	5.24	5.09	4.91	5.08	836.44	755.04	697.05	2288.52	1467	11.772	1808.46	480.06	79.02	
60	223.56	223.19	223.16	5.46	5.49	5.43	5.46	921.03	895.49	839.77	2656.29	1462	13.832	2117.70	538.59	79.72	
70	222.52	223.41	223.03	5.89	5.78	5.89	5.85	1023.13	970.24	954.29	2947.66	1457	15.500	2364.91	582.75	80.23	
80	222.80	223.38	223.64	6.34	6.20	6.22	6.25	1133.26	1076.74	1053.12	3263.12	1450	17.266	2621.67	641.45	80.34	
90	222.59	221.62	223.09	6.66	6.55	6.70	6.64	1214.69	1164.01	1161.53	3540.23	1445	18.835	2850.14	690.09	80.51	
100	225.59	224.48	223.28	7.12	7.10	6.56	6.93	1332.07	1314.23	1160.83	3807.13	1439	20.012	3015.70	791.43	79.21	

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 11 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	226.66	223.51	224.75	3.81	3.42	3.71	3.65	213.28	99.96	59.69	372.93	1499	0.196	30.80	342.13	8.26	
10	225.41	224.68	224.88	3.81	3.52	3.88	3.74	332.86	253.45	229.43	815.73	1492	2.649	413.84	401.89	50.73	
20	224.80	224.37	224.23	3.97	3.90	4.07	3.98	434.12	402.84	351.50	1188.46	1486	5.101	793.82	394.64	66.79	
30	224.83	225.15	224.10	4.31	4.26	4.29	4.29	562.26	546.80	475.26	1584.32	1479	7.259	1124.34	459.98	70.97	
40	223.82	223.59	222.97	4.71	4.60	4.61	4.64	694.60	664.56	585.13	1944.29	1473	9.614	1482.95	461.34	76.27	
50	223.81	223.58	223.76	5.17	4.94	5.03	5.05	827.86	764.82	717.38	2310.06	1466	11.674	1792.17	517.89	77.58	
60	224.33	223.47	223.18	5.64	5.30	5.34	5.43	954.24	874.02	830.54	2658.80	1460	13.734	2099.80	559.00	78.98	
70	223.61	222.29	222.80	5.90	5.84	5.78	5.84	1032.48	1005.35	942.00	2979.83	1455	15.598	2376.61	603.22	79.76	
80	222.91	223.27	222.48	6.32	6.29	6.21	6.27	1134.01	1124.52	1060.58	3319.11	1448	17.560	2662.68	656.43	80.22	
90	223.48	222.45	223.77	6.74	6.65	6.64	6.68	1248.84	1210.00	1165.80	3624.64	1443	19.130	2890.67	733.97	79.75	
100	222.99	223.68	224.25	7.03	6.91	7.06	7.00	1313.43	1271.49	1275.85	3860.76	1438	20.405	3072.70	788.06	79.59	

ตารางที่ ก.19 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 5HP)

Harmonic order : 11 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	222.29	223.75	224.76	3.42	3.52	3.93	3.62	164.78	110.27	88.26	363.31	1499	0.196	30.80	332.51	8.48	
10	225.13	224.12	223.02	3.86	3.68	3.75	3.76	348.92	284.07	196.33	829.32	1493	2.943	460.13	369.19	55.48	
20	222.92	222.93	223.12	4.04	4.00	4.01	4.01	455.17	416.83	333.67	1205.67	1486	5.199	809.08	396.59	67.11	
30	223.38	221.92	222.32	4.39	4.18	4.22	4.26	583.93	525.73	444.07	1553.73	1480	7.357	1140.30	413.43	73.39	
40	223.74	223.58	223.25	4.71	4.55	4.67	4.64	706.49	648.51	594.28	1949.28	1474	9.516	1468.81	480.47	75.35	
50	222.84	221.73	222.65	5.08	4.94	5.12	5.05	812.78	765.90	731.28	2309.96	1468	11.772	1809.69	500.27	78.34	
60	222.54	222.58	221.48	5.59	5.41	5.35	5.45	941.65	888.96	824.72	2655.33	1462	13.930	2132.72	522.61	80.32	
70	222.89	222.40	223.13	6.00	5.82	5.76	5.86	1047.69	1000.76	927.82	2976.27	1456	15.696	2393.20	583.07	80.41	
80	221.99	222.29	222.50	6.42	6.21	6.22	6.28	1157.30	1098.93	1052.45	3308.69	1449	17.658	2679.40	629.29	80.98	
90	222.76	223.00	223.53	6.79	6.73	6.67	6.73	1253.88	1220.55	1176.09	3650.52	1444	19.228	2907.51	743.01	79.65	
100	222.91	222.88	222.04	7.15	7.06	6.95	7.05	1344.60	1306.37	1239.17	3890.14	1439	20.601	3104.40	785.74	79.80	



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : fundamental sequence : - %VDF : -

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	219.93	219.81	219.14	2.30	2.29	2.35	2.31	110.80	103.80	1.79	216.40	1499	0.098	15.38	201.02	7.11	
10	219.79	220.25	220.21	2.42	2.45	2.43	2.44	222.84	218.29	120.44	561.57	1489	2.352	366.74	194.83	65.31	
20	220.30	219.56	219.64	2.70	2.63	2.55	2.62	329.25	307.00	205.64	841.90	1481	3.920	607.95	233.95	72.21	
30	221.02	220.18	220.04	2.99	2.92	2.75	2.89	426.74	415.49	298.25	1140.48	1473	5.488	846.54	293.94	74.23	
40	220.48	219.80	219.65	3.27	3.21	3.02	3.17	519.10	500.66	396.17	1415.93	1464	7.252	1111.80	304.13	78.52	
50	219.90	219.22	219.29	3.61	3.54	3.34	3.49	609.92	592.12	492.95	1695.00	1455	8.820	1343.88	351.12	79.29	
60	219.46	219.62	219.71	3.87	3.91	3.69	3.82	684.22	688.42	589.45	1962.09	1447	10.388	1574.09	388.00	80.23	
70	219.53	219.76	219.52	4.24	4.30	4.01	4.18	769.85	783.48	674.22	2227.55	1437	11.760	1769.67	457.88	79.44	
80	219.44	219.61	218.88	4.59	4.68	4.31	4.53	852.96	875.99	750.78	2479.73	1428	13.132	1963.76	515.97	79.19	
90	219.72	219.06	219.62	5.00	4.95	4.73	4.89	948.35	937.39	848.09	2733.83	1419	14.308	2126.13	607.70	77.77	
100	219.42	218.87	219.26	5.34	5.29	5.07	5.23	1026.30	1011.72	933.25	2971.26	1408	15.484	2283.04	688.22	76.84	

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 3 sequence : positve %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.73	223.77	225.40	3.19	2.56	3.01	2.92	181.11	67.93	71.13	320.17	1498	0.098	15.39	304.78	4.81	
10	223.96	223.03	224.16	2.87	2.68	3.32	2.95	228.72	203.67	217.15	649.54	1487	2.256	351.35	298.19	54.09	
20	225.39	224.59	224.25	2.80	3.34	3.31	3.15	295.12	380.27	270.26	945.65	1480	4.120	638.57	307.08	67.53	
30	224.47	223.89	223.21	3.51	3.06	3.53	3.37	439.80	384.98	399.81	1224.59	1469	5.788	890.37	334.22	72.71	
40	224.86	224.03	223.00	3.63	3.49	3.87	3.67	506.10	510.82	504.54	1521.46	1460	7.456	1139.89	381.57	74.92	
50	224.05	222.95	223.69	3.61	4.35	4.00	3.99	570.44	691.59	533.37	1795.40	1450	9.025	1370.42	424.98	76.33	
60	224.50	223.62	223.85	3.96	4.65	4.41	4.34	660.07	785.60	654.91	2100.59	1441	10.497	1583.96	516.63	75.41	
70	223.63	223.75	223.38	5.13	4.45	4.45	4.68	888.72	742.13	742.49	2373.35	1430	11.870	1777.54	595.81	74.90	
80	222.73	222.39	223.55	4.60	5.38	5.04	5.01	822.59	978.83	835.10	2636.51	1418	13.244	1966.56	669.95	74.59	
90	222.54	222.39	223.02	5.60	5.57	4.76	5.31	1055.31	995.44	817.20	2867.95	1402	14.421	2117.20	750.75	73.82	
100	222.60	222.38	222.04	5.57	5.58	5.96	5.70	1020.33	1046.04	1082.84	3149.21	1396	15.696	2294.58	854.63	72.86	

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 3 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.37	223.80	224.69	3.04	2.64	3.28	2.99	163.50	100.93	59.28	323.72	1498	0.098	15.39	308.33	4.75	
10	224.90	223.29	224.74	2.81	3.00	3.33	3.05	242.30	225.46	201.06	668.82	1489	2.256	351.82	317.00	52.60	
20	223.35	224.05	224.34	3.39	2.90	3.23	3.17	367.62	312.78	245.95	926.36	1481	4.022	623.79	302.57	67.34	
30	224.34	223.84	223.87	3.24	3.66	3.43	3.44	410.87	443.32	371.04	1225.23	1472	5.592	861.95	363.28	70.35	
40	223.55	224.51	224.43	3.93	3.97	3.37	3.76	539.51	573.47	420.59	1533.56	1462	7.161	1096.40	437.16	71.49	
50	223.50	223.03	223.73	4.07	3.79	4.22	4.03	638.70	577.76	579.25	1795.70	1454	8.633	1314.45	481.25	73.20	
60	223.79	223.27	223.99	4.69	4.44	3.99	4.37	752.17	725.22	596.80	2074.19	1444	10.301	1557.59	516.60	75.09	
70	224.62	222.93	223.30	4.91	4.44	4.77	4.71	848.75	745.81	740.45	2335.00	1434	11.772	1767.78	567.22	75.71	
80	223.71	223.18	223.52	4.91	5.05	5.22	5.06	869.88	876.30	871.55	2617.73	1424	13.145	1960.25	657.48	74.88	
90	223.42	222.71	222.32	5.76	5.16	5.30	5.41	1050.42	932.68	903.81	2886.92	1412	14.519	2146.81	740.11	74.36	
100	223.22	222.98	223.41	6.03	5.58	5.50	5.70	1104.90	1027.90	964.27	3097.07	1399	15.500	2270.76	826.31	73.32	

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 4 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.14	223.97	224.22	2.57	2.61	2.71	2.63	129.57	100.69	33.39	263.65	1497	0.196	30.76	232.89	11.67	
10	223.80	223.39	223.45	2.73	2.61	2.68	2.67	226.57	234.83	133.57	594.97	1489	2.158	336.52	258.45	56.56	
20	224.21	223.36	223.78	2.94	2.85	2.85	2.88	327.79	328.20	228.19	884.18	1480	4.120	638.57	245.61	72.22	
30	222.96	222.25	224.08	3.17	3.09	3.11	3.13	416.44	409.83	340.81	1167.08	1470	5.788	890.98	276.10	76.34	
40	223.57	223.14	222.84	3.46	3.52	3.32	3.43	508.21	532.56	422.61	1463.39	1460	7.456	1139.89	323.50	77.89	
50	222.93	223.97	223.90	3.75	3.88	3.69	3.77	587.22	633.56	532.93	1753.72	1452	9.025	1372.31	381.41	78.25	
60	223.54	222.85	222.68	4.15	4.18	3.91	4.08	699.13	713.60	598.74	2011.46	1443	10.584	1598.54	412.92	79.47	
70	223.74	222.63	222.79	4.54	4.45	4.24	4.41	796.56	789.26	698.87	2284.70	1433	11.968	1795.99	488.71	78.61	
80	223.57	222.93	223.32	4.92	4.82	4.60	4.78	893.22	878.23	789.18	2560.63	1423	13.145	1958.88	601.75	76.50	
90	222.69	222.42	222.71	5.18	5.18	4.95	5.10	961.56	968.76	875.30	2805.61	1413	14.504	2145.05	660.56	76.46	
100	222.54	222.73	223.13	5.55	5.54	5.32	5.47	1043.67	1052.58	965.19	3061.43	1403	15.696	2306.08	755.35	75.33	

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 4 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	223.03	223.12	223.95	2.58	2.54	2.69	2.60	105.39	122.18	28.81	256.38	1499	0.294	46.20	210.18	18.02	
10	224.47	223.19	223.66	2.76	2.70	2.67	2.71	235.39	232.70	146.25	614.34	1489	2.256	351.82	262.52	57.27	
20	224.23	222.80	222.63	2.99	2.92	2.82	2.91	327.02	329.98	235.20	892.20	1481	3.924	608.57	283.63	68.21	
30	224.39	222.44	222.43	3.28	3.21	3.03	3.17	426.50	429.86	325.99	1182.35	1472	5.690	877.07	305.28	74.18	
40	224.52	222.82	223.43	3.56	3.45	3.35	3.45	520.18	515.33	429.84	1465.35	1464	7.259	1112.94	352.41	75.95	
50	223.93	222.19	223.18	3.91	3.81	3.64	3.79	614.68	606.76	519.00	1740.43	1454	9.025	1374.20	366.23	78.96	
60	224.18	222.82	222.98	4.23	4.13	3.97	4.11	708.73	696.40	620.08	2025.21	1446	10.399	1574.60	450.61	77.75	
70	224.51	223.12	223.20	4.59	4.52	4.31	4.47	796.89	793.01	702.06	2291.96	1437	11.968	1801.00	490.96	78.58	
80	223.81	222.81	222.66	4.88	4.93	4.63	4.82	870.55	898.84	782.14	2551.52	1427	13.244	1979.04	572.48	77.56	
90	223.63	222.65	223.33	5.30	5.28	5.00	5.19	975.25	978.40	874.05	2827.70	1416	14.421	2138.35	689.35	75.62	
100	224.06	223.41	222.96	5.65	5.60	5.30	5.51	1061.86	1060.56	954.46	3076.88	1405	15.696	2309.37	767.51	75.06	

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 5 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	226.19	224.70	226.78	2.51	2.56	2.71	2.59	127.82	107.43	22.62	257.86	1498	0.196	30.78	227.08	11.94	
10	225.65	223.99	225.01	2.66	2.65	2.74	2.68	248.00	212.79	135.89	596.68	1488	2.158	336.30	260.38	56.36	
20	224.48	224.03	224.88	2.98	2.81	2.78	2.85	353.31	295.16	228.90	877.36	1481	4.022	623.79	253.57	71.10	
30	225.82	224.91	224.74	3.30	3.08	3.07	3.15	460.82	404.34	332.61	1197.77	1472	5.690	877.07	320.70	73.23	
40	226.12	224.32	224.30	3.57	3.41	3.33	3.43	557.92	496.25	418.70	1472.87	1464	7.456	1143.02	329.85	77.60	
50	224.60	224.65	225.12	4.00	3.75	3.70	3.82	655.24	600.71	541.72	1797.66	1455	9.025	1375.14	422.52	76.50	
60	226.14	225.59	224.10	4.30	4.19	3.96	4.15	748.17	712.15	608.32	2068.65	1445	10.497	1588.36	480.29	76.78	
70	224.18	223.52	223.43	4.54	4.33	4.37	4.41	812.72	754.27	711.16	2278.14	1436	11.968	1799.75	478.39	79.00	
80	224.42	224.49	225.05	4.90	4.87	4.62	4.80	906.34	865.90	801.23	2573.47	1426	13.145	1963.01	610.46	76.28	
90	222.99	224.09	222.53	5.18	5.20	5.01	5.13	970.48	953.77	884.01	2808.25	1416	14.519	2152.89	655.36	76.66	
100	223.20	223.09	224.07	5.71	5.43	5.31	5.49	1088.47	1014.24	968.87	3071.58	1406	15.794	2325.46	746.12	75.71	

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 5 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.81	222.01	223.78	2.54	2.34	2.54	2.47	112.31	51.45	75.38	239.14	1499	0.196	30.80	246.01	11.13	
10	225.10	225.92	224.99	2.56	2.60	2.62	2.59	252.70	210.10	163.52	626.33	1489	2.354	367.12	259.21	58.61	
20	223.84	223.71	222.93	2.86	2.81	2.75	2.81	348.05	297.99	236.39	882.44	1480	4.120	638.57	243.87	72.36	
30	224.53	223.08	225.56	3.14	3.02	2.99	3.05	437.72	389.37	337.96	1165.05	1472	5.788	892.19	272.86	76.58	
40	223.63	223.69	225.60	3.38	3.35	3.31	3.35	530.95	501.78	457.27	1490.00	1462	7.554	1156.47	333.53	77.62	
50	224.00	224.55	223.51	3.90	3.74	3.59	3.74	651.77	588.48	528.23	1768.49	1454	9.025	1374.20	394.29	77.70	
60	223.27	223.54	224.81	4.19	4.11	3.96	4.08	731.72	697.97	637.20	2066.89	1444	10.595	1602.09	464.80	77.51	
70	223.56	222.73	224.75	4.56	4.45	4.33	4.44	826.29	785.93	737.34	2349.56	1434	12.164	1826.70	522.86	77.75	
80	223.56	224.19	224.87	4.92	4.75	4.61	4.76	916.75	863.79	811.98	2592.52	1424	13.440	2004.14	588.38	77.30	
90	225.33	222.61	223.29	5.33	5.08	4.99	5.13	1004.93	931.80	892.49	2829.22	1413	14.617	2162.85	666.37	76.45	
100	225.42	222.53	225.04	5.71	5.46	5.42	5.53	1104.26	1024.53	1003.73	3132.53	1401	15.990	2345.97	786.56	74.89	

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 6 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	221.92	222.10	221.34	2.41	2.30	2.44	2.38	105.85	71.24	57.28	234.37	1498	0.196	30.78	203.59	13.13	
10	225.10	225.22	226.02	2.59	2.57	2.60	2.59	237.62	204.23	158.39	600.24	1488	2.354	366.87	233.37	61.12	
20	224.31	223.22	224.87	2.81	2.74	2.72	2.76	330.42	296.55	246.10	873.06	1479	3.924	607.75	265.31	69.61	
30	224.79	224.14	224.01	3.11	3.04	2.98	3.05	435.26	408.46	345.77	1189.49	1470	5.886	906.08	283.41	76.17	
40	225.29	224.34	225.35	3.44	3.36	3.23	3.35	534.36	496.30	439.26	1469.91	1461	7.652	1170.69	299.22	79.64	
50	225.04	223.03	223.79	3.81	3.69	3.56	3.68	634.74	593.67	533.48	1761.89	1451	9.123	1386.27	375.62	78.68	
60	224.93	224.27	223.42	4.12	4.07	3.86	4.01	713.76	692.84	615.25	2021.85	1442	10.693	1614.69	407.16	79.86	
70	225.31	223.71	224.03	4.53	4.44	4.19	4.39	819.82	781.20	702.37	2303.39	1431	12.066	1808.18	495.21	78.50	
80	224.26	223.53	223.22	4.87	4.75	4.60	4.74	900.69	869.42	804.80	2574.91	1421	13.538	2014.51	560.40	78.24	
90	224.83	222.90	223.49	5.28	5.09	4.95	5.11	999.69	943.10	886.14	2828.92	1410	14.911	2201.71	627.21	77.83	
100	223.63	222.63	222.82	5.64	5.57	5.35	5.52	1083.73	1049.46	985.40	3118.59	1398	16.088	2355.31	763.28	75.52	

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 6 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.49	224.04	225.14	2.41	2.40	2.54	2.45	130.77	83.31	25.08	239.16	1498	0.196	30.78	208.38	12.87	
10	224.20	222.99	224.03	2.58	2.56	2.57	2.57	255.15	204.54	151.26	610.96	1488	2.354	366.87	244.09	60.05	
20	224.41	224.30	223.68	2.87	2.78	2.72	2.79	352.59	298.27	243.08	893.94	1479	4.120	638.14	255.80	71.38	
30	224.33	225.07	224.39	3.15	3.10	3.00	3.08	450.02	403.13	342.83	1195.98	1470	5.788	890.98	305.00	74.50	
40	224.18	223.91	223.75	3.49	3.35	3.27	3.37	549.95	489.42	436.23	1475.60	1461	7.554	1155.68	319.92	78.32	
50	223.88	223.99	224.45	3.83	3.74	3.58	3.72	643.05	603.78	537.71	1784.54	1452	9.025	1372.31	412.23	76.90	
60	224.92	223.78	223.09	4.19	4.05	3.86	4.03	735.48	681.27	615.01	2031.76	1442	10.595	1599.88	431.88	78.74	
70	224.01	223.58	222.74	4.58	4.42	4.22	4.41	827.50	776.62	706.44	2310.56	1432	12.066	1809.45	501.11	78.31	
80	224.24	224.35	222.94	4.94	4.80	4.54	4.76	923.91	868.35	787.76	2580.01	1421	13.244	1970.72	609.29	76.38	
90	224.24	224.29	224.16	5.27	5.22	4.94	5.14	1004.90	974.50	889.63	2869.04	1410	14.617	2158.25	710.79	75.23	
100	224.83	223.82	223.73	5.66	5.58	5.34	5.53	1089.89	1052.47	978.25	3120.61	1399	15.990	2342.62	777.99	75.07	

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 7 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	223.18	222.07	222.95	2.34	2.29	2.46	2.36	107.00	98.78	28.65	234.43	1499	0.294	46.20	188.23	19.71	
10	225.74	224.66	224.76	2.58	2.56	2.50	2.55	234.58	223.61	133.18	591.36	1487	2.551	397.17	194.19	67.16	
20	223.19	223.08	223.85	2.76	2.69	2.67	2.71	321.54	307.18	239.53	868.25	1479	4.120	638.14	230.11	73.50	
30	223.94	224.13	224.44	3.01	3.01	2.98	3.00	412.86	416.80	344.43	1174.09	1471	5.886	906.69	267.40	77.23	
40	222.94	222.67	222.59	3.32	3.33	3.20	3.28	511.59	514.02	430.32	1455.92	1462	7.357	1126.43	329.49	77.37	
50	223.69	223.49	223.10	3.69	3.66	3.53	3.63	606.55	606.07	526.20	1738.82	1452	9.025	1372.31	366.51	78.92	
60	224.01	222.64	223.51	4.06	4.04	3.85	3.98	714.83	700.68	614.30	2029.81	1442	10.693	1614.69	415.12	79.55	
70	224.46	223.29	223.98	4.44	4.42	4.19	4.35	805.94	790.54	703.92	2300.40	1432	12.066	1809.45	490.95	78.66	
80	222.90	222.24	222.78	4.63	4.65	4.38	4.55	850.17	842.70	754.06	2446.93	1424	13.047	1945.62	501.31	79.51	
90	223.89	223.60	222.94	5.05	5.06	4.83	4.98	948.82	950.90	860.25	2759.97	1413	14.225	2104.78	655.19	76.26	
100	223.13	222.93	224.19	5.43	5.29	5.25	5.32	1033.99	1005.51	966.85	3006.35	1403	15.696	2306.08	700.27	76.71	

ตารางที่ ข.11 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 7 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.51	223.56	225.28	2.48	2.40	2.54	2.47	109.57	105.08	25.74	240.39	1498	0.196	30.78	209.61	12.80	
10	224.89	223.68	224.61	2.53	2.46	2.59	2.53	225.68	199.24	155.89	580.81	1490	2.453	382.67	198.14	65.89	
20	225.07	223.73	224.75	2.76	2.74	2.74	2.75	320.81	311.82	245.71	878.35	1481	4.120	639.00	239.35	72.75	
30	224.28	223.06	224.38	3.02	3.01	2.95	2.99	411.05	408.59	332.85	1152.49	1473	5.788	892.80	259.69	77.47	
40	224.20	223.74	223.61	3.33	3.36	3.22	3.30	505.80	515.80	429.28	1450.88	1465	7.259	1113.70	337.18	76.76	
50	224.37	225.76	223.65	3.62	3.83	3.46	3.64	598.46	631.62	509.96	1740.03	1456	9.025	1376.09	363.94	79.08	
60	223.44	223.74	224.76	3.93	4.09	3.86	3.96	679.86	703.68	614.18	1997.72	1446	10.497	1589.46	408.26	79.56	
70	221.14	222.24	222.38	4.39	4.40	4.21	4.33	778.47	781.74	707.26	2267.47	1436	11.870	1785.00	482.47	78.72	
80	222.95	223.12	222.69	4.63	4.64	4.42	4.56	837.72	843.74	761.24	2442.71	1429	12.753	1908.42	534.29	78.13	
90	222.64	222.53	224.12	4.93	5.06	4.85	4.95	919.24	944.21	867.97	2731.43	1419	14.225	2113.72	617.71	77.39	
100	222.16	222.73	223.15	5.38	5.39	5.18	5.32	1013.23	1017.22	946.33	2976.77	1407	15.696	2312.66	664.11	77.69	

ตารางที่ ข.12 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 8 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	223.51	223.91	224.77	2.32	2.31	2.41	2.35	104.99	93.37	33.83	232.20	1498	0.196	30.78	201.42	13.25	
10	223.83	223.62	224.47	2.49	2.51	2.45	2.48	227.85	221.32	138.04	587.20	1486	2.354	366.38	220.82	62.39	
20	223.49	223.25	223.30	2.71	2.66	2.64	2.67	319.89	306.71	234.34	860.93	1478	4.022	622.52	238.41	72.31	
30	223.12	225.05	224.54	2.89	3.05	2.94	2.96	400.40	422.09	340.91	1163.39	1470	5.788	890.98	272.41	76.58	
40	223.50	223.64	223.69	3.36	3.31	3.15	3.27	520.52	507.01	430.50	1458.02	1460	7.456	1139.89	318.13	78.18	
50	224.67	223.57	223.54	3.69	3.67	3.46	3.60	621.31	609.77	519.34	1750.42	1451	9.123	1386.27	364.15	79.20	
60	224.12	223.76	223.75	3.97	4.09	3.81	3.96	695.68	710.31	611.44	2017.43	1443	10.595	1600.99	416.44	79.36	
70	224.27	222.68	221.91	4.49	4.35	4.07	4.30	812.25	785.07	688.09	2285.40	1432	12.066	1809.45	475.95	79.17	
80	223.89	221.92	222.59	4.81	4.74	4.47	4.67	889.49	873.03	784.58	2547.11	1422	13.440	2001.32	545.79	78.57	
90	224.66	223.63	223.93	5.15	5.12	4.86	5.04	981.66	963.43	882.80	2827.89	1411	14.617	2159.79	668.10	76.37	
100	223.19	223.13	223.46	5.49	5.42	5.28	5.40	1050.31	1031.95	978.70	3060.97	1399	16.186	2371.37	689.60	77.47	

ตารางที่ ข.13 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 8 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.39	225.15	224.02	2.38	2.39	2.43	2.40	106.44	104.95	22.03	233.43	1498	0.196	30.78	201.42	13.25	
10	223.82	222.46	224.42	2.53	2.47	2.54	2.51	231.88	210.10	150.94	592.92	1488	2.354	366.87	220.33	62.48	
20	223.44	224.77	224.33	2.70	2.74	2.64	2.69	313.01	316.40	243.43	872.84	1481	4.022	623.79	237.14	72.46	
30	223.57	222.85	224.15	3.01	3.01	2.93	2.98	420.70	411.97	339.53	1172.20	1472	5.690	877.07	286.32	75.39	
40	222.65	223.40	223.92	3.31	3.32	3.21	3.28	509.41	505.15	431.91	1446.47	1462	7.357	1126.43	331.59	77.26	
50	223.87	223.30	224.07	3.62	3.69	3.51	3.61	591.89	604.59	530.27	1726.74	1453	8.927	1358.33	392.09	77.60	
60	223.11	223.08	222.62	4.01	4.03	3.84	3.96	691.91	694.70	616.31	2002.92	1444	10.595	1602.09	415.34	79.41	
70	221.90	222.10	223.18	4.35	4.42	4.21	4.33	781.21	793.18	712.92	2287.31	1435	11.968	1798.49	486.91	78.69	
80	224.38	222.77	223.88	4.78	4.68	4.57	4.68	884.76	860.74	806.50	2551.99	1425	13.440	2005.55	541.56	78.74	
90	225.16	223.24	224.19	5.21	5.05	4.90	5.05	984.42	945.41	885.43	2815.26	1411	14.715	2174.28	653.61	76.89	
100	223.45	223.40	222.34	5.56	5.50	5.27	5.45	1062.22	1044.00	969.42	3075.64	1400	15.990	2344.30	716.67	76.59	

ตารางที่ ข.14 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 9 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.64	222.39	224.33	2.40	2.27	2.45	2.37	115.71	99.98	16.88	232.57	1499	0.196	30.80	201.77	13.24	
10	223.06	222.38	223.68	2.52	2.44	2.47	2.48	227.40	216.42	131.25	575.07	1489	2.256	351.82	223.25	61.18	
20	223.27	221.84	223.27	2.71	2.68	2.65	2.68	318.43	317.74	224.88	861.04	1480	4.120	638.57	222.47	74.16	
30	223.02	222.53	224.06	3.01	2.92	2.90	2.95	420.74	407.97	325.61	1154.32	1471	5.690	876.47	277.85	75.93	
40	222.91	222.24	222.66	3.29	3.24	3.16	3.23	508.30	509.31	418.72	1436.33	1463	7.357	1127.20	309.13	78.48	
50	223.60	222.69	223.59	3.67	3.68	3.42	3.59	610.78	615.85	504.82	1731.46	1454	9.123	1389.14	342.32	80.23	
60	222.89	221.19	221.95	3.98	3.95	3.77	3.90	696.46	693.18	600.10	1989.74	1446	10.399	1574.60	415.14	79.14	
70	222.96	223.04	222.32	4.37	4.38	4.13	4.29	783.66	798.22	701.06	2282.95	1435	11.968	1798.49	484.46	78.78	
80	223.15	222.94	222.65	4.65	4.79	4.47	4.64	855.83	892.16	780.66	2528.65	1426	13.440	2006.95	521.70	79.37	
90	223.17	222.29	223.69	5.09	5.10	4.87	5.02	956.52	961.03	880.76	2798.31	1415	14.715	2180.44	617.87	77.92	
100	223.90	222.57	222.61	5.54	5.43	5.27	5.41	1055.56	1044.57	972.42	3072.55	1402	15.990	2347.65	724.90	76.41	

ตารางที่ ข.15 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 9 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	223.92	224.10	224.35	2.36	2.31	2.46	2.38	106.11	91.94	32.94	230.99	1498	0.196	30.78	200.21	13.32	
10	224.38	224.13	225.38	2.51	2.41	2.50	2.47	222.79	204.60	153.37	580.76	1488	2.256	351.58	229.18	60.54	
20	224.04	225.03	224.38	2.71	2.75	2.56	2.67	314.93	320.27	234.28	869.48	1479	4.120	638.14	231.34	73.39	
30	222.95	224.30	224.33	2.97	3.03	2.87	2.96	415.97	425.39	338.46	1179.82	1470	5.788	890.98	288.84	75.52	
40	223.85	223.57	222.91	3.29	3.32	3.15	3.25	505.77	514.38	429.04	1449.19	1461	7.456	1140.67	308.52	78.71	
50	222.83	224.06	223.27	3.61	3.69	3.44	3.58	601.67	615.95	523.38	1740.99	1452	9.123	1387.22	353.77	79.68	
60	223.55	223.29	224.14	3.95	3.99	3.80	3.92	690.34	699.00	624.64	2013.98	1443	10.399	1571.34	442.64	78.02	
70	223.36	223.40	223.41	4.36	4.44	4.11	4.30	788.89	811.16	709.15	2309.20	1432	11.968	1794.73	514.47	77.72	
80	223.06	223.27	222.90	4.77	4.71	4.49	4.66	886.22	875.53	802.86	2564.62	1422	13.440	2001.32	563.30	78.04	
90	223.52	223.30	222.78	5.17	5.08	4.84	5.03	977.21	963.18	885.58	2825.97	1411	14.813	2188.78	637.19	77.45	
100	221.61	220.30	222.21	5.48	5.38	5.27	5.37	1038.68	1017.42	971.23	3027.33	1399	16.088	2357.00	670.33	77.86	

ตารางที่ ข.16 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 10 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	226.59	225.73	226.11	2.38	2.38	2.38	2.38	118.34	102.27	18.04	238.65	1498	0.196	30.78	207.87	12.90	
10	224.32	224.13	224.82	2.51	2.40	2.46	2.46	232.57	199.94	145.35	577.86	1487	2.354	366.62	211.24	63.44	
20	223.38	223.51	224.21	2.69	2.66	2.59	2.65	323.93	302.43	234.81	861.18	1479	4.120	638.14	223.04	74.10	
30	223.97	223.62	224.25	3.02	2.93	2.83	2.93	421.88	406.11	339.60	1167.60	1469	5.788	890.37	277.23	76.26	
40	224.46	224.26	224.37	3.34	3.25	3.11	3.23	521.78	504.48	429.94	1456.19	1460	7.456	1139.89	316.30	78.28	
50	221.05	221.68	220.02	3.60	3.59	3.37	3.52	587.71	591.66	511.69	1691.07	1451	9.025	1371.36	319.71	81.09	
60	222.30	221.75	223.01	3.97	3.88	3.79	3.88	690.75	667.96	619.15	1977.87	1441	10.595	1598.77	379.10	80.83	
70	224.97	223.33	223.76	4.39	4.33	4.12	4.28	806.72	783.24	707.30	2297.26	1432	12.164	1824.16	473.10	79.41	
80	224.13	222.61	222.69	4.75	4.69	4.51	4.65	885.64	871.49	798.62	2555.75	1421	13.538	2014.51	541.24	78.82	
90	224.16	223.62	224.28	5.13	5.13	4.88	5.05	974.88	965.08	891.06	2831.02	1410	14.911	2201.71	629.31	77.77	
100	223.86	224.12	223.63	5.49	5.48	5.29	5.42	1049.69	1055.41	985.86	3090.97	1397	16.186	2367.98	722.99	76.61	

ตารางที่ ข.17 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 10 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	223.01	224.62	222.73	2.35	2.33	2.34	2.34	107.88	101.24	28.36	237.48	1498	0.196	30.78	206.70	12.96	
10	224.48	223.64	223.94	2.52	2.49	2.38	2.46	223.22	218.61	140.39	582.22	1488	2.354	366.87	215.35	63.01	
20	225.13	224.25	225.55	2.68	2.68	2.62	2.66	308.98	319.95	249.39	878.32	1479	4.022	622.94	255.38	70.92	
30	223.96	223.58	225.01	2.99	2.96	2.89	2.95	420.03	409.09	345.09	1174.21	1469	5.788	890.37	283.84	75.83	
40	224.66	223.31	223.90	3.27	3.24	3.15	3.22	504.08	500.51	431.47	1436.06	1461	7.357	1125.66	310.40	78.39	
50	224.27	224.58	225.33	3.62	3.63	3.47	3.57	600.38	600.42	524.07	1724.86	1451	9.123	1386.27	338.59	80.37	
60	224.97	224.15	225.25	3.98	3.98	3.82	3.93	699.44	694.59	625.05	2019.08	1442	10.595	1599.88	419.20	79.24	
70	223.99	224.12	222.92	4.37	4.36	4.13	4.29	791.84	788.61	704.10	2284.55	1432	12.164	1824.16	460.39	79.85	
80	224.27	224.66	225.15	4.75	4.69	4.56	4.67	881.44	872.91	816.52	2570.87	1422	13.538	2015.93	554.94	78.41	
90	223.74	223.30	223.61	5.22	5.10	4.88	5.07	990.98	960.38	893.99	2845.34	1411	14.911	2203.27	642.07	77.43	
100	225.08	223.03	224.43	5.57	5.42	5.28	5.42	1075.65	1033.11	983.45	3092.21	1398	16.186	2369.67	722.54	76.63	

ตารางที่ ข.18 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 11 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	226.01	224.19	225.05	2.34	2.27	2.40	2.34	102.73	106.92	17.45	227.11	1498	0.196	30.78	196.33	13.55	
10	224.68	223.57	225.22	2.48	2.44	2.45	2.46	222.37	216.45	135.54	574.35	1486	2.354	366.38	207.97	63.79	
20	224.21	223.96	223.85	2.67	2.66	2.62	2.65	310.11	319.06	235.03	864.20	1478	4.218	652.89	211.31	75.55	
30	224.33	224.64	225.67	2.92	3.03	2.87	2.94	399.29	437.50	341.17	1177.96	1469	5.788	890.37	287.59	75.59	
40	224.01	222.93	224.57	3.29	3.24	3.14	3.23	505.80	516.96	429.53	1452.29	1462	7.357	1126.43	325.86	77.56	
50	225.44	223.75	225.23	3.68	3.60	3.47	3.58	614.02	607.66	521.54	1743.22	1451	9.025	1371.36	371.86	78.67	
60	224.37	222.48	223.81	4.03	3.96	3.76	3.92	707.12	697.62	608.87	2013.60	1441	10.595	1598.77	414.83	79.40	
70	224.24	222.92	222.63	4.36	4.34	4.09	4.26	783.74	799.27	688.40	2271.41	1431	11.968	1793.48	477.93	78.96	
80	223.64	222.73	223.44	4.65	4.75	4.50	4.63	859.15	890.46	790.00	2539.62	1422	13.342	1986.72	552.90	78.23	
90	223.72	223.66	224.24	5.11	5.10	4.88	5.03	959.59	974.25	886.92	2820.75	1412	14.813	2190.33	630.42	77.65	
100	223.24	222.63	224.54	5.44	5.42	5.31	5.39	1042.98	1033.23	992.84	3069.06	1400	15.990	2344.30	724.76	76.38	

ตารางที่ ข.19 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 3HP)

Harmonic order : 11 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	225.99	225.21	225.78	2.36	2.36	2.38	2.37	107.61	108.32	18.82	234.74	1498	0.196	30.78	203.96	13.11	2.34
10	225.63	224.53	224.89	2.51	2.45	2.48	2.48	234.83	208.02	145.81	588.65	1489	2.453	382.41	206.24	64.96	2.46
20	223.35	223.90	224.40	2.71	2.67	2.66	2.68	321.63	303.31	237.86	862.80	1481	4.022	623.79	239.01	72.30	2.65
30	224.23	225.11	224.54	2.98	2.98	2.86	2.94	417.34	416.05	335.82	1169.21	1471	5.690	876.47	292.74	74.96	2.94
40	225.27	224.27	224.63	3.29	3.34	3.13	3.26	502.42	530.49	430.40	1463.32	1464	7.161	1097.90	365.42	75.03	3.23
50	223.25	222.87	223.93	3.61	3.65	3.48	3.58	592.21	609.87	525.69	1727.77	1454	9.025	1374.20	353.57	79.54	3.58
60	223.71	223.33	222.97	3.97	3.96	3.81	3.91	686.44	694.41	617.59	1998.43	1445	10.399	1573.52	424.91	78.74	3.92
70	222.22	222.05	223.34	4.32	4.35	4.19	4.29	770.32	784.00	716.56	2270.89	1436	11.968	1799.75	471.14	79.25	4.26
80	223.04	223.94	222.82	4.68	4.77	4.50	4.65	854.87	886.14	795.93	2536.93	1427	13.244	1979.04	557.89	78.01	4.63
90	222.74	223.83	224.10	5.01	5.10	4.88	4.99	936.32	960.69	887.79	2784.79	1414	14.519	2149.85	634.94	77.20	5.03
100	223.50	223.96	224.86	5.37	5.45	5.23	5.35	1021.47	1042.50	974.44	3038.41	1405	15.794	2323.80	714.61	76.48	5.39



ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : fundamental sequence : - %VDF : -

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	218.15	219.81	219.16	0.99	1.01	0.99	1.00	60.36	42.89	34.03	137.28	1492	0.196	30.65	106.63	22.33	
10	219.13	221.07	221.24	1.06	1.09	1.10	1.08	104.90	100.34	86.61	291.85	1482	0.981	152.25	139.60	52.17	
20	219.32	220.76	220.64	1.14	1.16	1.16	1.15	138.58	131.16	119.20	388.94	1473	1.472	226.98	161.96	58.36	
30	219.11	221.12	220.76	1.22	1.26	1.24	1.24	171.05	169.44	149.71	490.21	1462	2.060	315.40	174.81	64.34	
40	219.30	221.17	220.63	1.33	1.36	1.33	1.34	203.05	200.66	182.81	586.52	1451	2.649	402.47	184.05	68.62	
50	218.91	220.93	220.14	1.44	1.48	1.44	1.45	235.35	236.27	214.17	685.79	1441	3.139	473.71	212.08	69.07	
60	219.47	220.84	220.36	1.58	1.58	1.56	1.57	269.87	264.51	250.28	784.66	1430	3.728	558.23	226.43	71.14	
70	219.37	220.92	220.21	1.71	1.72	1.68	1.70	305.21	300.46	283.57	889.25	1419	4.218	626.83	262.42	70.49	
80	219.26	220.74	220.17	1.83	1.84	1.80	1.82	332.99	331.80	315.29	980.08	1405	4.905	721.68	258.40	73.63	
90	219.28	221.45	220.49	1.98	2.00	1.94	1.97	369.69	370.66	350.27	1090.62	1395	5.396	788.20	302.42	72.27	
100	218.91	220.34	219.69	2.12	2.12	2.08	2.11	403.08	398.48	382.35	1183.90	1378	5.886	849.37	334.53	71.74	

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 3 sequence : positve %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	225.40	224.68	223.41	1.22	1.02	1.33	1.19	89.04	35.25	51.90	176.20	1496	0.196	30.74	145.46	17.44	1.00
10	224.87	223.69	224.31	1.40	1.19	1.21	1.26	157.02	88.13	76.17	321.32	1478	1.079	167.02	154.30	51.98	1.08
20	226.25	224.67	225.03	1.35	1.18	1.48	1.34	159.52	119.75	146.03	425.30	1469	1.668	256.55	168.75	60.32	1.15
30	225.03	224.22	224.80	1.35	1.51	1.48	1.45	188.84	191.40	156.24	536.48	1457	2.256	344.26	192.22	64.17	1.24
40	225.03	224.53	224.59	1.43	1.53	1.67	1.54	207.54	218.62	209.04	635.20	1448	2.943	446.26	188.94	70.25	1.34
50	225.84	224.67	225.62	1.88	1.51	1.54	1.64	305.56	209.03	214.03	728.62	1435	3.532	530.70	197.92	72.84	1.45
60	225.16	223.99	223.77	1.72	1.68	1.91	1.77	281.09	274.59	283.67	839.35	1426	4.022	600.62	238.73	71.56	1.57
70	224.81	223.84	223.83	1.85	1.82	2.04	1.90	316.06	310.47	324.35	950.88	1412	4.513	667.25	283.63	70.17	1.70
80	224.90	224.23	223.83	2.15	1.80	2.13	2.03	381.51	308.91	363.63	1054.05	1397	5.003	731.92	322.13	69.44	1.82
90	224.67	224.54	223.56	2.11	2.10	2.29	2.17	382.38	381.73	395.56	1159.66	1383	5.690	824.04	335.62	71.06	1.97
100	223.99	223.52	224.07	2.19	2.36	2.34	2.29	407.39	440.66	409.08	1257.12	1369	5.984	857.89	399.23	68.24	2.11

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 3 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	225.23	224.77	224.27	1.25	1.28	1.19	1.24	84.09	60.67	31.49	176.25	1494	0.196	30.70	145.55	17.42	1.00
10	225.19	223.36	225.47	1.41	1.23	1.27	1.30	140.22	105.20	83.23	328.65	1479	1.079	167.13	161.52	50.85	1.08
20	224.71	224.59	224.76	1.45	1.36	1.29	1.37	170.94	147.80	112.16	430.90	1470	1.668	256.72	174.18	59.58	1.15
30	225.35	224.51	224.04	1.42	1.41	1.56	1.46	201.85	158.49	177.49	537.83	1458	2.158	329.52	208.31	61.27	1.24
40	224.53	224.76	225.04	1.58	1.68	1.49	1.58	224.37	228.09	189.51	641.97	1448	2.943	446.26	195.71	69.51	1.34
50	226.10	224.49	224.64	1.82	1.46	1.79	1.69	296.84	211.93	240.41	749.18	1439	3.434	517.40	231.78	69.06	1.45
60	224.05	223.43	223.69	1.95	1.81	1.70	1.82	312.85	288.72	247.17	848.74	1423	4.120	613.98	234.76	72.34	1.57
70	224.79	224.12	223.17	2.08	1.76	2.01	1.95	366.11	287.46	305.27	958.84	1411	4.513	666.78	292.06	69.54	1.70
80	224.18	224.55	224.65	2.08	2.18	1.95	2.07	364.03	371.74	321.82	1057.58	1397	5.003	731.92	325.66	69.21	1.82
90	224.86	224.38	223.83	2.20	2.27	2.12	2.20	399.48	399.14	362.53	1161.15	1385	5.494	796.77	364.38	68.62	1.97
100	224.56	224.23	224.79	2.52	2.17	2.35	2.34	468.84	393.75	404.55	1267.15	1372	5.984	859.77	407.38	67.85	2.11

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 4 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.79	224.72	224.78	1.12	1.08	1.21	1.14	75.45	42.28	42.04	159.77	1494	0.196	30.70	129.07	19.21	
10	226.46	225.01	226.26	1.24	1.14	1.26	1.21	134.32	91.01	92.25	317.59	1480	0.981	152.04	165.55	47.87	
20	225.01	224.03	225.11	1.32	1.22	1.30	1.28	167.58	125.72	124.06	417.36	1468	1.668	256.37	160.99	61.43	
30	225.56	224.64	225.77	1.45	1.32	1.41	1.39	204.93	161.83	161.34	528.10	1459	2.354	359.72	168.38	68.12	
40	225.44	225.44	225.10	1.55	1.44	1.51	1.50	236.64	201.12	193.60	631.36	1448	2.943	446.26	185.10	70.68	
50	226.02	224.63	225.03	1.67	1.56	1.63	1.62	273.03	233.74	228.94	735.71	1436	3.335	501.57	234.14	68.17	
60	224.68	224.56	224.65	1.78	1.67	1.73	1.72	300.80	266.73	258.50	826.03	1425	3.924	585.56	240.47	70.89	
70	224.41	224.32	224.88	1.91	1.81	1.84	1.85	334.93	303.23	292.84	931.00	1411	4.415	652.28	278.72	70.06	
80	224.34	223.92	224.73	2.04	1.91	1.97	1.97	367.74	333.31	328.42	1029.47	1399	4.905	718.60	310.87	69.80	
90	225.75	224.36	223.67	2.21	2.11	2.05	2.12	411.29	384.39	350.29	1145.97	1384	5.494	796.20	349.77	69.48	
100	224.67	223.73	224.46	2.30	2.19	2.25	2.25	434.46	403.11	399.29	1236.87	1365	4.905	701.13	535.74	56.69	

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 4 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	226.89	225.44	225.09	1.16	1.08	1.21	1.15	85.98	40.87	40.73	167.57	1497	0.196	30.76	136.81	18.35	
10	225.75	224.62	224.94	1.24	1.17	1.26	1.22	134.69	89.87	93.91	318.46	1481	1.177	182.57	135.89	57.33	
20	225.21	225.81	225.19	1.33	1.26	1.31	1.30	163.50	129.91	123.76	417.18	1469	1.570	241.46	175.72	57.88	
30	225.18	223.82	225.33	1.44	1.34	1.45	1.41	198.27	162.51	165.36	526.15	1457	2.158	329.29	196.86	62.58	
40	224.54	224.98	225.46	1.55	1.46	1.53	1.51	230.33	198.95	192.00	621.27	1451	2.747	417.37	203.90	67.18	
50	224.68	224.38	225.14	1.70	1.57	1.64	1.64	274.08	232.83	231.82	738.73	1439	3.335	502.62	236.11	68.04	
60	225.43	224.69	224.52	1.80	1.70	1.74	1.75	301.21	267.60	257.81	826.62	1427	3.924	586.38	240.24	70.94	
70	224.00	225.29	225.58	1.91	1.86	1.90	1.89	329.48	310.35	301.19	941.02	1413	4.415	653.21	287.81	69.41	
80	224.45	225.62	225.35	2.05	1.99	1.99	2.01	368.81	346.30	328.33	1043.45	1401	4.905	719.62	323.83	68.97	
90	225.11	224.14	224.81	2.22	2.12	2.14	2.16	409.06	374.96	369.01	1153.03	1389	5.690	827.61	325.42	71.78	
100	224.32	225.05	224.96	2.29	2.25	2.25	2.26	428.05	411.16	396.51	1235.73	1372	5.886	845.67	390.06	68.44	

ตารางที่ ค.6 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 5 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	223.46	223.36	224.52	1.07	1.07	1.15	1.10	82.17	37.90	33.29	153.37	1494	0.196	30.70	122.67	20.01	
10	225.11	225.58	226.28	1.23	1.10	1.22	1.18	136.80	86.25	93.90	316.96	1482	1.079	167.47	149.49	52.84	
20	223.97	225.34	223.89	1.29	1.19	1.27	1.25	168.27	117.05	124.01	409.33	1472	1.570	241.95	167.38	59.11	
30	226.05	225.18	225.06	1.40	1.31	1.39	1.36	205.07	161.24	154.15	520.45	1463	2.158	330.65	189.80	63.53	
40	224.74	224.20	225.66	1.52	1.40	1.45	1.45	232.96	191.09	188.24	612.30	1451	2.747	417.37	194.93	68.16	
50	224.46	222.64	223.17	1.65	1.47	1.54	1.55	275.60	216.25	213.24	705.08	1442	3.335	503.66	201.42	71.43	
60	223.95	223.56	224.36	1.71	1.63	1.68	1.67	295.77	253.09	255.76	804.61	1431	3.728	558.63	245.98	69.43	
70	225.72	225.81	223.86	1.84	1.81	1.80	1.82	326.10	305.81	286.62	918.54	1419	4.316	641.41	277.13	69.83	
80	227.08	226.28	225.78	2.01	1.88	1.91	1.93	365.94	333.51	314.42	1013.87	1404	5.003	735.59	278.28	72.55	
90	224.12	223.88	222.75	2.10	2.02	2.00	2.04	388.48	365.38	343.71	1097.56	1393	5.297	772.76	324.80	70.41	
100	224.87	223.83	223.99	2.25	2.16	2.20	2.20	433.48	395.89	390.83	1220.20	1375	5.788	833.40	386.80	68.30	

ตารางที่ ค.7 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 5 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.06	225.97	226.37	1.06	1.03	1.14	1.08	75.41	35.14	41.62	152.16	1496	0.196	30.74	121.42	20.20	
10	227.12	225.59	224.54	1.22	1.12	1.21	1.19	138.43	90.05	90.34	318.81	1480	0.981	152.04	166.77	47.69	
20	225.46	225.37	227.33	1.27	1.21	1.31	1.27	162.41	125.39	126.52	414.32	1469	1.570	241.46	172.86	58.28	
30	225.08	225.75	224.27	1.39	1.28	1.35	1.34	204.46	161.17	158.61	524.25	1458	2.158	329.52	194.73	62.85	
40	225.45	223.46	224.99	1.52	1.42	1.53	1.49	231.92	193.78	199.59	625.29	1447	2.845	431.09	194.20	68.94	
50	225.29	224.38	223.92	1.63	1.52	1.56	1.57	266.92	240.91	222.76	730.59	1434	3.434	515.60	214.99	70.57	
60	224.01	223.56	225.53	1.74	1.66	1.73	1.71	296.13	263.39	263.15	822.67	1423	4.022	599.36	223.31	72.86	
70	225.70	224.26	223.86	1.90	1.78	1.83	1.84	336.90	295.32	294.76	926.99	1411	4.513	666.78	260.21	71.93	
80	227.09	225.29	224.70	2.05	1.92	1.95	1.97	376.11	340.16	329.02	1045.29	1396	5.101	745.74	299.55	71.34	
90	224.74	226.33	225.48	2.14	2.03	2.05	2.07	405.14	372.22	359.24	1136.60	1384	5.592	810.42	326.18	71.30	
100	225.18	225.98	224.09	2.30	2.19	2.19	2.23	438.54	405.23	390.93	1234.70	1368	6.082	871.31	363.39	70.57	

ตารางที่ ค.8 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 6 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	225.87	225.34	224.68	1.09	1.00	1.10	1.06	69.84	40.27	37.92	148.03	1494	0.392	61.39	86.64	41.47	
10	225.41	223.64	224.29	1.18	1.06	1.14	1.13	122.67	90.30	87.49	300.47	1480	1.275	197.65	102.82	65.78	
20	225.72	224.12	225.03	1.26	1.16	1.24	1.22	154.36	129.24	124.39	407.99	1470	1.962	302.03	105.96	74.03	
30	225.33	224.01	224.39	1.35	1.26	1.33	1.31	187.10	163.89	155.08	506.06	1458	2.354	359.47	146.59	71.03	
40	225.09	223.85	224.37	1.47	1.37	1.43	1.42	222.24	199.66	190.17	612.07	1445	3.041	460.18	151.89	75.18	
50	225.40	225.27	225.07	1.58	1.49	1.55	1.54	255.08	236.35	227.00	718.43	1436	3.532	531.07	187.36	73.92	
60	224.22	224.52	224.74	1.69	1.59	1.65	1.65	284.72	264.40	260.22	809.34	1425	4.022	600.20	209.14	74.16	
70	224.18	223.12	223.68	1.83	1.72	1.75	1.77	322.27	298.00	287.46	907.73	1412	4.611	681.76	225.97	75.11	
80	225.14	223.55	224.30	1.97	1.86	1.88	1.91	359.15	331.86	321.23	1012.23	1400	5.101	747.87	264.36	73.88	
90	225.61	225.51	224.62	2.09	2.02	2.04	2.05	387.99	374.12	360.60	1122.72	1385	5.592	811.00	311.72	72.24	
100	223.43	224.06	223.73	2.21	2.13	2.15	2.16	416.01	398.82	389.41	1204.24	1370	6.082	872.59	331.65	72.46	

ตารางที่ ค.9 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 6 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	226.10	225.02	226.36	1.06	1.00	1.13	1.06	74.18	40.28	37.63	152.09	1495	0.196	30.72	121.37	20.20	
10	225.52	223.70	224.77	1.20	1.07	1.18	1.15	118.73	93.66	87.66	300.06	1481	1.373	213.00	87.06	70.99	
20	223.78	225.28	225.03	1.26	1.20	1.25	1.24	156.11	133.56	120.54	410.21	1465	1.766	270.90	139.31	66.04	
30	224.49	224.83	223.67	1.38	1.28	1.33	1.33	193.94	166.66	149.42	510.02	1456	2.354	358.98	151.04	70.39	
40	224.92	225.24	225.61	1.48	1.40	1.44	1.44	228.36	207.13	185.78	621.26	1448	2.845	431.38	189.88	69.44	
50	223.76	223.81	224.87	1.57	1.52	1.57	1.55	256.80	238.62	223.00	718.42	1437	3.434	516.68	201.74	71.92	
60	224.65	225.70	224.98	1.72	1.65	1.63	1.67	295.87	272.71	248.53	817.11	1424	4.022	599.78	217.33	73.40	
70	224.28	225.27	224.15	1.85	1.76	1.78	1.80	329.79	301.88	285.67	917.34	1414	4.513	668.20	249.14	72.84	
80	223.39	224.45	224.24	1.96	1.91	1.90	1.93	356.87	341.04	319.22	1017.14	1399	5.003	732.97	284.17	72.06	
90	224.22	225.84	223.99	2.10	2.06	2.02	2.06	389.65	380.61	350.10	1120.36	1386	5.494	797.35	323.01	71.17	
100	224.91	225.29	225.21	2.22	2.13	2.16	2.17	417.40	397.20	391.39	1206.00	1376	6.082	876.41	329.59	72.67	

ตารางที่ ค.10 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 7 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.68	223.65	223.09	1.09	0.98	1.08	1.05	66.93	41.38	37.03	145.35	1496	0.392	61.47	83.88	42.29	
10	225.00	225.41	225.79	1.18	1.07	1.16	1.14	119.37	97.35	89.29	306.01	1483	1.177	182.82	123.19	59.74	
20	224.54	225.15	224.60	1.24	1.15	1.23	1.21	145.88	131.12	120.13	397.13	1470	1.962	302.03	95.10	76.05	
30	224.35	223.32	224.12	1.34	1.24	1.30	1.29	180.75	163.15	150.77	494.67	1463	2.453	375.73	118.94	75.96	
40	224.90	223.80	224.88	1.44	1.35	1.39	1.39	213.86	195.98	182.66	592.50	1453	2.943	447.80	144.70	75.58	
50	225.30	225.42	225.51	1.55	1.46	1.53	1.51	244.84	230.65	224.19	699.68	1440	3.630	547.35	152.33	78.23	
60	226.31	224.77	225.43	1.67	1.58	1.61	1.62	280.25	263.93	249.10	793.28	1430	4.120	617.00	176.28	77.78	
70	224.41	225.13	224.64	1.77	1.70	1.75	1.74	305.02	297.92	288.92	891.86	1418	4.709	699.22	192.64	78.40	
80	224.11	224.60	224.32	1.90	1.82	1.87	1.86	338.30	327.73	319.85	985.88	1405	4.905	721.68	264.20	73.20	
90	224.50	224.28	223.89	2.04	1.97	1.99	2.00	374.45	365.37	352.27	1092.09	1394	5.592	816.27	275.82	74.74	
100	224.94	224.75	225.00	2.20	2.08	2.13	2.13	411.87	391.22	387.51	1190.61	1378	6.082	877.68	312.93	73.72	

ตารางที่ ค.11 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 7 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	225.13	225.93	224.80	1.07	1.00	1.10	1.06	79.61	46.09	44.50	170.20	1497	0.392	61.51	108.69	36.14	
10	225.94	226.17	224.38	1.17	1.08	1.15	1.13	136.28	84.17	87.03	307.48	1482	1.275	197.92	109.56	64.37	
20	225.20	224.30	226.03	1.27	1.16	1.25	1.23	167.20	133.13	130.04	430.37	1472	1.864	287.32	143.05	66.76	
30	224.61	223.01	224.47	1.34	1.23	1.32	1.30	179.99	161.06	155.74	496.79	1459	2.453	374.71	122.08	75.43	
40	225.02	225.31	225.01	1.44	1.35	1.40	1.40	215.36	199.97	189.27	604.60	1447	2.943	445.95	158.65	73.76	
50	223.50	224.21	224.41	1.54	1.47	1.54	1.52	245.46	231.83	226.43	703.72	1437	3.434	516.68	187.04	73.42	
60	225.77	225.03	224.73	1.70	1.62	1.66	1.66	298.20	274.35	264.14	836.69	1426	4.022	600.62	236.07	71.79	
70	224.90	224.36	225.90	1.78	1.72	1.77	1.75	310.64	300.22	296.27	907.13	1412	4.513	667.25	239.88	73.56	
80	223.96	223.77	225.30	1.93	1.84	1.91	1.89	347.13	330.25	332.16	1009.55	1400	5.003	733.49	276.06	72.66	
90	223.94	222.84	224.29	2.08	1.98	2.02	2.03	382.64	362.23	358.68	1103.54	1385	5.592	811.00	292.54	73.49	
100	224.46	225.29	225.19	2.22	2.11	2.15	2.16	417.55	400.48	393.48	1211.51	1371	6.082	873.23	338.28	72.08	

ตารางที่ ค.12 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 8 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	226.26	224.28	225.22	1.07	0.97	1.11	1.05	80.61	31.80	31.71	144.12	1497	0.196	30.76	113.36	21.34	
10	224.93	224.63	225.32	1.16	1.05	1.15	1.12	130.41	86.66	81.80	298.87	1480	1.177	182.45	116.42	61.05	
20	226.01	224.64	225.79	1.26	1.13	1.21	1.20	167.26	120.91	111.59	399.77	1471	1.864	287.12	112.65	71.82	
30	224.93	225.24	223.79	1.35	1.24	1.27	1.29	196.41	167.21	136.29	499.92	1460	2.354	359.97	139.95	72.00	
40	223.99	223.29	224.37	1.44	1.32	1.40	1.39	229.21	189.65	178.56	597.41	1449	2.943	446.57	150.84	74.75	
50	224.70	224.44	223.82	1.57	1.44	1.49	1.50	261.66	228.63	212.17	702.45	1438	3.532	531.81	170.64	75.71	
60	225.48	224.58	224.56	1.68	1.57	1.62	1.62	295.05	262.04	245.85	802.94	1426	4.120	615.27	187.67	76.63	
70	225.09	223.28	224.55	1.83	1.68	1.73	1.75	331.59	289.47	278.19	899.24	1412	4.611	681.76	217.48	75.81	
80	225.05	224.43	225.38	1.95	1.83	1.86	1.88	362.34	328.20	314.26	1004.80	1401	5.101	748.41	256.39	74.48	
90	225.22	224.06	225.33	2.08	1.96	1.98	2.01	395.32	360.36	348.75	1104.44	1387	5.592	812.17	292.27	73.54	
100	224.66	223.68	223.47	2.22	2.11	2.12	2.15	426.27	396.85	378.29	1201.40	1372	6.082	873.86	327.54	72.74	

ตารางที่ ค.13 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 8 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.45	224.32	225.27	1.06	0.99	1.10	1.05	77.87	43.11	45.07	166.05	1495	0.196	30.72	135.33	18.50	
10	225.54	223.91	224.29	1.18	1.08	1.16	1.14	129.94	97.56	89.14	316.64	1480	1.275	197.65	118.99	62.42	
20	225.66	224.79	225.89	1.24	1.15	1.24	1.21	163.12	122.66	114.10	399.87	1472	1.864	287.32	112.55	71.85	
30	224.83	225.82	224.96	1.34	1.24	1.32	1.30	199.09	157.29	147.14	503.52	1461	2.453	375.22	128.30	74.52	
40	223.89	223.98	224.81	1.45	1.36	1.40	1.40	229.20	191.51	177.20	597.91	1449	2.943	446.57	151.34	74.69	
50	225.40	225.04	226.03	1.57	1.46	1.51	1.51	264.78	227.39	212.96	705.13	1440	3.532	532.55	172.58	75.53	
60	224.32	224.22	224.77	1.72	1.60	1.66	1.66	298.13	271.48	264.58	834.20	1422	3.728	555.11	279.09	66.54	
70	224.38	224.08	225.47	1.83	1.72	1.77	1.78	329.98	299.83	294.30	924.11	1407	4.120	607.07	317.04	65.69	
80	224.00	223.93	224.41	1.97	1.87	1.90	1.91	361.96	336.19	327.89	1026.04	1394	4.709	687.39	338.65	66.99	
90	223.92	224.20	224.61	2.10	2.02	2.05	2.06	393.61	373.84	364.18	1131.63	1382	5.101	738.26	393.37	65.24	
100	224.47	223.33	224.16	2.28	2.16	2.18	2.21	436.11	406.63	397.08	1239.82	1366	5.788	827.94	411.88	66.78	

ตารางที่ ค.14 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 9 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	225.27	225.29	223.92	1.05	0.98	1.12	1.05	96.07	27.50	20.20	143.77	1495	0.294	46.07	97.70	32.05	
10	225.49	224.37	224.67	1.15	1.05	1.18	1.12	152.03	74.84	72.83	299.71	1481	1.275	197.79	101.92	65.99	
20	224.31	223.11	223.88	1.24	1.12	1.22	1.19	186.75	107.48	98.47	392.69	1470	1.864	286.92	105.77	73.07	
30	225.43	224.83	224.07	1.36	1.22	1.30	1.29	222.89	145.88	131.98	500.76	1460	2.453	374.96	125.80	74.88	
40	224.24	224.68	224.66	1.43	1.31	1.42	1.39	246.56	179.24	171.35	597.15	1448	3.041	461.13	136.02	77.22	
50	223.76	223.39	224.27	1.60	1.39	1.49	1.50	286.88	207.69	200.07	694.63	1436	3.532	531.07	163.56	76.45	
60	225.06	223.57	225.08	1.73	1.53	1.62	1.63	321.27	246.38	235.65	803.31	1426	4.022	600.62	202.69	74.77	
70	223.90	223.72	223.08	1.83	1.66	1.72	1.74	347.54	283.68	265.56	896.79	1412	4.611	681.76	215.03	76.02	
80	226.00	224.41	225.02	1.99	1.80	1.86	1.88	386.86	318.00	304.85	1009.71	1401	5.199	762.80	246.91	75.55	
90	223.96	224.38	224.93	2.14	1.93	1.98	2.02	417.54	351.15	339.77	1108.45	1386	5.592	811.59	296.86	73.22	
100	224.48	223.89	223.64	2.28	2.07	2.12	2.16	450.51	385.92	369.46	1205.90	1371	6.082	873.23	332.67	72.41	

ตารางที่ ค.15 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 9 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.45	224.12	225.28	1.05	0.96	1.14	1.05	93.50	27.35	21.89	142.74	1494	0.294	46.04	96.70	32.26	
10	223.84	223.41	225.17	1.17	1.04	1.20	1.14	153.31	77.12	72.01	302.44	1479	1.275	197.52	104.92	65.31	
20	224.93	223.82	224.82	1.25	1.12	1.24	1.20	186.22	110.20	102.19	398.61	1471	1.864	287.12	111.49	72.03	
30	225.32	224.19	225.93	1.36	1.21	1.33	1.30	221.31	145.82	134.51	501.63	1460	2.354	359.97	141.66	71.76	
40	223.85	224.83	223.44	1.47	1.32	1.40	1.40	256.02	184.61	164.88	605.51	1450	2.943	446.88	158.63	73.80	
50	224.02	224.32	225.26	1.60	1.42	1.51	1.51	286.55	215.70	200.72	702.97	1439	3.532	532.18	170.79	75.70	
60	224.03	225.54	225.31	1.64	1.63	1.63	1.63	281.92	276.27	269.62	827.82	1423	3.728	555.50	272.32	67.10	
70	224.73	223.39	223.82	1.88	1.66	1.73	1.76	357.86	283.16	265.75	906.77	1416	4.513	669.14	237.63	73.79	
80	223.27	224.99	224.22	1.90	1.88	1.87	1.88	347.84	339.84	332.75	1020.43	1397	4.611	674.51	345.92	66.10	
90	223.40	225.75	223.46	2.03	2.05	2.00	2.03	377.93	381.78	359.32	1119.03	1382	5.297	766.65	352.38	68.51	
100	223.63	225.10	225.03	2.18	2.18	2.16	2.17	414.22	411.63	399.73	1225.58	1368	5.690	815.10	410.48	66.51	

ตารางที่ ค.16 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 10 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	226.00	224.39	225.35	1.05	0.95	1.10	1.04	77.71	34.62	29.40	141.72	1496	0.294	46.11	95.61	32.53	
10	225.44	225.73	226.53	1.13	1.04	1.16	1.11	129.33	86.64	82.80	298.77	1479	1.373	212.71	86.06	71.20	
20	225.39	225.26	225.36	1.23	1.10	1.24	1.19	162.45	118.83	116.66	397.93	1468	1.766	271.45	126.48	68.22	
30	224.81	225.08	224.75	1.34	1.22	1.28	1.28	199.35	159.34	143.62	502.31	1458	2.453	374.45	127.86	74.55	
40	226.79	224.92	225.30	1.45	1.33	1.38	1.39	235.95	196.37	172.20	604.53	1448	2.943	446.26	158.27	73.82	
50	224.77	223.95	223.64	1.58	1.45	1.44	1.49	269.49	230.39	200.30	700.18	1439	3.434	517.40	182.78	73.90	
60	224.79	224.87	225.38	1.68	1.53	1.61	1.61	298.72	252.93	249.14	800.80	1425	4.022	600.20	200.60	74.95	
70	223.89	222.38	223.61	1.80	1.67	1.71	1.73	330.49	287.01	276.55	894.05	1411	4.611	681.27	212.78	76.20	
80	225.84	225.52	225.95	1.93	1.84	1.83	1.87	364.80	329.01	309.30	1003.11	1399	5.003	732.97	270.14	73.07	
90	224.67	224.72	224.61	2.09	1.93	1.97	2.00	398.55	356.31	344.54	1099.40	1384	5.592	810.42	288.98	73.71	
100	225.81	225.84	225.61	2.25	2.15	2.18	2.19	432.59	408.09	393.20	1233.87	1377	6.082	877.05	356.82	71.08	

ตารางที่ ค.17 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 10 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.85	225.28	224.31	1.07	0.97	1.11	1.05	76.47	37.76	31.34	145.56	1494	0.392	61.39	84.17	42.18	
10	226.14	225.72	225.61	1.14	1.05	1.17	1.12	127.66	90.55	81.05	299.26	1481	1.275	197.79	101.47	66.09	
20	224.42	225.92	225.39	1.20	1.21	1.21	1.21	147.55	139.27	128.68	415.49	1471	1.177	181.34	234.15	43.64	
30	224.20	226.67	225.62	1.30	1.31	1.30	1.30	182.29	176.25	165.38	523.92	1461	1.864	285.17	238.75	54.43	
40	224.08	226.86	225.11	1.38	1.41	1.40	1.40	210.29	209.49	194.51	614.29	1451	2.453	372.65	241.64	60.66	
50	223.39	223.78	223.88	1.56	1.46	1.48	1.50	262.68	230.32	206.68	699.67	1441	3.434	518.12	181.55	74.05	
60	223.68	225.47	224.92	1.62	1.66	1.62	1.63	276.66	276.73	258.49	811.88	1430	3.434	514.16	297.72	63.33	
70	224.25	226.10	225.53	1.75	1.77	1.76	1.76	308.52	310.89	295.28	914.69	1417	4.022	596.83	317.86	65.25	
80	224.47	226.38	224.13	1.90	1.92	1.87	1.89	346.56	346.33	325.20	1018.08	1405	4.611	678.38	339.70	66.63	
90	223.65	225.55	224.67	2.04	2.05	2.00	2.03	380.78	377.87	360.46	1119.11	1391	5.003	728.78	390.33	65.12	
100	225.09	225.07	226.07	2.16	2.08	2.11	2.12	416.58	391.83	379.42	1187.84	1376	6.082	876.41	311.43	73.78	

ตารางที่ ค.18 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 11 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.84	225.90	225.50	1.03	0.96	1.10	1.03	69.08	35.77	37.39	142.24	1495	0.392	61.43	80.81	43.19	
10	226.72	226.20	226.03	1.12	1.05	1.16	1.11	123.40	92.36	84.12	299.89	1480	1.275	197.65	102.24	65.91	
20	226.29	226.20	226.28	1.23	1.12	1.21	1.19	160.45	127.21	111.12	398.78	1468	1.766	271.45	127.33	68.07	
30	225.22	224.72	223.27	1.32	1.23	1.25	1.27	193.14	172.42	129.68	495.23	1458	2.354	359.47	135.76	72.59	
40	225.80	225.00	226.51	1.42	1.32	1.39	1.38	225.02	194.08	179.14	598.24	1447	3.041	460.82	137.42	77.03	
50	226.89	225.86	225.76	1.55	1.43	1.49	1.49	261.40	231.88	210.22	703.50	1438	3.532	531.81	171.69	75.60	
60	224.82	224.74	224.59	1.66	1.54	1.60	1.60	290.45	262.67	243.65	796.77	1424	4.120	614.41	182.36	77.11	
70	225.52	224.93	224.55	1.79	1.68	1.72	1.73	323.12	299.04	277.41	899.57	1411	4.513	666.78	232.79	74.12	
80	226.15	224.36	225.12	1.93	1.81	1.82	1.85	358.01	329.81	307.79	995.61	1398	5.199	761.17	234.44	76.45	
90	225.81	224.58	225.24	2.06	1.95	2.00	2.00	389.65	364.96	348.72	1103.33	1388	5.592	812.76	290.57	73.66	
100	224.02	224.55	224.68	2.19	2.10	2.11	2.14	418.65	399.35	379.94	1197.94	1371	6.082	873.23	324.71	72.89	

ตารางที่ ค.19 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 11 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	225.29	226.43	226.27	1.04	1.03	1.05	1.04	63.33	50.27	48.07	161.68	1495	0.392	61.43	100.25	38.00	1.00
10	225.15	226.20	226.40	1.12	1.11	1.12	1.12	113.16	101.91	97.08	312.15	1479	1.373	212.71	99.44	68.14	1.08
20	226.60	226.23	225.39	1.23	1.13	1.20	1.19	162.97	129.38	111.80	404.16	1470	1.864	286.92	117.24	70.99	1.15
30	226.86	225.69	225.76	1.34	1.22	1.28	1.28	196.02	162.04	138.49	496.55	1460	2.354	359.97	136.58	72.49	1.24
40	227.18	225.59	226.10	1.44	1.32	1.37	1.38	229.20	191.89	175.97	597.06	1449	3.041	461.45	135.61	77.29	1.34
50	227.72	226.25	226.36	1.57	1.43	1.48	1.50	264.09	226.80	213.08	703.97	1437	3.532	531.44	172.53	75.49	1.45
60	224.90	225.66	225.06	1.68	1.56	1.62	1.62	294.22	264.60	248.58	807.40	1423	4.120	613.98	193.42	76.04	1.57
70	225.83	225.42	226.58	1.80	1.69	1.73	1.74	328.61	297.49	283.48	909.58	1414	4.709	697.25	212.33	76.66	1.70
80	225.97	225.28	224.40	1.95	1.83	1.83	1.87	364.31	330.92	308.45	1003.68	1401	5.199	762.80	240.88	76.00	1.82
90	225.16	225.65	224.61	2.10	1.97	1.99	2.02	396.97	363.94	348.85	1109.76	1388	5.690	827.02	282.74	74.52	1.97
100	226.29	226.13	225.31	2.23	2.10	2.13	2.15	428.11	397.22	385.62	1210.95	1375	6.180	889.90	321.05	73.49	2.11

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : fundamental sequence : - %VDF : -

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	218.15	219.81	219.16	0.99	1.01	0.99	1.00	60.36	42.89	34.03	137.28	1492	0.196	30.65	106.63	22.33	
10	219.13	221.07	221.24	1.06	1.09	1.10	1.08	104.90	100.34	86.61	291.85	1482	0.981	152.25	139.60	52.17	
20	219.32	220.76	220.64	1.14	1.16	1.16	1.15	138.58	131.16	119.20	388.94	1473	1.472	226.98	161.96	58.36	
30	219.11	221.12	220.76	1.22	1.26	1.24	1.24	171.05	169.44	149.71	490.21	1462	2.060	315.40	174.81	64.34	
40	219.30	221.17	220.63	1.33	1.36	1.33	1.34	203.05	200.66	182.81	586.52	1451	2.649	402.47	184.05	68.62	
50	218.91	220.93	220.14	1.44	1.48	1.44	1.45	235.35	236.27	214.17	685.79	1441	3.139	473.71	212.08	69.07	
60	219.47	220.84	220.36	1.58	1.58	1.56	1.57	269.87	264.51	250.28	784.66	1430	3.728	558.23	226.43	71.14	
70	219.37	220.92	220.21	1.71	1.72	1.68	1.70	305.21	300.46	283.57	889.25	1419	4.218	626.83	262.42	70.49	
80	219.26	220.74	220.17	1.83	1.84	1.80	1.82	332.99	331.80	315.29	980.08	1405	4.905	721.68	258.40	73.63	
90	219.28	221.45	220.49	1.98	2.00	1.94	1.97	369.69	370.66	350.27	1090.62	1395	5.396	788.20	302.42	72.27	
100	218.91	220.34	219.69	2.12	2.12	2.08	2.11	403.08	398.48	382.35	1183.90	1378	5.886	849.37	334.53	71.74	

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 3 sequence : positve %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	225.40	224.68	223.41	1.22	1.02	1.33	1.19	89.04	35.25	51.90	176.20	1496	0.196	30.74	145.46	17.44	1.00
10	224.87	223.69	224.31	1.40	1.19	1.21	1.26	157.02	88.13	76.17	321.32	1478	1.079	167.02	154.30	51.98	1.08
20	226.25	224.67	225.03	1.35	1.18	1.48	1.34	159.52	119.75	146.03	425.30	1469	1.668	256.55	168.75	60.32	1.15
30	225.03	224.22	224.80	1.35	1.51	1.48	1.45	188.84	191.40	156.24	536.48	1457	2.256	344.26	192.22	64.17	1.24
40	225.03	224.53	224.59	1.43	1.53	1.67	1.54	207.54	218.62	209.04	635.20	1448	2.943	446.26	188.94	70.25	1.34
50	225.84	224.67	225.62	1.88	1.51	1.54	1.64	305.56	209.03	214.03	728.62	1435	3.532	530.70	197.92	72.84	1.45
60	225.16	223.99	223.77	1.72	1.68	1.91	1.77	281.09	274.59	283.67	839.35	1426	4.022	600.62	238.73	71.56	1.57
70	224.81	223.84	223.83	1.85	1.82	2.04	1.90	316.06	310.47	324.35	950.88	1412	4.513	667.25	283.63	70.17	1.70
80	224.90	224.23	223.83	2.15	1.80	2.13	2.03	381.51	308.91	363.63	1054.05	1397	5.003	731.92	322.13	69.44	1.82
90	224.67	224.54	223.56	2.11	2.10	2.29	2.17	382.38	381.73	395.56	1159.66	1383	5.690	824.04	335.62	71.06	1.97
100	223.99	223.52	224.07	2.19	2.36	2.34	2.29	407.39	440.66	409.08	1257.12	1369	5.984	857.89	399.23	68.24	2.11

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 3 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	225.23	224.77	224.27	1.25	1.28	1.19	1.24	84.09	60.67	31.49	176.25	1494	0.196	30.70	145.55	17.42	1.00
10	225.19	223.36	225.47	1.41	1.23	1.27	1.30	140.22	105.20	83.23	328.65	1479	1.079	167.13	161.52	50.85	1.08
20	224.71	224.59	224.76	1.45	1.36	1.29	1.37	170.94	147.80	112.16	430.90	1470	1.668	256.72	174.18	59.58	1.15
30	225.35	224.51	224.04	1.42	1.41	1.56	1.46	201.85	158.49	177.49	537.83	1458	2.158	329.52	208.31	61.27	1.24
40	224.53	224.76	225.04	1.58	1.68	1.49	1.58	224.37	228.09	189.51	641.97	1448	2.943	446.26	195.71	69.51	1.34
50	226.10	224.49	224.64	1.82	1.46	1.79	1.69	296.84	211.93	240.41	749.18	1439	3.434	517.40	231.78	69.06	1.45
60	224.05	223.43	223.69	1.95	1.81	1.70	1.82	312.85	288.72	247.17	848.74	1423	4.120	613.98	234.76	72.34	1.57
70	224.79	224.12	223.17	2.08	1.76	2.01	1.95	366.11	287.46	305.27	958.84	1411	4.513	666.78	292.06	69.54	1.70
80	224.18	224.55	224.65	2.08	2.18	1.95	2.07	364.03	371.74	321.82	1057.58	1397	5.003	731.92	325.66	69.21	1.82
90	224.86	224.38	223.83	2.20	2.27	2.12	2.20	399.48	399.14	362.53	1161.15	1385	5.494	796.77	364.38	68.62	1.97
100	224.56	224.23	224.79	2.52	2.17	2.35	2.34	468.84	393.75	404.55	1267.15	1372	5.984	859.77	407.38	67.85	2.11

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 4 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.79	224.72	224.78	1.12	1.08	1.21	1.14	75.45	42.28	42.04	159.77	1494	0.196	30.70	129.07	19.21	
10	226.46	225.01	226.26	1.24	1.14	1.26	1.21	134.32	91.01	92.25	317.59	1480	0.981	152.04	165.55	47.87	
20	225.01	224.03	225.11	1.32	1.22	1.30	1.28	167.58	125.72	124.06	417.36	1468	1.668	256.37	160.99	61.43	
30	225.56	224.64	225.77	1.45	1.32	1.41	1.39	204.93	161.83	161.34	528.10	1459	2.354	359.72	168.38	68.12	
40	225.44	225.44	225.10	1.55	1.44	1.51	1.50	236.64	201.12	193.60	631.36	1448	2.943	446.26	185.10	70.68	
50	226.02	224.63	225.03	1.67	1.56	1.63	1.62	273.03	233.74	228.94	735.71	1436	3.335	501.57	234.14	68.17	
60	224.68	224.56	224.65	1.78	1.67	1.73	1.72	300.80	266.73	258.50	826.03	1425	3.924	585.56	240.47	70.89	
70	224.41	224.32	224.88	1.91	1.81	1.84	1.85	334.93	303.23	292.84	931.00	1411	4.415	652.28	278.72	70.06	
80	224.34	223.92	224.73	2.04	1.91	1.97	1.97	367.74	333.31	328.42	1029.47	1399	4.905	718.60	310.87	69.80	
90	225.75	224.36	223.67	2.21	2.11	2.05	2.12	411.29	384.39	350.29	1145.97	1384	5.494	796.20	349.77	69.48	
100	224.67	223.73	224.46	2.30	2.19	2.25	2.25	434.46	403.11	399.29	1236.87	1365	4.905	701.13	535.74	56.69	

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 4 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	226.89	225.44	225.09	1.16	1.08	1.21	1.15	85.98	40.87	40.73	167.57	1497	0.196	30.76	136.81	18.35	
10	225.75	224.62	224.94	1.24	1.17	1.26	1.22	134.69	89.87	93.91	318.46	1481	1.177	182.57	135.89	57.33	
20	225.21	225.81	225.19	1.33	1.26	1.31	1.30	163.50	129.91	123.76	417.18	1469	1.570	241.46	175.72	57.88	
30	225.18	223.82	225.33	1.44	1.34	1.45	1.41	198.27	162.51	165.36	526.15	1457	2.158	329.29	196.86	62.58	
40	224.54	224.98	225.46	1.55	1.46	1.53	1.51	230.33	198.95	192.00	621.27	1451	2.747	417.37	203.90	67.18	
50	224.68	224.38	225.14	1.70	1.57	1.64	1.64	274.08	232.83	231.82	738.73	1439	3.335	502.62	236.11	68.04	
60	225.43	224.69	224.52	1.80	1.70	1.74	1.75	301.21	267.60	257.81	826.62	1427	3.924	586.38	240.24	70.94	
70	224.00	225.29	225.58	1.91	1.86	1.90	1.89	329.48	310.35	301.19	941.02	1413	4.415	653.21	287.81	69.41	
80	224.45	225.62	225.35	2.05	1.99	1.99	2.01	368.81	346.30	328.33	1043.45	1401	4.905	719.62	323.83	68.97	
90	225.11	224.14	224.81	2.22	2.12	2.14	2.16	409.06	374.96	369.01	1153.03	1389	5.690	827.61	325.42	71.78	
100	224.32	225.05	224.96	2.29	2.25	2.25	2.26	428.05	411.16	396.51	1235.73	1372	5.886	845.67	390.06	68.44	

ตารางที่ ค.6 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 5 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	223.46	223.36	224.52	1.07	1.07	1.15	1.10	82.17	37.90	33.29	153.37	1494	0.196	30.70	122.67	20.01	
10	225.11	225.58	226.28	1.23	1.10	1.22	1.18	136.80	86.25	93.90	316.96	1482	1.079	167.47	149.49	52.84	
20	223.97	225.34	223.89	1.29	1.19	1.27	1.25	168.27	117.05	124.01	409.33	1472	1.570	241.95	167.38	59.11	
30	226.05	225.18	225.06	1.40	1.31	1.39	1.36	205.07	161.24	154.15	520.45	1463	2.158	330.65	189.80	63.53	
40	224.74	224.20	225.66	1.52	1.40	1.45	1.45	232.96	191.09	188.24	612.30	1451	2.747	417.37	194.93	68.16	
50	224.46	222.64	223.17	1.65	1.47	1.54	1.55	275.60	216.25	213.24	705.08	1442	3.335	503.66	201.42	71.43	
60	223.95	223.56	224.36	1.71	1.63	1.68	1.67	295.77	253.09	255.76	804.61	1431	3.728	558.63	245.98	69.43	
70	225.72	225.81	223.86	1.84	1.81	1.80	1.82	326.10	305.81	286.62	918.54	1419	4.316	641.41	277.13	69.83	
80	227.08	226.28	225.78	2.01	1.88	1.91	1.93	365.94	333.51	314.42	1013.87	1404	5.003	735.59	278.28	72.55	
90	224.12	223.88	222.75	2.10	2.02	2.00	2.04	388.48	365.38	343.71	1097.56	1393	5.297	772.76	324.80	70.41	
100	224.87	223.83	223.99	2.25	2.16	2.20	2.20	433.48	395.89	390.83	1220.20	1375	5.788	833.40	386.80	68.30	

ตารางที่ ค.7 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 5 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.06	225.97	226.37	1.06	1.03	1.14	1.08	75.41	35.14	41.62	152.16	1496	0.196	30.74	121.42	20.20	
10	227.12	225.59	224.54	1.22	1.12	1.21	1.19	138.43	90.05	90.34	318.81	1480	0.981	152.04	166.77	47.69	
20	225.46	225.37	227.33	1.27	1.21	1.31	1.27	162.41	125.39	126.52	414.32	1469	1.570	241.46	172.86	58.28	
30	225.08	225.75	224.27	1.39	1.28	1.35	1.34	204.46	161.17	158.61	524.25	1458	2.158	329.52	194.73	62.85	
40	225.45	223.46	224.99	1.52	1.42	1.53	1.49	231.92	193.78	199.59	625.29	1447	2.845	431.09	194.20	68.94	
50	225.29	224.38	223.92	1.63	1.52	1.56	1.57	266.92	240.91	222.76	730.59	1434	3.434	515.60	214.99	70.57	
60	224.01	223.56	225.53	1.74	1.66	1.73	1.71	296.13	263.39	263.15	822.67	1423	4.022	599.36	223.31	72.86	
70	225.70	224.26	223.86	1.90	1.78	1.83	1.84	336.90	295.32	294.76	926.99	1411	4.513	666.78	260.21	71.93	
80	227.09	225.29	224.70	2.05	1.92	1.95	1.97	376.11	340.16	329.02	1045.29	1396	5.101	745.74	299.55	71.34	
90	224.74	226.33	225.48	2.14	2.03	2.05	2.07	405.14	372.22	359.24	1136.60	1384	5.592	810.42	326.18	71.30	
100	225.18	225.98	224.09	2.30	2.19	2.19	2.23	438.54	405.23	390.93	1234.70	1368	6.082	871.31	363.39	70.57	

ตารางที่ ค.8 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 6 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	225.87	225.34	224.68	1.09	1.00	1.10	1.06	69.84	40.27	37.92	148.03	1494	0.392	61.39	86.64	41.47	
10	225.41	223.64	224.29	1.18	1.06	1.14	1.13	122.67	90.30	87.49	300.47	1480	1.275	197.65	102.82	65.78	
20	225.72	224.12	225.03	1.26	1.16	1.24	1.22	154.36	129.24	124.39	407.99	1470	1.962	302.03	105.96	74.03	
30	225.33	224.01	224.39	1.35	1.26	1.33	1.31	187.10	163.89	155.08	506.06	1458	2.354	359.47	146.59	71.03	
40	225.09	223.85	224.37	1.47	1.37	1.43	1.42	222.24	199.66	190.17	612.07	1445	3.041	460.18	151.89	75.18	
50	225.40	225.27	225.07	1.58	1.49	1.55	1.54	255.08	236.35	227.00	718.43	1436	3.532	531.07	187.36	73.92	
60	224.22	224.52	224.74	1.69	1.59	1.65	1.65	284.72	264.40	260.22	809.34	1425	4.022	600.20	209.14	74.16	
70	224.18	223.12	223.68	1.83	1.72	1.75	1.77	322.27	298.00	287.46	907.73	1412	4.611	681.76	225.97	75.11	
80	225.14	223.55	224.30	1.97	1.86	1.88	1.91	359.15	331.86	321.23	1012.23	1400	5.101	747.87	264.36	73.88	
90	225.61	225.51	224.62	2.09	2.02	2.04	2.05	387.99	374.12	360.60	1122.72	1385	5.592	811.00	311.72	72.24	
100	223.43	224.06	223.73	2.21	2.13	2.15	2.16	416.01	398.82	389.41	1204.24	1370	6.082	872.59	331.65	72.46	

ตารางที่ ค.9 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 6 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	226.10	225.02	226.36	1.06	1.00	1.13	1.06	74.18	40.28	37.63	152.09	1495	0.196	30.72	121.37	20.20	
10	225.52	223.70	224.77	1.20	1.07	1.18	1.15	118.73	93.66	87.66	300.06	1481	1.373	213.00	87.06	70.99	
20	223.78	225.28	225.03	1.26	1.20	1.25	1.24	156.11	133.56	120.54	410.21	1465	1.766	270.90	139.31	66.04	
30	224.49	224.83	223.67	1.38	1.28	1.33	1.33	193.94	166.66	149.42	510.02	1456	2.354	358.98	151.04	70.39	
40	224.92	225.24	225.61	1.48	1.40	1.44	1.44	228.36	207.13	185.78	621.26	1448	2.845	431.38	189.88	69.44	
50	223.76	223.81	224.87	1.57	1.52	1.57	1.55	256.80	238.62	223.00	718.42	1437	3.434	516.68	201.74	71.92	
60	224.65	225.70	224.98	1.72	1.65	1.63	1.67	295.87	272.71	248.53	817.11	1424	4.022	599.78	217.33	73.40	
70	224.28	225.27	224.15	1.85	1.76	1.78	1.80	329.79	301.88	285.67	917.34	1414	4.513	668.20	249.14	72.84	
80	223.39	224.45	224.24	1.96	1.91	1.90	1.93	356.87	341.04	319.22	1017.14	1399	5.003	732.97	284.17	72.06	
90	224.22	225.84	223.99	2.10	2.06	2.02	2.06	389.65	380.61	350.10	1120.36	1386	5.494	797.35	323.01	71.17	
100	224.91	225.29	225.21	2.22	2.13	2.16	2.17	417.40	397.20	391.39	1206.00	1376	6.082	876.41	329.59	72.67	

ตารางที่ ค.10 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 7 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.68	223.65	223.09	1.09	0.98	1.08	1.05	66.93	41.38	37.03	145.35	1496	0.392	61.47	83.88	42.29	
10	225.00	225.41	225.79	1.18	1.07	1.16	1.14	119.37	97.35	89.29	306.01	1483	1.177	182.82	123.19	59.74	
20	224.54	225.15	224.60	1.24	1.15	1.23	1.21	145.88	131.12	120.13	397.13	1470	1.962	302.03	95.10	76.05	
30	224.35	223.32	224.12	1.34	1.24	1.30	1.29	180.75	163.15	150.77	494.67	1463	2.453	375.73	118.94	75.96	
40	224.90	223.80	224.88	1.44	1.35	1.39	1.39	213.86	195.98	182.66	592.50	1453	2.943	447.80	144.70	75.58	
50	225.30	225.42	225.51	1.55	1.46	1.53	1.51	244.84	230.65	224.19	699.68	1440	3.630	547.35	152.33	78.23	
60	226.31	224.77	225.43	1.67	1.58	1.61	1.62	280.25	263.93	249.10	793.28	1430	4.120	617.00	176.28	77.78	
70	224.41	225.13	224.64	1.77	1.70	1.75	1.74	305.02	297.92	288.92	891.86	1418	4.709	699.22	192.64	78.40	
80	224.11	224.60	224.32	1.90	1.82	1.87	1.86	338.30	327.73	319.85	985.88	1405	4.905	721.68	264.20	73.20	
90	224.50	224.28	223.89	2.04	1.97	1.99	2.00	374.45	365.37	352.27	1092.09	1394	5.592	816.27	275.82	74.74	
100	224.94	224.75	225.00	2.20	2.08	2.13	2.13	411.87	391.22	387.51	1190.61	1378	6.082	877.68	312.93	73.72	

ตารางที่ ค.11 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 7 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	225.13	225.93	224.80	1.07	1.00	1.10	1.06	79.61	46.09	44.50	170.20	1497	0.392	61.51	108.69	36.14	
10	225.94	226.17	224.38	1.17	1.08	1.15	1.13	136.28	84.17	87.03	307.48	1482	1.275	197.92	109.56	64.37	
20	225.20	224.30	226.03	1.27	1.16	1.25	1.23	167.20	133.13	130.04	430.37	1472	1.864	287.32	143.05	66.76	
30	224.61	223.01	224.47	1.34	1.23	1.32	1.30	179.99	161.06	155.74	496.79	1459	2.453	374.71	122.08	75.43	
40	225.02	225.31	225.01	1.44	1.35	1.40	1.40	215.36	199.97	189.27	604.60	1447	2.943	445.95	158.65	73.76	
50	223.50	224.21	224.41	1.54	1.47	1.54	1.52	245.46	231.83	226.43	703.72	1437	3.434	516.68	187.04	73.42	
60	225.77	225.03	224.73	1.70	1.62	1.66	1.66	298.20	274.35	264.14	836.69	1426	4.022	600.62	236.07	71.79	
70	224.90	224.36	225.90	1.78	1.72	1.77	1.75	310.64	300.22	296.27	907.13	1412	4.513	667.25	239.88	73.56	
80	223.96	223.77	225.30	1.93	1.84	1.91	1.89	347.13	330.25	332.16	1009.55	1400	5.003	733.49	276.06	72.66	
90	223.94	222.84	224.29	2.08	1.98	2.02	2.03	382.64	362.23	358.68	1103.54	1385	5.592	811.00	292.54	73.49	
100	224.46	225.29	225.19	2.22	2.11	2.15	2.16	417.55	400.48	393.48	1211.51	1371	6.082	873.23	338.28	72.08	

ตารางที่ ค.12 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 8 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	226.26	224.28	225.22	1.07	0.97	1.11	1.05	80.61	31.80	31.71	144.12	1497	0.196	30.76	113.36	21.34	
10	224.93	224.63	225.32	1.16	1.05	1.15	1.12	130.41	86.66	81.80	298.87	1480	1.177	182.45	116.42	61.05	
20	226.01	224.64	225.79	1.26	1.13	1.21	1.20	167.26	120.91	111.59	399.77	1471	1.864	287.12	112.65	71.82	
30	224.93	225.24	223.79	1.35	1.24	1.27	1.29	196.41	167.21	136.29	499.92	1460	2.354	359.97	139.95	72.00	
40	223.99	223.29	224.37	1.44	1.32	1.40	1.39	229.21	189.65	178.56	597.41	1449	2.943	446.57	150.84	74.75	
50	224.70	224.44	223.82	1.57	1.44	1.49	1.50	261.66	228.63	212.17	702.45	1438	3.532	531.81	170.64	75.71	
60	225.48	224.58	224.56	1.68	1.57	1.62	1.62	295.05	262.04	245.85	802.94	1426	4.120	615.27	187.67	76.63	
70	225.09	223.28	224.55	1.83	1.68	1.73	1.75	331.59	289.47	278.19	899.24	1412	4.611	681.76	217.48	75.81	
80	225.05	224.43	225.38	1.95	1.83	1.86	1.88	362.34	328.20	314.26	1004.80	1401	5.101	748.41	256.39	74.48	
90	225.22	224.06	225.33	2.08	1.96	1.98	2.01	395.32	360.36	348.75	1104.44	1387	5.592	812.17	292.27	73.54	
100	224.66	223.68	223.47	2.22	2.11	2.12	2.15	426.27	396.85	378.29	1201.40	1372	6.082	873.86	327.54	72.74	

ตารางที่ ค.13 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 8 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.45	224.32	225.27	1.06	0.99	1.10	1.05	77.87	43.11	45.07	166.05	1495	0.196	30.72	135.33	18.50	
10	225.54	223.91	224.29	1.18	1.08	1.16	1.14	129.94	97.56	89.14	316.64	1480	1.275	197.65	118.99	62.42	
20	225.66	224.79	225.89	1.24	1.15	1.24	1.21	163.12	122.66	114.10	399.87	1472	1.864	287.32	112.55	71.85	
30	224.83	225.82	224.96	1.34	1.24	1.32	1.30	199.09	157.29	147.14	503.52	1461	2.453	375.22	128.30	74.52	
40	223.89	223.98	224.81	1.45	1.36	1.40	1.40	229.20	191.51	177.20	597.91	1449	2.943	446.57	151.34	74.69	
50	225.40	225.04	226.03	1.57	1.46	1.51	1.51	264.78	227.39	212.96	705.13	1440	3.532	532.55	172.58	75.53	
60	224.32	224.22	224.77	1.72	1.60	1.66	1.66	298.13	271.48	264.58	834.20	1422	3.728	555.11	279.09	66.54	
70	224.38	224.08	225.47	1.83	1.72	1.77	1.78	329.98	299.83	294.30	924.11	1407	4.120	607.07	317.04	65.69	
80	224.00	223.93	224.41	1.97	1.87	1.90	1.91	361.96	336.19	327.89	1026.04	1394	4.709	687.39	338.65	66.99	
90	223.92	224.20	224.61	2.10	2.02	2.05	2.06	393.61	373.84	364.18	1131.63	1382	5.101	738.26	393.37	65.24	
100	224.47	223.33	224.16	2.28	2.16	2.18	2.21	436.11	406.63	397.08	1239.82	1366	5.788	827.94	411.88	66.78	

ตารางที่ ค.14 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 9 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	225.27	225.29	223.92	1.05	0.98	1.12	1.05	96.07	27.50	20.20	143.77	1495	0.294	46.07	97.70	32.05	
10	225.49	224.37	224.67	1.15	1.05	1.18	1.12	152.03	74.84	72.83	299.71	1481	1.275	197.79	101.92	65.99	
20	224.31	223.11	223.88	1.24	1.12	1.22	1.19	186.75	107.48	98.47	392.69	1470	1.864	286.92	105.77	73.07	
30	225.43	224.83	224.07	1.36	1.22	1.30	1.29	222.89	145.88	131.98	500.76	1460	2.453	374.96	125.80	74.88	
40	224.24	224.68	224.66	1.43	1.31	1.42	1.39	246.56	179.24	171.35	597.15	1448	3.041	461.13	136.02	77.22	
50	223.76	223.39	224.27	1.60	1.39	1.49	1.50	286.88	207.69	200.07	694.63	1436	3.532	531.07	163.56	76.45	
60	225.06	223.57	225.08	1.73	1.53	1.62	1.63	321.27	246.38	235.65	803.31	1426	4.022	600.62	202.69	74.77	
70	223.90	223.72	223.08	1.83	1.66	1.72	1.74	347.54	283.68	265.56	896.79	1412	4.611	681.76	215.03	76.02	
80	226.00	224.41	225.02	1.99	1.80	1.86	1.88	386.86	318.00	304.85	1009.71	1401	5.199	762.80	246.91	75.55	
90	223.96	224.38	224.93	2.14	1.93	1.98	2.02	417.54	351.15	339.77	1108.45	1386	5.592	811.59	296.86	73.22	
100	224.48	223.89	223.64	2.28	2.07	2.12	2.16	450.51	385.92	369.46	1205.90	1371	6.082	873.23	332.67	72.41	

ตารางที่ ค.15 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 9 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.45	224.12	225.28	1.05	0.96	1.14	1.05	93.50	27.35	21.89	142.74	1494	0.294	46.04	96.70	32.26	
10	223.84	223.41	225.17	1.17	1.04	1.20	1.14	153.31	77.12	72.01	302.44	1479	1.275	197.52	104.92	65.31	
20	224.93	223.82	224.82	1.25	1.12	1.24	1.20	186.22	110.20	102.19	398.61	1471	1.864	287.12	111.49	72.03	
30	225.32	224.19	225.93	1.36	1.21	1.33	1.30	221.31	145.82	134.51	501.63	1460	2.354	359.97	141.66	71.76	
40	223.85	224.83	223.44	1.47	1.32	1.40	1.40	256.02	184.61	164.88	605.51	1450	2.943	446.88	158.63	73.80	
50	224.02	224.32	225.26	1.60	1.42	1.51	1.51	286.55	215.70	200.72	702.97	1439	3.532	532.18	170.79	75.70	
60	224.03	225.54	225.31	1.64	1.63	1.63	1.63	281.92	276.27	269.62	827.82	1423	3.728	555.50	272.32	67.10	
70	224.73	223.39	223.82	1.88	1.66	1.73	1.76	357.86	283.16	265.75	906.77	1416	4.513	669.14	237.63	73.79	
80	223.27	224.99	224.22	1.90	1.88	1.87	1.88	347.84	339.84	332.75	1020.43	1397	4.611	674.51	345.92	66.10	
90	223.40	225.75	223.46	2.03	2.05	2.00	2.03	377.93	381.78	359.32	1119.03	1382	5.297	766.65	352.38	68.51	
100	223.63	225.10	225.03	2.18	2.18	2.16	2.17	414.22	411.63	399.73	1225.58	1368	5.690	815.10	410.48	66.51	

ตารางที่ ค.16 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 10 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	226.00	224.39	225.35	1.05	0.95	1.10	1.04	77.71	34.62	29.40	141.72	1496	0.294	46.11	95.61	32.53	
10	225.44	225.73	226.53	1.13	1.04	1.16	1.11	129.33	86.64	82.80	298.77	1479	1.373	212.71	86.06	71.20	
20	225.39	225.26	225.36	1.23	1.10	1.24	1.19	162.45	118.83	116.66	397.93	1468	1.766	271.45	126.48	68.22	
30	224.81	225.08	224.75	1.34	1.22	1.28	1.28	199.35	159.34	143.62	502.31	1458	2.453	374.45	127.86	74.55	
40	226.79	224.92	225.30	1.45	1.33	1.38	1.39	235.95	196.37	172.20	604.53	1448	2.943	446.26	158.27	73.82	
50	224.77	223.95	223.64	1.58	1.45	1.44	1.49	269.49	230.39	200.30	700.18	1439	3.434	517.40	182.78	73.90	
60	224.79	224.87	225.38	1.68	1.53	1.61	1.61	298.72	252.93	249.14	800.80	1425	4.022	600.20	200.60	74.95	
70	223.89	222.38	223.61	1.80	1.67	1.71	1.73	330.49	287.01	276.55	894.05	1411	4.611	681.27	212.78	76.20	
80	225.84	225.52	225.95	1.93	1.84	1.83	1.87	364.80	329.01	309.30	1003.11	1399	5.003	732.97	270.14	73.07	
90	224.67	224.72	224.61	2.09	1.93	1.97	2.00	398.55	356.31	344.54	1099.40	1384	5.592	810.42	288.98	73.71	
100	225.81	225.84	225.61	2.25	2.15	2.18	2.19	432.59	408.09	393.20	1233.87	1377	6.082	877.05	356.82	71.08	

ตารางที่ ค.17 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 10 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.85	225.28	224.31	1.07	0.97	1.11	1.05	76.47	37.76	31.34	145.56	1494	0.392	61.39	84.17	42.18	
10	226.14	225.72	225.61	1.14	1.05	1.17	1.12	127.66	90.55	81.05	299.26	1481	1.275	197.79	101.47	66.09	
20	224.42	225.92	225.39	1.20	1.21	1.21	1.21	147.55	139.27	128.68	415.49	1471	1.177	181.34	234.15	43.64	
30	224.20	226.67	225.62	1.30	1.31	1.30	1.30	182.29	176.25	165.38	523.92	1461	1.864	285.17	238.75	54.43	
40	224.08	226.86	225.11	1.38	1.41	1.40	1.40	210.29	209.49	194.51	614.29	1451	2.453	372.65	241.64	60.66	
50	223.39	223.78	223.88	1.56	1.46	1.48	1.50	262.68	230.32	206.68	699.67	1441	3.434	518.12	181.55	74.05	
60	223.68	225.47	224.92	1.62	1.66	1.62	1.63	276.66	276.73	258.49	811.88	1430	3.434	514.16	297.72	63.33	
70	224.25	226.10	225.53	1.75	1.77	1.76	1.76	308.52	310.89	295.28	914.69	1417	4.022	596.83	317.86	65.25	
80	224.47	226.38	224.13	1.90	1.92	1.87	1.89	346.56	346.33	325.20	1018.08	1405	4.611	678.38	339.70	66.63	
90	223.65	225.55	224.67	2.04	2.05	2.00	2.03	380.78	377.87	360.46	1119.11	1391	5.003	728.78	390.33	65.12	
100	225.09	225.07	226.07	2.16	2.08	2.11	2.12	416.58	391.83	379.42	1187.84	1376	6.082	876.41	311.43	73.78	

ตารางที่ ค.18 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 11 sequence : positive %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	224.84	225.90	225.50	1.03	0.96	1.10	1.03	69.08	35.77	37.39	142.24	1495	0.392	61.43	80.81	43.19	
10	226.72	226.20	226.03	1.12	1.05	1.16	1.11	123.40	92.36	84.12	299.89	1480	1.275	197.65	102.24	65.91	
20	226.29	226.20	226.28	1.23	1.12	1.21	1.19	160.45	127.21	111.12	398.78	1468	1.766	271.45	127.33	68.07	
30	225.22	224.72	223.27	1.32	1.23	1.25	1.27	193.14	172.42	129.68	495.23	1458	2.354	359.47	135.76	72.59	
40	225.80	225.00	226.51	1.42	1.32	1.39	1.38	225.02	194.08	179.14	598.24	1447	3.041	460.82	137.42	77.03	
50	226.89	225.86	225.76	1.55	1.43	1.49	1.49	261.40	231.88	210.22	703.50	1438	3.532	531.81	171.69	75.60	
60	224.82	224.74	224.59	1.66	1.54	1.60	1.60	290.45	262.67	243.65	796.77	1424	4.120	614.41	182.36	77.11	
70	225.52	224.93	224.55	1.79	1.68	1.72	1.73	323.12	299.04	277.41	899.57	1411	4.513	666.78	232.79	74.12	
80	226.15	224.36	225.12	1.93	1.81	1.82	1.85	358.01	329.81	307.79	995.61	1398	5.199	761.17	234.44	76.45	
90	225.81	224.58	225.24	2.06	1.95	2.00	2.00	389.65	364.96	348.72	1103.33	1388	5.592	812.76	290.57	73.66	
100	224.02	224.55	224.68	2.19	2.10	2.11	2.14	418.65	399.35	379.94	1197.94	1371	6.082	873.23	324.71	72.89	

ตารางที่ ค.19 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกรงกระรอก (Induction Motor squirrel cage 1hp)

Harmonic order : 11 sequence : negative %VDF : 20

Test																	
% Load	Va	Vb	Vc	Ia	Ib	Ic	Iav	Pa	Pb	Pc	Pt	Nr(rpm)	T(N-m)	Pout	Ploss	%n	
0	225.29	226.43	226.27	1.04	1.03	1.05	1.04	63.33	50.27	48.07	161.68	1495	0.392	61.43	100.25	38.00	1.00
10	225.15	226.20	226.40	1.12	1.11	1.12	1.12	113.16	101.91	97.08	312.15	1479	1.373	212.71	99.44	68.14	1.08
20	226.60	226.23	225.39	1.23	1.13	1.20	1.19	162.97	129.38	111.80	404.16	1470	1.864	286.92	117.24	70.99	1.15
30	226.86	225.69	225.76	1.34	1.22	1.28	1.28	196.02	162.04	138.49	496.55	1460	2.354	359.97	136.58	72.49	1.24
40	227.18	225.59	226.10	1.44	1.32	1.37	1.38	229.20	191.89	175.97	597.06	1449	3.041	461.45	135.61	77.29	1.34
50	227.72	226.25	226.36	1.57	1.43	1.48	1.50	264.09	226.80	213.08	703.97	1437	3.532	531.44	172.53	75.49	1.45
60	224.90	225.66	225.06	1.68	1.56	1.62	1.62	294.22	264.60	248.58	807.40	1423	4.120	613.98	193.42	76.04	1.57
70	225.83	225.42	226.58	1.80	1.69	1.73	1.74	328.61	297.49	283.48	909.58	1414	4.709	697.25	212.33	76.66	1.70
80	225.97	225.28	224.40	1.95	1.83	1.83	1.87	364.31	330.92	308.45	1003.68	1401	5.199	762.80	240.88	76.00	1.82
90	225.16	225.65	224.61	2.10	1.97	1.99	2.02	396.97	363.94	348.85	1109.76	1388	5.690	827.02	282.74	74.52	1.97
100	226.29	226.13	225.31	2.23	2.10	2.13	2.15	428.11	397.22	385.62	1210.95	1375	6.180	889.90	321.05	73.49	2.11